

# 基于 MERISI 和 MODIS 的太湖水体 叶绿素 a 含量反演

韩秀珍, 郑 伟, 刘 诚, 安思颖

(中国气象局国家卫星气象中心, 北京 100081)

**摘要:** 水体叶绿素 a 含量的遥感反演是监测水体光学特性、评价水体污染的一个重要指标。本文以 FY-3A/MERSI 和 AQUA/MODIS 遥感影像为数据源, 结合水体实测的叶绿素 a 含量, 利用两类反射率模型, 研究星载数据遥感反演叶绿素 a 的可行性。研究表明: 基于 FY-3A/MERSI 和 AQUA/MODIS 可见光-近红外通道的光谱反演模型  $(R_{\lambda_1}^{-1} - R_{\lambda_2}^{-1}) \times R_{\lambda_3}$  和  $R_{\lambda_1}^{-1} \times R_{\lambda_3}$  在太湖水体叶绿素 a 含量反演方面取得了较高的精度。基于 MERISI 通道的模型反演相关系数  $R^2$  分别在 0.60 和 0.72 左右, 基于 MODIS 通道的模型反演相关系数  $R^2$  分别在 0.55 和 0.65 左右。通过比较分析, 决定叶绿素 a 含量反演精度的主要因素包括两个方面, 一是通道位置, 即蓝波段和近红外波段是叶绿素 a 反演的敏感波段; 其次, 卫星空间分辨率, 即较高的空间地面分辨率改善了混合像元。因此, MERSI 比 MODIS 对应模型获得了较高的叶绿素 a 反演精度。这一结果将有助于 FY-3A/MERSI 遥感数据在环境监测和水体污染领域的进一步研究, 为国产卫星的应用提供一定的参考。

**关键词:** FY-3A/MERSI; AQUA/MODIS; 叶绿素 a 含量; 卫星遥感

**文章编号:** 1000-0585(2011)02-0291-10

## 1 引言

大规模的蓝藻爆发正受到越来越多的关注, 主要原因在于蓝藻污染对水体水质以及水资源和环境造成了巨大破坏<sup>[1]</sup>, 可能导致水体诸方面的问题, 如水体溶解氧的降低、水生生物的死亡以及有毒物质的释放<sup>[2,3]</sup>。因此, 水体生物物理特性的定期检测成为水体监测的一个重要方面。在众多水质参数中, 叶绿素 a 含量是最主要的分析参数之一<sup>[4]</sup>。

常规的水质检测方法耗时, 成本高。遥感技术的出现为长期、快速的监测水体环境提供了一个有效的方式。此外, 遥感以大面积的观测弥补了观测样点的不足<sup>[5]</sup>。水体叶绿素 a 含量的遥感反演主要是通过建立特定波段的反射率特征和水体光学特性(吸收和后向散射等)的关系, 进而定量的获取叶绿素 a 的含量和分布<sup>[6]</sup>。研究表明可见光和近红外的反射率可以成功的用以反演水体的叶绿素 a 含量。比如,  $R_{705}/R_{670}$  的比值的建立就是根据叶绿素 a 在近红外的反射峰和红波段的吸收谷, 获得叶绿素 a 的光谱反射特性<sup>[7~11]</sup>。

Dall'olmo 等的研究表明三个波段的反射率模型可以用于水体叶绿素 a 的反演<sup>[12]</sup>。

**收稿日期:** 2010-07-22; **修订日期:** 2010-11-18

**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); 浙江省科技厅项目(2009C33071)

**作者简介:** 韩秀珍(1974-), 女, 辽宁阜新人, 博士, 副研, 主要从事卫星遥感反演和 GIS 等方面的研究。

E-mail: hanxz@cma.gov.cn

反射率模型的主要原理在于将色素浓度和反射率的大小相联系,尤其是在 670nm、710nm 和 750nm 附近<sup>[13]</sup>。此外,反射率模型不受数据约束,适用于实测数据和卫星观测,如 MERIS (Medium Resolution Imaging Spectrometer) 和 MODIS (Moderate Imaging Spectroradiometer)<sup>[3,14~16]</sup>。光谱反射模型的一个主要研究内容是水体的叶绿素 a 含量受近红外波段的反射率影响,因此,如果近红外波段的测量出现误差,将极大的降低反演精度。因此,使用光谱模型的一个前提是获取必需的光谱位置的反射特征,尤其是在 700~740nm<sup>[15]</sup>。

本文主要的目的是利用搭载在最新发射的 FY-3A 卫星上的中分辨率传感器 MERSI 研究反演太湖水体的叶绿素 a 含量。此外,同时选取了 AQUA/MODIS 数据作为与之相比较。本文,首先获取了 2009 年 11 月 23 日的太湖区域 MERSI 和 MODIS 卫星数据,并且测量卫星过境时间的水体样本(包括叶绿素 a、悬浮物等);其次,根据 MERSI 和 MODIS 的波段设置,分别构建了两个波段和三个波段的反射率模型,反演水体的叶绿素 a 含量。最后,对 MERSI 和 MODIS 的反演结果进行了分析和比较。

## 2 研究区概况与研究方法

### 2.1 实验区

太湖为中国第三大淡水湖。目前太湖富营养化明显,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。

### 2.2 水面实测数据

水面反射率测量使用的仪器为美 ASD 公司 (Analytical Spectral Devices, Inc) 生产的 FR (FieldSpec) ASD 野外光谱仪。仪器覆盖光谱范围为 350~2500nm,光谱分辨率为 3.5nm (VNIR) 和 10nm (SWIR),仪器的视场角为 8°。测量中使用了中国科学院安徽光机所生产的 20cm×20cm 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) 数据对测量中的太阳入射角的影响进行校正。水质参数的采样参数主要包括:水面温度 (T, °C)、pH 值、电导率、溶解氧、总氮 (mg·L<sup>-1</sup>)、总磷 (mg·L<sup>-1</sup>)、悬浮物 (mg·L<sup>-1</sup>)、叶绿素 a 含量 (mg·L<sup>-1</sup>) 和蓝藻密度 (Million cell L<sup>-1</sup>)。

### 2.3 卫星数据获取

**2.3.1 FY-3A/MERSI** FY-3A/MERSI 数据在 470 nm 到 2130 nm 有 20 个波段,空间分辨率从 250 m 到 1000 m。在可见光到近红外波光谱范围内有四个主要的波段,中心波长分别为 470 nm、550 nm、650 nm 和 865 nm,空间分辨率为 250m。本文中 MERSI 数据的获取时间为 2009 年 11 月 23 日。对卫星数据的处理包括几何校正和大气校正。几何校正使用的是 SPOT 数据,选取了 25 个均匀分布的控制点,误差在 0.5 个像元以内。大气校正利用的是 6S 模型,采用实测的探空数据。

**2.3.2 AQUA/MODIS** MODIS 是美国地球观测系统 (EOS) 中研发的新一代传感器,搭载在 TERRA 和 AQUA 两颗卫星上。MODIS 作为一种高光谱卫星探测器,共有 36 个观测通道,波谱范围为 0.4~14μm,数据空间分辨率包括了 250m (1~2 波段)、500m (3~7 波段) 和 1000m (8~36 波段) 3 个尺度。本文中使用的是 AQUA/MODIS 的表面反射率产品 (MOD09A1, 500 m),获取时间是 2009 年 11 月 23 日。

## 2.4 模型介绍

本文参考利用 Dall'olmo 等的研究结果，三个波段的反射率模型可以用于水体叶绿素 a 的反演。反射率模型的主要原理在于将色素浓度和反射率的大小相联系，尤其是在 670nm、710nm 和 750nm 附近。根据 MERSI 和 MODIS 的波段设置，本文主要建立了两类模型，分别由两个波段的反射率 (MOD2) 和三个波段的反射率构成 (MOD3)。模型最初的形式如下：

$$\text{MOD3: } chl - \alpha \infty (R_{\lambda_1}^{-1} - R_{\lambda_2}^{-1}) \times R_{\lambda_3} \quad (1)$$

$$\text{MOD2: } chl - \alpha \infty (R_{\lambda_1}^{-1}) \times R_{\lambda_3} \quad (2)$$

其中， $R_{\lambda_3}$  是  $\lambda_{nm}$  波段位置的反射率。

从模型的基本方程可以出，MOD2 是 MOD3 的一种特殊形式，即忽略了 3 中第二个波段的反射率 (通常是在红波段位置)。根据 MERISI 和 MODIS 的通道设置，本文构建的模型分别如下：

$$\begin{aligned} \text{MOD3:} & \quad (R_{\text{RED}}^{-1} - R_{\text{NIR}}^{-1}) \times R_{\text{GREEN}} \\ & \quad (R_{\text{BLUE}}^{-1} - R_{\text{GREEN}}^{-1}) \times R_{\text{NIR}} \\ & \quad (R_{\text{BLUE}}^{-1} - R_{\text{GREEN}}^{-1}) \times R_{\text{RED}} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \text{MOD2:} & \quad R_{\text{NIR}}/R_{\text{RED}} \\ & \quad R_{\text{NIR}}/R_{\text{GREEN}} \\ & \quad R_{\text{NIR}}/R_{\text{BLUE}} \end{aligned} \quad (4)$$

## 3 结果分析

表 1 水体采样参数信息

Tab. 1 Information about water samples

### 3.1 不同叶绿素 a 含量的光谱响应

实测数据共选取了太湖水域 13 个采样点 (表 1)。太湖水体实测采样光谱的变化如图 1。本文选取了从可见光 350nm 到近红外 1000nm 波段范围，从中可以看出，不同叶绿素 a 含量的光谱曲线在形状和趋势上都有显著的不同，而这些变化区域也正是遥感监测水体叶绿素 a 含量的潜在波段位置。

对于叶绿素 a 含量较低的

采样点	经纬度	叶绿素 a (mg/L)
2009112301	120°12'23.8"E, 31°31'41.1"N	0.006905
2009112302	120°12'11.9"E, 31°31'36.2"N	0.008300
2009112303	120°11'35.2"E, 31°29'51.3"N	0.004420
2009112304	120°10'56.3"E, 31°29'15.1"N	0.003359
2009112305	120°9'49.9"E, 31°28'0.8"N	0.002996
2009112306	120°8'16.7"E, 31°25'41.2"N	0.003250
2009112307	120°8'18.4"E, 31°25'23.3"N	0.003830
2009112308	120°8'47.6"E, 31°24'35.3"N	0.003326
2009112309	120°12'7.1"E, 31°23'20.9"N	0.002671
2009112310	120°11'21"E, 31°27'37.4"N	0.002783
2009112311	120°12'15.8"E, 31°29'13.3"N	0.003213
2009112312	120°12'15.3"E, 31°30'55.6"N	0.006166
2009112313	120°13'4.4"E, 31°32'14"N	0.009149

水体 (清洁和少量蓝藻水体)，可见光到近红外波段有三个反射峰，分别在 570 nm、700 nm 和 810 nm 附近。当波长大于 850 nm 时，反射率迅速下降，一般低于 5%。此时，光谱曲线主要反映的是水体的反射特征，整体反射率均较小。对叶绿素 a 含量较高的水体 (中等和大量蓝藻水体)，光谱反射率发生了较大的变化，在蓝波段 (450 nm) 和红波段 (680 nm) 出现了强烈的吸收峰。此外，反射率在 690 nm 处迅速增加，在 750~820 nm 处达到最大值，一般在 0.22~0.30 附近。主要原因在于受蓝藻污染的水体呈现明显的非

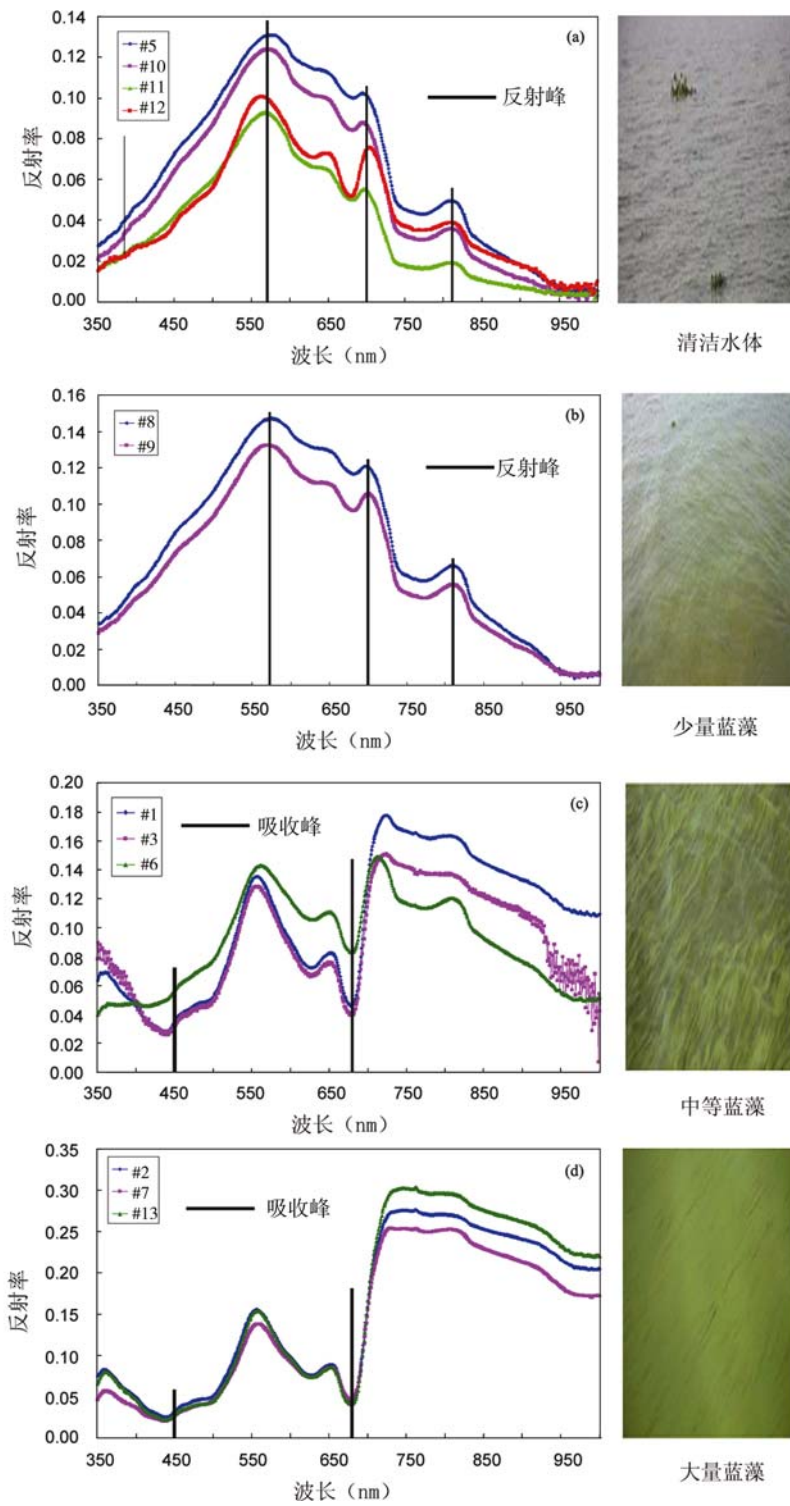


图 1 所有 13 个采样点实测光谱在 3500~900 nm 范围内的变化曲线及水体状况  
Fig. 1 Spectral response of samples in regions with 350~900 nm

朗伯特特性，各向异性增强，受水体色素反射的影响，因此反射率数值相对较高。这种反射特征趋近于植被在可见光、近红外波段的光谱特性。在整个波段范围中，绿波段（550 nm）和近红外波段（750~820 nm）是叶绿素 a 含量的敏感波段。绿波段的反射峰主要是由于水藻的色素造成，近红外波段的强反射则源于光线在蓝藻细胞内部的多次散射。这些反射率的特征一方面主要是蓝藻的主要色素作用的结果，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。

### 3.2 MERSI 反演叶绿素 a 含量

MERSI 传感器在可见光和近红外范围有四个主要波段，本文选择了 MOD3 和 MOD2 的三种组合方式，叶绿素 a 含量的反演结果如图 2。

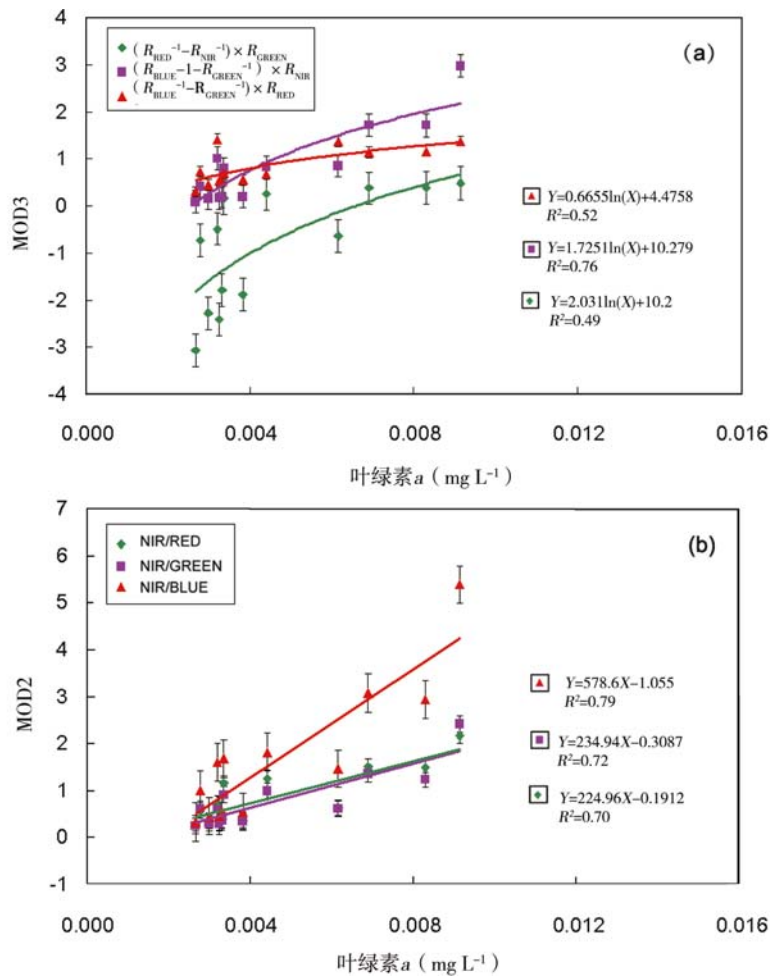


图 2 基于 MERSI 建立的 MOD3 (a)、MOD2 (b) 的叶绿素 a 含量反演结果  
Fig. 2 Estimation of Chl-a using MOD3 (a) and MOD2 (b) based on MERSI image

图 2 反映了三种组合的 MOD3 在叶绿素 a 含量反演都具有一定的可行性，相关系数  $R^2$  分别为 0.76、0.52 和 0.49。MOD2 的三种组合获得了更高精度的叶绿素 a 含量反演结果， $R^2$  都在 0.70 以上（图 3b）。另一方面， $R_{NIR}/R_{BLUE}$  具有最高的反演精度， $R^2$  为 0.79。这主要是由于蓝波段对蓝藻色素的敏感性比绿波段更高。线性回归模型是 MOD2 的另一

一个重要优点。这一特点表明在高值的叶绿素 *a* 含量反演中, MOD2 会一直保持其敏感性, 即不会出现饱和区域, 提高了高叶绿素 *a* 含量反演的精度。这一特点对监测蓝藻暴发非常重要, 因为叶绿素 *a* 含量会在蓝藻暴发时的短时间内迅速增加。

### 3.3 MODIS 反演叶绿素 *a* 含量

图 3 反映了基于 MODIS 数据建立的 MOD3 和 MOD2 的叶绿素 *a* 含量反演结果。由结果可知, MOD3 的精度比 MOD2 略低。对于三种形式的 MOD3,  $(R_{BLUE}^{-1} - R_{GREEN}^{-1}) \times R_{NIR}$  的精度相对较高,  $R^2$  为 0.70, 另外两种形式的  $R^2$  分别为 0.50 和 0.43。相比于 MOD3, MOD2 三种形式的精度较为稳定,  $R^2$  在 0.65 到 0.69 之间。

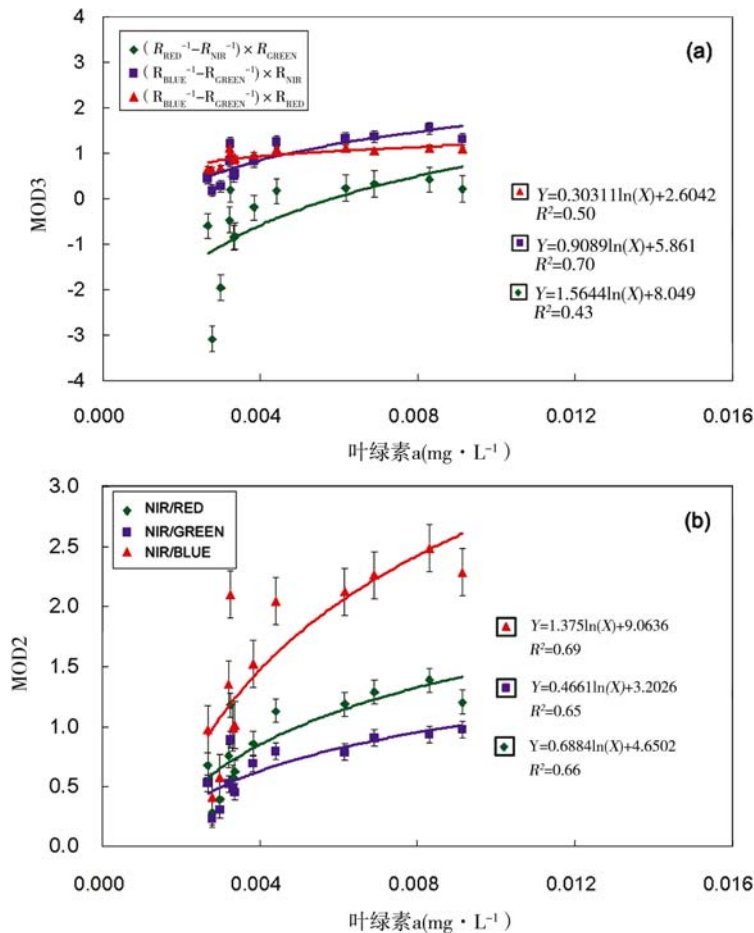


图 3 基于 MODIS 建立的 MOD3 (a)、MOD2 (b) 的叶绿素 *a* 含量反演结果  
Fig. 3 Estimation of Chl-a using MOD3 (a)、MOD2 (b) based on MODIS image

MODIS 和 MERSI 结果的一个主要区别是回归方程的类型差异。对 MODIS 而言, MOD2 和 MOD3 和叶绿素 *a* 含量都是对数关系, 即高值区域会出现饱和现象。本文分析的原因可能是不同的空间分辨率造成的影响。

### 3.4 基于反演模型的叶绿素 *a* 含量制图

根据上述模型的反演结果, 这一部分分别基于 MERSI 和 MODIS 数据选用了  $(R_{BLUE}^{-1} - R_{GREEN}^{-1}) \times R_{NIR}$  (MOD3) 和  $R_{NIR}/R_{BLUE}$  (MOD2) 两个模型研究太湖水体

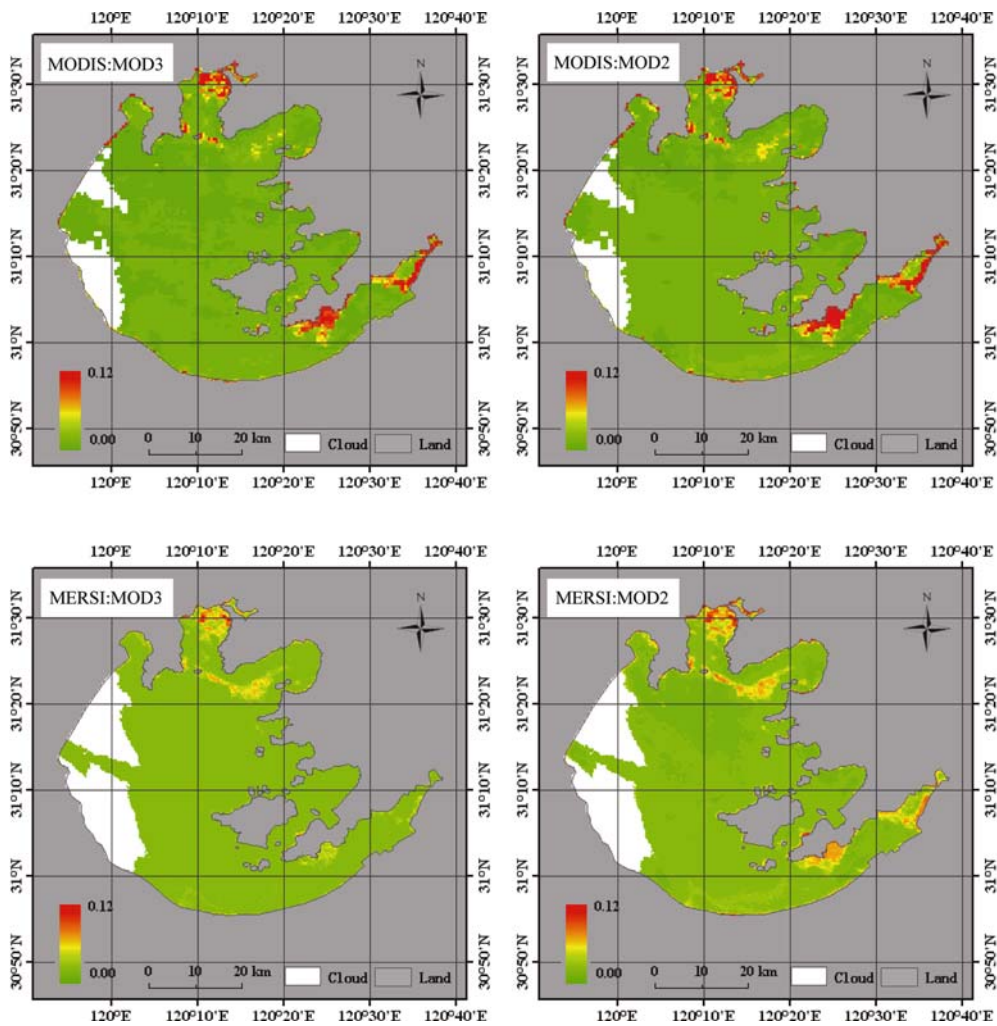


图 4 基于 MODIS 和 MERSI 数据建立的 MOD3 和 MOD2 的叶绿素 a 含量分布图

Fig. 4 Mapping the Chl-a distribution using MOD3 and MOD2 based on MODIS and MERSI images

叶绿素 a 含量的制图 (图 4), 并对其空间分布特征进行了相应的分析。

从 MODIS 和 MERSI 的 MOD3 和 MOD2 两个模型比较来看, 叶绿素 a 含量总体的趋势一致, 北部和东部偏高, 南部偏低; 另外, 东部偏高是由于水草的存在。

从模型的比较分析来看, MOD2 的精度较高, 这一点在成图中也有明显的表达。对于 MERSI 的 MOD3 和 MOD2 成图, 东部的叶绿素含量存在明显的差异。由 MOD2 的反演结果要高于 MOD3, 这一结果和前一部分的模型分析相一致, 由于 MOD3 和叶绿素 a 含量非线性相关, 进而在高值区域出现了饱和, 及对高值区域的敏感性低, 降低了反演精度; MOD2 由于其线性关系, 获得了更准确的叶绿素 a 成图结果。

### 3.5 讨论

**3.5.1 MOD3 和 MOD2 的比较** 本文利用了两种模型反演太湖水体的叶绿素 a 含量, 两种模型的结果有一定的差异, 因此, 有必要对两种模型进行更为细致的比较。

首先, MOD2 是 MOD3 的一种特殊形式, MOD2 直接比较叶绿素 a 两个特征波段的

反射率。尽管本文中 MOD2 的反演精度较高,但是很难说 MOD2 一定比 MOD3 更适合,模型的结果还是取决于所采用的波段位置。目前的理解认为,蓝波段、红波段和近红外波段要比绿波段更适合水体叶绿素 a 含量反演,主要原因是蓝波段和和红波段为吸收谷,而绿波段和近红外波段为反射峰<sup>[12]</sup>。因此,反射峰和吸收谷的比值将增加二者之间的差异,提高对水体叶绿素 a 含量变化的敏感性。另一方面,水体的叶绿素 a 含量反演非常困难,水体中其他物质的存在也会影响到模型的最终结果,因而很难确切的说明哪一个波段更合适,算法的可行性同样依赖水体的光学特性。对太湖而言,本文的反演结果(包括 MERISI 和 MODIS)说明蓝波段和近红外波段更适合水体的叶绿素 a 含量。比如,在 MOD2 中,  $R_{NIR}/R_{BLUE}$  精度最高;在 MOD3 中,  $(R_{BLUE}^{-1} - R_{GREEN}^{-1}) \times R_{NIR}$  精度最高。

其次,基于 MERISI 数据建立的 MOD2 获得了水体叶绿素 a 含量的线性反演方程。但是对于 MODIS 数据,MOD2 和 MOD3 都是非线性结果。这并不是意味着模型之间的冲突,主要是由于模型的结果和光谱位置以及空间分辨率相关,这一结果和现有的研究也一致,如 Gitelson 等<sup>[14,15]</sup>就同时获得了线性和非线性的反演结果。

**3.5.2 MERISI 和 MODIS 结果比较** 整体而言, MERISI 反演结果的精度要高于 MODIS 数据(包括 MOD2 和 MOD3)。表 2 是 MERISI 和 MODIS 的详细波段设置及空间分辨率比较。在可见光和近红外波段, MERISI 和 MODIS 在光谱设置上基本类似,但 MERISI 的光谱范围略宽,尤其是近红外波段。众所周知,高光谱以特有的精细光谱特征获取地表的光谱响应变化,但是,高光谱同时对噪声更加敏感,如气溶胶、水分含量等<sup>[17]</sup>。因此,很多研究发现高光谱在陆地参数反演方面和宽波段的模型并没有明显的差异<sup>[18]</sup>。本文的结果也证实了光谱特征并不是水体叶绿素 a 含量反演精度的最重要因素,空间分辨率同样起着重要作用。当光谱范围相近时,空间分辨率高出一倍的 MERISI 获得了更高的反演精度较高。从这个角度来说, MERISI 数据的性能要略高于 500m 分辨率的 MODIS 数据。

### 3.5.3 叶绿素 a 反演的不确定性

尽管本文获得了较高精度的太湖水体叶绿素 a 含量反演结果,但是水体复杂的光学特性还是给叶绿素 a 反演提出了很多挑战和不确定性。

首先是关于水体叶绿素 a 含量反演的最优波段选择问题。本文中选择了两个模型,分别包含了两个波段和三个波段的反射率,通常认为和叶绿素 a 含量相关的红波段却并非

最合适的波段,蓝波段则显示了更好的潜力。这一现象的原因是水体叶绿素 a 含量反演的精度不仅受叶绿素 a 本身的信号影响,而且和水体的光学特性相关。Dall'olmo 等<sup>[12]</sup>利用一系列模拟的反射率研究了叶绿素 a 的特征波段。研究表明,叶绿素 a 最敏感的波段和水体自身光学特性的敏感波段相重合,因此,实际应用中的最优波段可能并不是叶绿素 a 含量最强的信号区域,而是那些同时受叶绿素 a 含量影响,又较少的受水体光学特性影响的波段。

表 2 MERISI 和 MODIS 传感器的比较

Tab. 2 Comparison of MERISI and MODIS

传感器	波段范围 (nm)	中心波长 (nm)	空间分辨率 (m)
MERSI	447~483	470	250
	536~569	550	250
	611~686	650	250
	807~980	865	250
MODIS	459~479	470	500
	545~565	555	500
	620~670	648	500
	841~876	858	500



其次, 反射率模型的使用中必须保证对数据经过严格的大气校正。因为大气的散射和天空光都会影响到叶绿素 a 的最终反演精度。此外, 模型的普适性同样受到大气校正的影响, 尤其是反演参数的确定。因此, 精确地大气校正仍然是水体参数反演中的一个重要内容。

第三个方面是混合像元的问题。卫星影像获取的光谱特征是一定区域地表的反映, 水体实测叶绿素 a 含量的获取方法不可避免的会引起混合像元的问题。对于不同的水体采样区域, 水的光学特性和物理特性都有差异, 这种差异有进一步降低了叶绿素 a 含量的反演精度。本文的结果可以看出, 再近似相通的光谱设置条件下, 具有较高空间分辨率的 MERSI 数据要比 MODIS 数据更适合水体叶绿素 a 含量反演, 整体精度要更高。

## 4 结论

本文利用 MERSI 和 MODIS 卫星的反射率数据分别构建了两个波段 (MOD2) 和三个波段 (MOD3) 的叶绿素 a 含量反演的遥感模型。利用太湖水体的实测数据, 获得了水体叶绿素 a 含量较高的反演结果。其中 MERSI 的反演精度略高, 相关系数  $R^2$  分别为 0.72~0.79 (MOD2) 和 0.52~0.76 (MOD3)。这一结果比同一时期的 MODIS 反演精度略高,  $R^2$  分别为 0.65~0.69 (MOD2) 和 0.43~0.70 (MOD3)。

不同模型比较说明蓝波段和近红外波段对叶绿素 a 含量具有较高的敏感性, 这为今后新的模型建立提供了依据。本文的结果反映了 MERSI 数据在反演水体叶绿素 a 含量方面的可行性, 同时也显示了 MERSI 在水体光学特性研究中的潜力。另一方面, 今后还需要进一步研究水体光学特性和光谱响应变化的作用机制, 为使用反射率模型提供更多的理论支持和方法指导。

## 参考文献:

- [1] Reinart A, Kuster T. Comparison of different satellite sensors in detecting cyanobacterial bloom events in the Baltic Sea. *Remote Sensing of Environment*, 2006, 102: 74~85.
- [2] Carmichael W W. Health effects of toxin-producing cyanobacteria: "The CyanoHABs". *Human and Ecological Risk Assessment*, 2001, (7): 1393~1407.
- [3] 刘付程, 史学正, 于东升, 等. 太湖流域典型地区土壤全氮的空间变异特征. *地理研究*, 2004, 23 (1): 63~70.
- [4] Moses W J, Gitelson A A, Berdnikov 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, (6): 845~849.
- [5] 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.
- [6] Gordan H R, Brown O B, Evans R H, *et al.* A semianalytic radiance model of ocean color. *Journal of Geophysical Research*, 1988, 93: 10909~10924.
- [7] Mittenzwey K H, Ullrich S, Gitelson A A, *et al.* Determination of chlorophyll-a of inland waters on the basis of spectral reflectance. *Limnology and Oceanography*, 1992, 37: 147~149.
- [8] Dekker A. Detection of the optical water quality parameters for eutrophic waters by high resolution remote sensing. Ph. D. Thesis, Free University, Amsterdam, The Netherlands, 1993.
- [9] Han L, Rundquist D. Comparison of NIR/RED ratio and first derivative of reflectance in estimating algal-chlorophyll concentration: A case study in a turbid reservoir. *Remote Sensing of Environment*, 1997, 62: 253~261.
- [10] 吕恒, 江南, 罗淑葱. 基于 TM 数据的太湖叶绿素 a 浓度定量反演. *地理科学*, 2006, 26 (4): 472~476.
- [11] 荀尚培, 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.

- [12] Dall'olmo G, Gitelson A A, Rundquist D C, *et al.* Assessing the potential of SeaWiFS and MODIS for estimating chlorophyll concentration in turbid productive waters using red and near-infrared bands. *Remote Sensing of Environment*, 2005,96:176~187.
- [13] Gitelson A A, Vina A, Arkebauer T J, *et al.* Remote estimation of leaf area index and green leaf biomass in maize canopies. *Geophysical Research Letter*, 2003; 30, 1248, doi:10.1029/2002GL016450.
- [14] Gitelson A A, Schalles J F, Hladik C M. Remote chlorophyll-a retrieval in turbid, productive estuaries; Chesapeake Bay case study. *Remote Sensing of Environment*, 2007,109:464~472.
- [15] Gitelson A A, Dall'olmo 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] Moses W J, Gitelson A A, Berdnikov S, *et al.* Estimation of chlorophyll-a concentration in case II waters using MODIS and MERIS data-successes and challenges. *Environment Research Letter*, 2009,(4):045005.
- [17] Kucharik C J, Norman J M, Gower S T. Measurements of branch area and adjusting leaf area index indirect measurements. *Agricultural and Forest Meteorology*, 1998,91:69~88.
- [18] Broge N H, Mortensen J V. Deriving green crop area index and canopy chlorophyll density of winter wheat from spectral reflectance data. *Remote Sensing of Environment*, 2002,81:45~57.

## Estimation of chlorophyll-a using MERSI and MODIS images in Taihu Lake, China

HAN Xiu-zhen, ZHENG Wei, LIU Cheng, AN Si-ying

National Satellite Meteorological Center, China Meteorological Administration, Beijing, 100081, China

**Abstract:** The Chlorophyll-a (Chl-a) concentrations in water are of great importance to the monitoring of water quality and ecosystem balance. Remote sensing offers a convenient and systematical tool for the observations of water at a long time scale. In this paper, we present a study of Chl-a estimation using the reflectance models (MOD3:  $R_{41}^{-1} - R_{42}^{-1}) \times R_{33}$  and MOD2:  $R_{41}^{-1} \times R_{33}$ ) derived from the Medium Resolution Spectral Image (MERSI) onboard the newly launched FY-3A satellite and the Moderate Imaging Spectroradiometer (MODIS) onboard the AQUA platforms. Validation studies demonstrated that both models provided reliable estimates of Chl-a concentrations with determination coefficients R2 of 0.72~0.79 (MOD2) and 0.52~0.76 (MOD3) for MERSI standard band settings. This accuracy is slightly better than that of the MODIS results with R2 of 0.65~0.69 and 0.43~0.70 for MOD2 and MOD3, respectively. Comparison analysis between models and sensors indicated that the blue and near infrared wave ranges are of potential for Chl-a estimation. Besides, the higher spatial resolution of MERSI (250m) may explain the better performance for both models compared to that of MODIS. This research will be helpful for the development of future Chl-a estimation models using the satellite observations.

**Key words:** MERSI; MODIS; Chl-a; remote sensing