

基于分区的太湖叶绿素 a 遥感估测模型

王艳红^{1,2}, 马荣华³, 邓正栋²

(1. 解放军理工大学气象学院, 江苏 南京 211101; 2. 解放军理工大学工程兵工程学院, 江苏 南京 210007;
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, 测试水体的反射光谱和表层水质并分析叶绿素的光谱特征, 对比 MODIS 波段并找出与叶绿素 a 质量浓度相关性较好或对叶绿素 a 质量浓度变化较为敏感的波段, 根据主成分变换后的 MODIS 图像色调对太湖进行分区并分别用主成分、单波段及波段组合因子建立各区内相应的叶绿素 a 质量浓度估测模型. 结果表明 对太湖合理分区可以提高叶绿素 a 质量浓度的遥感估测精度. 经过主成分变化后的第 2 主成分, MODIS 波段 1, 3 ~ 4, 10 ~ 14 的反射率及波段反射率组合可以较好地估测分区后的叶绿素 a 质量浓度.

关键词 太湖; 反射光谱; MODIS 数据; 叶绿素 a; 分区估测

中图分类号 X87 **文献标识码** A **文章编号** 1000-1980(2007)01-0086-06

叶绿素 a (Chla) 是水质监测的重要参数之一, 其质量浓度是湖泊富营养化的重要标志. 常规的叶绿素 a 质量浓度测定方法是现场取样、实验室测试. 这种方法耗时费力, 难以对大面积水域进行同步测试. 遥感技术则具有监测范围广、速度快、成本低和便于进行长期动态监测的优势. 随着光谱技术的发展, 中分辨率成像光谱仪 (MODIS) 数据因具有光谱分辨率高、观测周期短、全球免费获取等优势, 在遥感水质监测中受到越来越多的重视. MODIS 是一种综合探测器, 它有 36 个观测通道, 波谱为 0.4 ~ 14 μm , 数据空间分辨率包括 250 m (1 ~ 2 波段), 500 m (3 ~ 7 波段) 和 1 000 m (8 ~ 36 波段) 3 个尺度. 与 TM 和 AVHRR 等光谱参数相比, MODIS 的光谱分辨率有了很大提高. 国内外不少学者^[1-5] 用 MODIS 数据进行了近岸和内陆水质遥感监测方面的研究.

太湖是中国第 3 大淡水湖, 也是富营养化比较严重的湖泊之一. 在对太湖水质遥感监测的研究中, 基于实测光谱或遥感数据而建立的水质参数 (大多为叶绿素和悬浮物) 估测模型虽有较好的拟合度, 但因测点局限于太湖某个区域或测点数量较少^[6-7], 所得到的估测模型在全湖区的适用性值得商榷. 另外, 由于太湖水域面积大, 水质分布极不均匀, 对太湖进行分区可以提高水质参数的估测精度. 为此, 本文首先分析太湖水体实测光谱数据和叶绿素 a 质量浓度的相关关系, 然后对比 MODIS 波段并找出能较好反演叶绿素 a 质量浓度的最佳波段, 最后对太湖进行分区并应用 MODIS 数据建立了各分区的估测模型.

1 数据获取和光谱分析

1.1 数据获取

2004 年 10 月 20 ~ 29 日在太湖水面布设了 67 个采样点 (图 1), 并进行了水面反射光谱测量和表层水质采样. 所有采样点的叶绿素 a 质量浓度均在 1.18 ~ 52.44 $\mu\text{g/L}$ 之间, 均值为 14.08 $\mu\text{g/L}$.

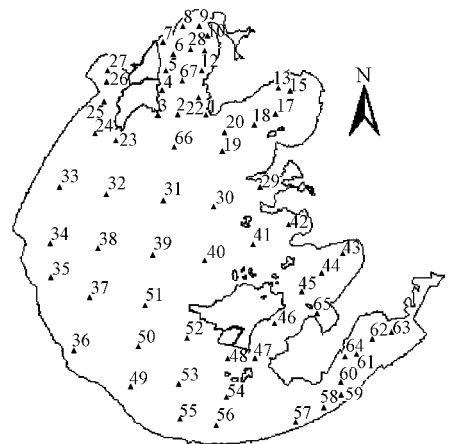


图 1 采样点分布

Fig.1 Spatial distribution of sampling points

收稿日期 2006-03-07

基金项目 国家自然科学基金资助项目 (40671138), 江苏省自然科学基金青年科技创新人才学术带头人项目 (BK2004422), 中科院领域前沿项目 (CXNIGLAS-A02-014)

作者简介 王艳红 (1974—), 女, 山西永济人, 讲师, 博士, 主要从事水污染控制及水质遥感监测研究.

光谱测量采用美国 ASD 公司生产的 Field Spec[®] Pro FR 便携式分光辐射光谱仪. 测量时取波段范围为 350 ~ 1050 nm, 波长采样间隔为 1 nm. 测量在船上进行, 测量时间内天空基本无云, 风力 1 ~ 2 级, 水面平静, 标准光纤探头距离水面 1.2 m 左右, 测量时垂直于水面. 测量时先导出离水辐射率 L_w , 水表面上总的入射辐照度 $E_d(0^+)$, 再通过式 $R_{rs} = L_w / E_d(0^+)$ 求得遥感反射率 R_{rs} . 这种测量方法^[8] 有效地剔除了噪音特别是天空光信息的干扰, 具有很高的精度. 每个采样点至少测量 15 次, 取平均值作为该点的反射光谱. 64 个采样点遥感反射率为有效数据.

遥感同步数据选用 2004 年 10 月 27 日的 MODIS TERRA L1B 1 km 数据. 选取日期与水质观测同步, 气象条件要求晴朗少云, 能见度高. 数据经过辐射校正和几何校正后求得各波段反射率^[9]. 在内陆湖泊水质研究中, 通常选择在可见光到近红外范围的波段能较好地反映水质参数, 本文只选取 MODIS 相对应的上述波段 (波段 1 ~ 4, 8 ~ 19) 来研究其与太湖叶绿素 a 质量浓度的关系.

1.2 光谱分析

为了分析叶绿素的光谱特征, 提取 4 个典型特征采样点的光谱曲线 (图 2) 进行比较分析. 采样点 16, 43, 21, 40 对应的叶绿素 a 的质量浓度分别为 33.72 $\mu\text{g/L}$, 4.87 $\mu\text{g/L}$, 52.44 $\mu\text{g/L}$, 21.16 $\mu\text{g/L}$. 悬浮物质量浓度分别为 22.48 $\mu\text{g/L}$, 23.24 $\mu\text{g/L}$, 44.12 $\mu\text{g/L}$, 44.60 $\mu\text{g/L}$. 采样点 16 和 43、采样点 21 和 40 的悬浮物 (SS) 质量浓度比较接近, 而叶绿素 a 的质量浓度相差很大. 从图 2 可以看出, 除叶绿素 a 质量浓度很低的 43 号采样点外, 其余采样点在波段 677 nm 附近出现谷值, 在 695 nm 附近出现峰值. 另外, 比较采样点 21 和 40, 这 2 个点的悬浮物质量浓度仅相差 0.48 mg/L, 采样点 21 因叶绿素质量浓度较高, 在波段 440 nm 处出现反射峰谷值, 出现峰值的位置 (波段 706 nm 附近) 滞后于采样点 40 的峰值位置 (波段 695 nm 附近), 峰值处反射率值也略高于采样点 40 的反射率峰值. 可见, 随着叶绿素质量浓度的提高, 峰值位置有向长波方向增大的趋势. 可以认为 677 nm 和 695 nm 是太湖水体叶绿素的敏感波段, 波段 695 nm 附近反射峰位置也是考察水中叶绿素含量的重要参数. 峰值、谷值位置与文献^[6] 的发现略有差异, 这主要是由于不同采样时间内和地点的浮游植物组成差异引起的.

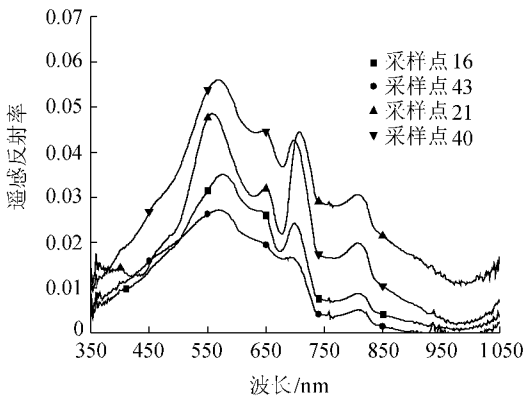


图 2 采样点 16, 43, 21, 40 光谱曲线

Fig. 2 Spectral curves for sampling points 16, 43, 21, and 40

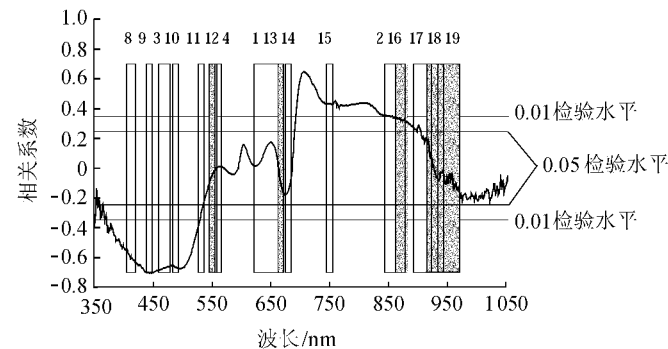


图 3 叶绿素 a 与实测光谱反射率的相关关系以及 MODIS 波段的对比

Fig. 3 Correlation between Chla concentration and field spectral reflectivity and its comparison with MODIS bands

度的变化最为敏感. 另外, 503 ~ 564 nm (对应 MODIS 11, 12, 4 波段) 反射率对叶绿素质量浓度的变化也较为敏感.

2 太湖分区

从以上光谱分析中可知, MODIS 多个波段处于与叶绿素相关性较好或者比较敏感的位置. 但对 MODIS 各波段对应采样点的反射率与叶绿素 a 质量浓度的相关分析结果表明, 各波段反射率与太湖叶绿素 a 质量

浓度的相关性很小.这主要是因为太湖湖域面积较大,不同湖区水质差别较大,分区可以提高估测精度.为此,先采用主成分分析法对 MODIS 数据进行分析,以期得到合理的分区.

2.1 MODIS 数据主成分分析及对太湖的分区

本文用主成分分析法来处理 MODIS 数据.经过对 MODIS 数据的主成分分析,得到第 1 主成分(Z_1)、第 2 主成分(Z_2)的得分及累计贡献率(表 1).因为前 2 个主成分的累加贡献率为 88.96%,故选取前 2 个主成分代替原来的 16 个波段.可以看出,第 1 主成分代表了近红外波段($B_2, B_{15}, B_{16}, B_{17}, B_{18}, B_{19}$),第 2 主成分代表了可见光波段(波段 $B_1, B_3, B_4, B_9, B_{10}, B_{13lo}, B_{14lo}$),其中波段 13 和 14 所占比重最大.但利用前 2 个主成分与叶绿素 a 质量浓度进行相关分析时相关性都不好.图 4 为主成分变换后的 MODIS 图像,变换后图像呈现明显的分区.根据色调对太湖进行分区,东太湖和沙墩港部分测点因异常而被剔除.分区结果为:1 区 梅梁湾湖心、南太湖及部分东太湖($N=30$,采样点为 1,5,6,11,19,20,30~41,48~56,65~67) 2 区 太湖近北岸及近东岸区($N=30$,采样点为 2~4,8~10,12,14,18,22~29,42~47,57~62,64).

表 1 第 1、第 2 主成分得分及累积贡献率

Table 1 Coefficients of Z_1 and Z_2 and their cumulative contribution rates

主成分	得 分																累积贡献率/%
	B_1	B_2	B_3	B_4	B_8	B_9	B_{10}	B_{11}	B_{12}	B_{13lo}	B_{14lo}	B_{15}	B_{16}	B_{17}	B_{18}	B_{19}	
Z_1	0.0039	0.4326	-0.0928	0.1050	0.0047	0.0060	0.0004	-0.1211	-0.1258	0.0175	0.0053	0.3577	0.6494	0.3924	0.1867	0.2693	64.93
Z_2	-0.2145	-0.0217	-0.1611	0.3244	-0.0926	-0.1317	-0.1821	-0.0495	0.0161	-0.5878	-0.6399	-0.0608	0.0507	0.0023	-0.0032	0.0023	88.96

2.2 各分区内实测光谱与叶绿素 a 质量浓度的相关分析

分区后发现 1 区叶绿素 a 与悬浮物相关性不好(相关系数为 0.36),而 2 区叶绿素 a 与悬浮物高度相关(相关系数为 0.76).有必要对各区叶绿素 a、悬浮物质量浓度与实测光谱的相关系数(图 5)做进一步的分析.对比图 3 和图 5 可知:1 区叶绿素 a 相关系数曲线与原曲线形状有较大的不同,在可见光到近红外波段内数值上变化很小,仅在相对于叶绿素吸收位置 695 nm 附近和反射峰位置 700 nm 附近有些波动,相关系数也比悬浮物相关系数低;2 区的叶绿素 a 相关系数曲线在可见光波段与原曲线形状相似,在近红外波段与反射率的相关性很好(相关系数大于 0.8),其中 440 nm 附近和 677 nm 附近相关系数降低的位置分别对应着叶绿素在蓝紫光波段和红光波段的吸收峰.可见叶绿素 a 和悬浮物之间的相关性影响了各区叶绿素 a 和实测光谱反射率的相关系数曲线.

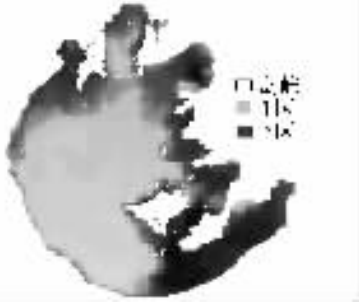


图 4 主成分变换后的 MODIS 图像(主成分 2)

Fig.4 MODIS image after PCA (Z_2)

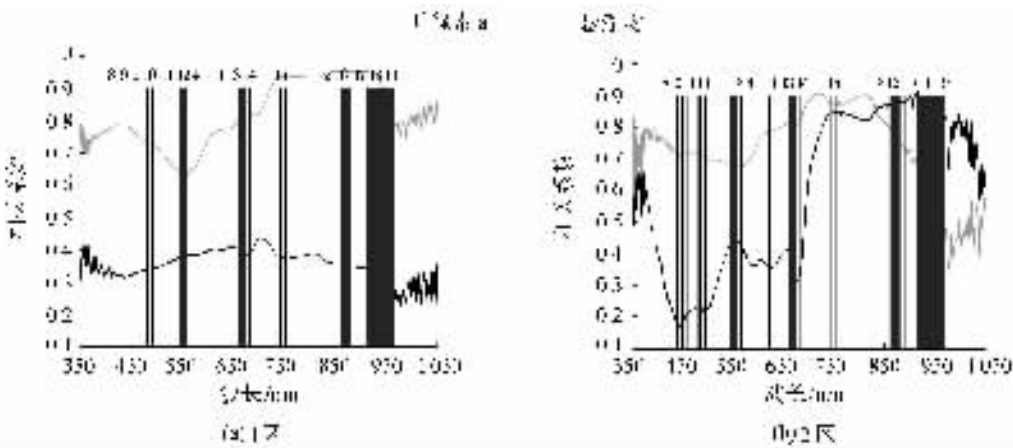


图 5 各区内叶绿素 a、悬浮物与实测光谱反射率的相关关系及与 MODIS 波段的对比

Fig.5 Correlations between Chla, SS concentrations and field spectral reflectivity and their comparison with MODIS bands in each subarea

3 基于 MODIS 数据的叶绿素 a 分区估测模型

3.1 基于 MODIS 数据主成分分析的叶绿素 a 质量浓度分区估测模型

对各区内 Z_1 和 Z_2 与叶绿素 a 质量浓度进行相关分析(表 2),表 2 说明 Z_2 与叶绿素 a 质量浓度显著相关, Z_1 与 2 区叶绿素 a 质量浓度的自然对数显著相关.将各区的叶绿素 a 质量浓度从大到小排列,每隔 3 个点取出 1 个点,即 23 个点用于建模,剩余 7 个点用于模型检验.式(1)和式(2)是以主成分为自变量建立的各区叶绿素 a 质量浓度($\mu\text{g/L}$)最佳估测模型.

1 区

$$\ln[\rho(\text{Chla})/(\mu\text{g/L})] = -0.761 - 7.325Z_2 \quad (R^2 = 0.635, S = 3.832)$$

2 区

$$\rho(\text{Chla})/(\mu\text{g/L}) = -22.986 - 120.166Z_2 \quad (R^2 = 0.641, S = 4.214)$$

3.2 基于 MODIS 波段单波段及波段组合的叶绿素 a 质量浓度分区估测模型

根据以上分区结果,结合光谱分析结果,有选择性地对波段组合,并将各分区内 MODIS 单波段反射率、波段组合与叶绿素 a 质量浓度进行相关分析,结果如表 3 所示.

单波段反射率与叶绿素 a 质量浓度的相关分析表明,MODIS 可见光波段(波段 1,3~4,10~14)反射率与各区的叶绿素 a 质量浓度均有显著性的相关性,近红外波段反射率与叶绿素 a 质量浓度相关性不好,这与主成分的分析结果一致.1 区叶绿素 a 质量浓度的自然对数与波段 13,14 反射率相关性很好,相关系数分别为 0.851 和 0.718.2 区波段 10 反射率与叶绿素 a 质量浓度的相关系数最高,达到 0.780.

从波段组合与叶绿素 a 质量浓度的相关分析得出:

a. 采用文献[4]所使用的波段组合 $(L_{10} - L_{15})/(L_{13} - L_{15})$, $L_{13} - L_{15}$, $(L_{11} - L_{15})/(L_{12} - L_{15})$, $L_{15} - L_{16}$ 与叶绿素 a 质量浓度进行相关分析,发现只有在 2 区 $B_{13} - B_{15}$ (F_1), $B_{15} - B_{16}$ (F_3) 与叶绿素 a 质量浓度显著相关.

b. 应用实测光谱估测叶绿素时,比值法精度最高,但相对于叶绿素反射峰位置的 MODIS 波段缺失.用 B_{15}/B_{13lo} (F_2) 代替反射率比值分析时发现 F_2 与 2 区叶绿素 a 质量浓度相关性较好,与 1 区相关性不好,主要原因是 1 区 B_{13lo} 几乎没有变化.

c. 波段 1,3~4,8~14 处于与叶绿素相关性较好或者比较敏感的位置,将这些波段反射率组合 ($F_4 \sim F_{12}$) 与叶绿素 a 质量浓度进行相关分析,发现除 F_{11} (对 2 区)外其他波段组合与叶绿素 a 质量浓度均有较好的相关性; F_{12} 与 1 区叶绿素 a 浓度自然对数的相关性最好,相关系数达到 0.838,这与文献[5]所得到的结论“MODIS 波段辐射率组合 $B_{10}/(B_1 + B_{10} + B_{11})$, $\ln[B_1/(B_1 + B_3 + B_4)]$ 与巢湖叶绿素 a 质量浓度和透明度的自然对数有显著的相关性”在波段位置上基本对应.2 区可见光波段反射率的均值 (F_7) 与叶绿素质量浓度的相关系数最高,达 0.778.

表 2 叶绿素 a 质量浓度与主成分的相关分析

Table 2 Correlations between Chla concentration and principal components Z_1 and Z_2

主成分	1 区 $N = 30$		2 区 $N = 30$	
	$\rho(\text{Chla})$	$\ln[\rho(\text{Chla})/(\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1})]$	$\rho(\text{Chla})$	$\ln[\rho(\text{Chla})/(\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1})]$
Z_1	0.303	0.337	-0.214	-0.462 ⁻
Z_2	-0.661 ⁻	-0.776 ⁻	-0.827 ⁻	-0.684 ⁻

注:“⁻”表示达到 0.01 显著负相关;“⁺”表示达到 0.05 显著负相关.

表 3 叶绿素 a 质量浓度与 MODIS 单波段及波段组合的相关分析

Table 3 Correlation between MODIS single band, band combinations and Chla concentration

单波段	1 区	2 区	单波段	1 区	2 区
	$\ln[\rho(\text{Chla})/(\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1})]$	$\rho(\text{Chla})$		$\ln[\rho(\text{Chla})/(\mu\text{g/L})]$	$\rho(\text{Chla})$
B_8	0.259	0.712 ⁺⁺	B_{18}	-0.129	-0.395 ⁻
B_9	0.413 ⁺	0.752 ⁺⁺	B_{19}	-0.113	-0.399 ⁻
B_3	0.493 ⁺⁺	0.773 ⁺⁺	F_1	0.189	0.736 ⁺⁺
B_{10}	0.566 ⁺⁺	0.780 ⁺⁺	F_2	-0.157	-0.623 ⁻
B_{11}	0.606 ⁺⁺	0.763 ⁺⁺	F_3	0.339	0.556 ⁺⁺
B_{12}	0.593 ⁺⁺	0.754 ⁺⁺	F_4	0.464 ⁺	0.768 ⁺⁺
B_4	0.592 ⁺⁺	0.754 ⁺⁺	F_5	0.599 ⁺⁺	0.757 ⁺⁺
B_1	0.671 ⁺⁺	0.772 ⁺⁺	F_6	0.806 ⁺⁺	0.729 ⁺⁺
B_{13lo}	0.851 ⁺⁺	0.730 ⁺⁺	F_7	0.775 ⁺⁺	0.778 ⁺⁺
B_{14lo}	0.718 ⁺⁺	0.621 ⁺⁺	F_8	0.553 ⁺⁺	0.699 ⁺⁺
B_{15}	0.294	-0.174	F_9	0.805 ⁺⁺	0.702 ⁺⁺
B_2	0.280	-0.289	F_{10}	-0.812 ⁻	-0.746 ⁻
B_{16}	0.027	-0.362	F_{11}	-0.773 ⁻	-0.314
B_{17}	0.110	-0.354	F_{12}	0.838 ⁺⁺	0.693 ⁺⁺

注:(a)“⁺⁺”、“⁻”表示达到 0.01 显著正、负相关;“⁺”、“⁻”表示达到 0.05 显著正、负相关.(b) $F_1 = B_{13} - B_{15}$; $F_2 = B_{15}/B_{13lo}$; $F_3 = B_{15} - B_{16}$; $F_4 = (B_8 + B_9 + B_3 + B_{10})/4$; $F_5 = (B_{11} + B_{12} + B_4)/3$; $F_6 = (B_1 + B_{13lo} + B_{14lo})/3$; $F_7 = (F_4 + F_5 + F_6)/3$; $F_8 = F_5/F_4$; $F_9 = F_6/F_4$; $F_{10} = F_4/(F_4 + F_5 + F_6)$; $F_{11} = F_5/(F_4 + F_5 + F_6)$; $F_{12} = F_6/(F_4 + F_5 + F_6)$.

对 1 区大部分采样点来说,波段 13,14 反射率变化不大,不能明显地反映各点的质量浓度变化,故不选用 B_{13o} , B_{14o} , 而选用 B_1 估测 1 区叶绿素 a 的质量浓度. 分别选取相关性最好的单波段及波段组合与各区叶绿素 a 质量浓度进行回归分析, 并采用 $y = a + bx$ 的形式导出了各区的最佳估测模型, 见表 4.

表 4 基于 MODIS 单波段、波段组合的叶绿素 a 质量浓度分区估计模型

Table 4 Chla concentration estimation models for each subarea based on MODIS single band and band combination

区号	单波段						波段组合					
	因变量	自变量	R^2	a	b	S	因变量	自变量	R^2	a	b	S
1	$\ln[\rho(\text{Chla})/(\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1})]$	B_1	0.476	-0.515	25.030	4.413	$\ln[\rho(\text{Chla})/(\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1})]$	F_{12}	0.734	-1.304	10.572	3.382
2	$\rho(\text{Chla})$	B_{10}	0.596	-69.346	625.474	4.600	$\rho(\text{Chla})$	F_7	0.572	-32.319	361.174	4.734

3.3 模型检验

用 7 个检验点对以上各区由主成分、单波段及波段组合所得到的模型进行检验, 得到叶绿素 a 质量浓度实测值和估测值的散点图(图 6). 由图 6 可知, 1 区和 2 区所得到的模型离散程度类似, 1 区由 B_1 所得到的模型离散程度较大, 2 区叶绿素 a 质量浓度小于 $7\mu\text{g/L}$ 时估测值偏高. 总体来说, 所有模型均有较好的精度.

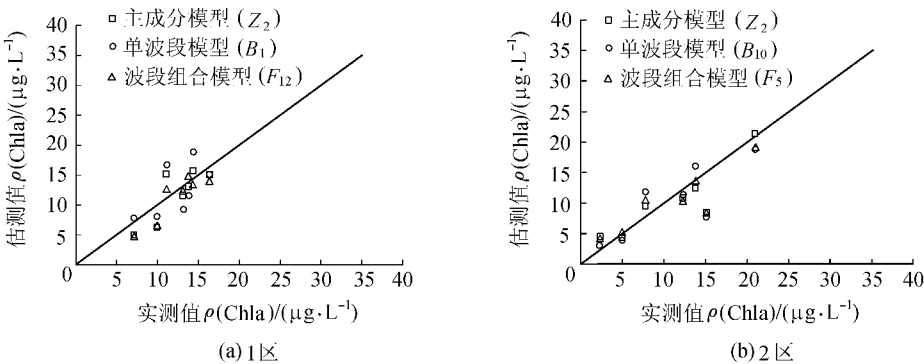


图 6 1 区和 2 区叶绿素 a 质量浓度实测值和不同模型估测值散点图

Fig.6 Scatter plot for measured data of Chla concentration and evaluated result for each subarea by use of different estimation models

4 结 语

结合实测光谱和卫星影像对水质进行遥感监测可以互相补充, 即水质参数的光谱特征是水质遥感监测的基础和依据. 根据水质参数的光谱特征进行分析, 可以减少遥感数据统计分析上的盲目性, 提高水质参数的遥感监测估测精度. 本文结合水面实测光谱和 MODIS 数据, 分析了太湖采样点叶绿素 a 质量浓度与二者之间的关系, 并得出如下结论:

- a. 对太湖的合理分区可以提高叶绿素 a 质量浓度的遥感估测精度.
- b. 各区内可见光波段(波段 1, 3 ~ 4, 10 ~ 14 或 Z_2)与各区的叶绿素 a 质量浓度均有很好的相关性, 适当的波段组合也可以提高模型估测精度. 这说明 MODIS 数据可见光波段在太湖叶绿素遥感分区监测上有较好的应用前景.

参考文献:

[1] HELLWEGER F L, SCHLOSSER P, LALL U, et al. Use of satellite imagery for water quality studies in New York Harbor[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2004, 61(3): 437-448.

[2] RICHARD L M, BRENT A M. Using MODIS Terra 250 m imagery to map concentrations of total suspended matter in coastal waters[J]. Remote Sensing of Environment, 2004, 93(1-2): 259-266.

[3] OLMO G D, GITELSON A A, RUNDQUIST D C, et al. Assessing the potential of Sea WiFS and MODIS for estimating chlorophyll concentration in turbid productive waters using red and near-infrared bands[J]. Remote Sensing of Environment, 2005, 96(2): 176-187.

- [4] HARMA P,VEPSALAIEN 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(1-3):107-121.
- [5] 吴敏,王学军. 应用 MODIS 数据遥感监测巢湖水质[J]. 湖泊科学,2005,17(2):109-113.
- [6] 刘堂友,匡定波,尹球. 湖泊藻类叶绿素_a和悬浮物浓度的高光谱定量遥感模型研究[J]. 红外与毫米波学报,2004,23(1):11-15.
- [7] 雷坤,郑丙辉,王桥. 基于中巴地球资源 1 号卫星的太湖表层水体水质遥感[J]. 环境科学学报,2004,24(3):376-380.
- [8] 唐军武,田国梁,汪小勇,等. 水体光谱测量与分析 I 水面以上测量法[J]. 遥感学报,2004,8(1):37-44.
- [9] 蒋耿明,刘荣高,牛铮,等. MODIS 1B 影像几何纠正方法研究及软件实现[J]. 遥感学报,2004,8(2):157-164.

Regionalized RS estimation of chlorophyll-a concentration in Taihu Lake

WANG Yan-hong^{1,2}, MA Rong-hua³, DENG Zheng-dong²

(1. *Institute of Meteorology, PLA University of Science and Technology, Nanjing 211101, China* ;

2. *Engineering Institute of Engineering Corps, PLA University of Science and Technology, Nanjing 210007, China* ;

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

Abstract With Taihu Lake as the area of study, the reflection spectrum of water body and water quality of surface layer of Taihu Lake were detected, and the spectrum characteristics of chlorophyll were analyzed. By comparison of MODIS bands, the bands which are of high correlation with or sensitive to the variation of chlorophyll-a(Chla) concentration were selected. Then, Taihu Lake was divided into two subareas by principal component analysis (PCA), and Chla concentration estimation models for each subarea were developed based on principal components, MODIS single band, and band combination factors, respectively. The result shows that the rational regionalization of Taihu Lake can improve the estimation precision of Chla concentration by RS, and that the Chla concentration of each subarea can be better evaluated by means of the second principal component, the reflectivity of MODIS bands 1, 3-4 and 10-14, and their combinations.

Key words Taihu Lake ; reflection spectrum ; MODIS data ; chlorophyll-a ; regionalized estimation