

基于 MODIS 数据的太湖藻华水体识别模式*

徐京萍^{1,2}, 张 柏¹, 李 方^{1**}, 宋开山¹, 王宗明¹

(1: 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 长春 130012)

(2: 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘 要: 针对 2007 年 5 月太湖爆发的蓝藻水华事件, 利用 MODIS 植被指数数据对其进行遥感监测. 结果表明: MODIS 数据可成功提取蓝藻水华信息. 近红外/红光波段比值识别模式和植被指数 NDVI 值、EVI 值识别模式均可确定蓝藻分布范围, 但前两者不易将高浑浊水体区分开来, 或不易识别低蓝藻分布区域, 因此易扩大或缩小蓝藻分布范围; 而后者由于引入了背景调节参数, 可有效抑制背景水体及泥沙的影响, 因此根据 EVI 值得到的蓝藻范围及强度较为真实的反映了藻华情况. 该研究可为今后利用遥感技术, 建立太湖蓝藻水华监测系统奠定基础.

关键词: 蓝藻; MODIS; 太湖

Detecting modes of cyanobacteria bloom using MODIS data in Lake Taihu

XU Jingping^{1,2}, ZHANG Bai¹, LI Fang^{1**}, SONG Kaishan¹ & WANG Zongming¹

(1: *Northeast Institute of Geography and Agricultural Ecology, Chinese Academy Sciences, Changchun 130012, P.R.China*)

(2: *Graduate School of Chinese Academy Sciences, Beijing 100049, P.R.China*)

Abstract: Detection of cyanobacteria blooms in Taihu using vegetation index data from MODIS was carried out since cyanobacteria blooms broke out in May 2007. The results showed that MODIS was able to detect cyanobacteria bloom effectively. Algorithm of band ratio between infrared and red band and values of NDVI or EVI can be used to analyze the distribution of algae. However, the former two were difficult to distinguish high-turbid water from algae or identify areas with low density of cyanobacteria, which resulted in the magnified or reduced areas of algae, while the latter one could constrain background noise properly mainly from water and suspended matter. Therefore, based on the digital number values (DNs) of EVI band, an approximately actual distribution of algae was induced. The study showed that satellite observations could be effectively applied to cyanobacteria bloom real-time monitoring system for Lake Taihu.

Keywords: Cyanobacteria bloom; MODIS; Lake Taihu

太湖流域位于长江三角洲腹部, 人口稠密、经济发达, 其水资源的利用对长三角区域的持续发展具有举足轻重的作用. 然而随着人口的增长和经济的快速发展, 太湖水环境问题日益突出. 每年夏秋季节, 因湖水富营养化引起的蓝藻水华环境灾害频频暴发, 不仅恶化了水体的感官性状, 而且破坏了太湖生态系统的平衡状态, 严重降低了其使用功能. 今年入夏以来太湖所爆发的蓝藻事件尤为突出, 其时间早, 规模强度大, 后果已严重威胁了无锡等市的饮水安全. 因此, 改善保护太湖水资源质量已迫在眉睫. 加大蓝藻水华的监视力度, 及时、准确、全面地获取其发生发展状况信息对于这种突发事件的跟踪监测, 研究蓝藻生长异常原因具有重要意义, 同时也为建立有效的水质预警系统、采取有效的控制措施提供依据.

遥感以其宏观、快速、成本低和便于进行长期动态监测的优势在区域面状水质监测中发挥了重要作用. 针对蓝藻的遥感监测研究, 许多国家, 如美国、西班牙、荷兰、澳大利亚等都对其进行了专门立项^[1].

* 中国科学院知识创新工程项目(KZCX3-SW-356)和吉林省与中国科学院科技合作项目联合资助. 2007-09-05 收稿; 2007-10-31 收修改稿. 徐京萍, 女, 1982 年生, 博士.

** 通讯作者; E-mail: xjingping@gmail.com.

国内外诸多专家学者也都纷纷致力于该项研究. 例如Stumpf等^[2]和Prangma等^[3]利用AVHRR波段2相对较高反射率信息, 成功地进行了近海清水区藻华水体的遥感识别及其时间序列分析. Lenvine等^[4]利用Landsat TM数据对Champlain湖和Vermont湖蓝藻进行了监测, 以细胞流速仪的检测结果作参照, 取得了较好的效果. Tiit Kutser等采用生物光学模式对波罗的海水体中的蓝藻进行了监测^[5]. 国内学者李旭文等^[6]以TM影像为数据源, 利用叶绿素a与差值植被指数DVI(TM4-TM3)之间很高的相关性, 对太湖梅梁湾叶绿素a及蓝藻生物量进行了遥感估算. 王海君等^[7]基于ASTER数据, 结合实地采样数据对太湖梅梁湾的蓝藻分布状况进行了分析研究.

近年来, 在蓝藻卫星遥感监测数据方面, 中分辨率成像光谱仪(MODIS)数据因其光谱分辨率高、观测周期短等特点, 受到越来越多的重视. MODIS是美国国家航空航天局(NASA)对地观测系统(EOS)计划中最有特色的传感器之一, 是当前世界上新一代图谱合一的光学遥感仪器. 它拥有36个光谱通道, 覆盖可见光、近红外和热红外波段, 具有波段窄、信噪比高、波谱敏感性好等优点, 其中第1、2波段的空间分辨率为250m, 能够准确地用于湖泊水体提取. MODIS可在一天内覆盖全球一次, 因此其数据时间分辨率高, 对于水体蓝藻信息的动态变化可进行实时监测. 此外, 它可全球免费提供诸多数据产品, 这种不可多得的实用资源为及时、便捷、经济的获取蓝藻水华信息提供了便捷. 因此, 本文就今年入夏以来太湖所爆发的蓝藻事件, 利用MODIS数据产品进行蓝藻信息提取研究, 为今后突发水华事件中快速获取蓝藻分布信息, 建立实时监测系统奠定基础.

1 蓝藻卫星遥感监测机理

蓝藻暴发时引起水体温度、色度和透明度等一系列物理性质发生变化, 进而导致水体反射波谱特性也发生变化. 其高叶绿素a含量, 使得水体反射光谱在蓝波段和红波段的吸收峰较为明显^[8], 而在近红外波段具有类似于植被光谱曲线特征的“陡坡效应”, 即在可见光波段反射率低, 在近红外波段反射率却明显升高. 卫星探测器可以准确无误的将这种兼有水体和植被的光谱特性记录下来. 加上蓝藻暴发聚集易受潮流、风向的影响, 其在影像上通常呈条带延伸, 并具有絮状纹理机构, 这与周围的湖水面有显著不同^[9]. 蓝藻的以上光谱特性使得其大面积的卫星遥感信息提取成为可能.

2 MODIS 数据及其处理方法

2.1 数据来源

本研究所利用的影像数据是两期来自美国国家航空航天局DAAC数据中心所提供的MODIS/AQUA L3级别的植被指数数据产品MYD13Q1, 它是16天合成数据, 日期分别为2007年5月1日-5月16日和2007年5月17日-6月1日, 对应了5月份以来两次较为明显的蓝藻大规模暴发时间, 即5月7日与5月29日. 该数据已采用限定视角下的最大值方法CV-MVC和双向反射率模型BRDF进行了去云处理, 其空间分辨率为250m. 本研究主要利用了该产品所包含的NDVI、EVI、蓝、红以及近红外的波段数据.

2.2 数据处理

在MODIS产品处理软件MRT下对MYD13Q1的NDVI、EVI、蓝、红以及近红外波段进行了地理几何校正与重采样, 采样方法为最近邻法. 结合太湖边界数据, 在软件ENVI 4.0中利用掩膜技术提取太湖水域范围. 此外, 各波段的算数运算也是在ENVI软件中完成的.

3 结果与分析

对MODIS的近红外波段、红波段和蓝波段分别赋给红、绿、蓝三种颜色, 彩色合成结果见图1. 蓝藻区在图上呈暗红色, 与周围水体色调形成鲜明对比. a图和b图分别表示的是两个时期的蓝藻分布状况. 由图可看出, 太湖蓝藻暴发整体趋势比较严峻. 受小风速南风 and 东南风的作用, 太湖湖面大量繁殖生长的蓝藻主要聚集在北部地区的梅梁湖、贡湖以及西部岸边的浅水滩. 前半月, 蓝藻密度以梅梁湖和贡湖最大. 后半月, 随着气温逐步升高, 太湖蓝藻有加剧的趋势, 几乎整个水域都有不同程度的蓝藻分布, 尤其是西部沿岸的蓝藻范围及强度明显增大, 但梅梁湖、贡湖等北部区域的蓝藻状况有所缓解. 为了定量提

取蓝藻的分布范围, 以下将分别利用近红外/红波段比值、归一化植被指数NDVI值以及增强植被指数EVI值建立蓝藻的识别模式, 并对比讨论各模式的判别结果.

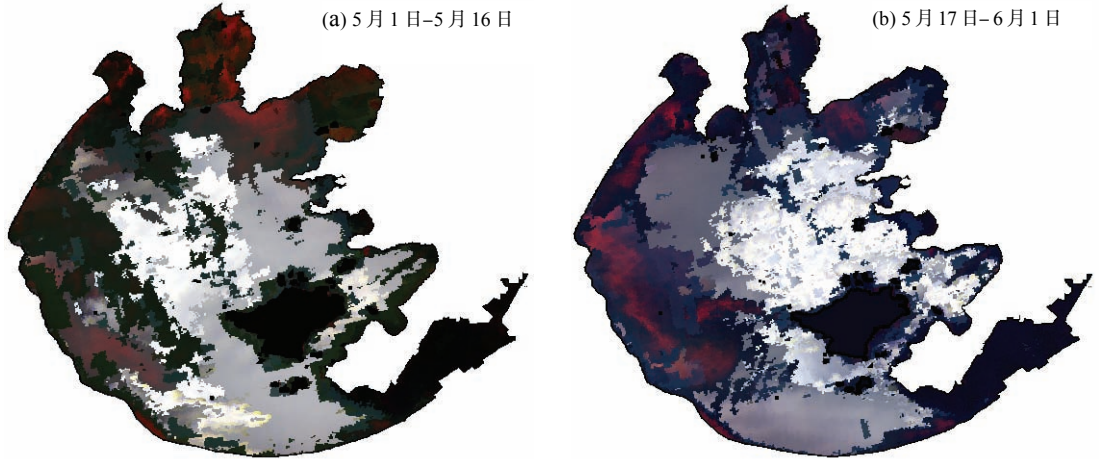


图 1 MODIS 近红外、红、蓝波段彩色合成
Fig.1 Synthesized maps of MODIS bands of near-infrared, red and blue

3.1 近红外/红波段比值

由于蓝藻水华在近红外高反射, 可见光波段低反射; 而水体恰好相反, 可见光波段反射率较高, 而在近红外波段强吸收, 因此可以利用近红外与可见光波段比值提取蓝藻分布信息. MODIS近红外波段与可见光波段比值, 通常利用近红外与红光二者比值区分蓝藻水华和水体, 设定阈值为1, 将大于1的区域界定为蓝藻所在区域. 利用该方法的蓝藻强度分级结果如图2. 虽然a、b图中蓝藻的分布变化趋势与图1相近, 但分布范围明显大于图1, 几乎涉及整个太湖水域, 尤其是a图显示的太湖东部和b图显示的太湖中心的蓝藻强度均有被夸大化. 这是由于该蓝藻识别模式易受噪音干扰, 高浑浊水体的近红外反射率较高, 导致水体的近红外/红波段比值也会大于1, 而该方法不能很好的剔出这种影响, 从而易扩大蓝藻分布范围.

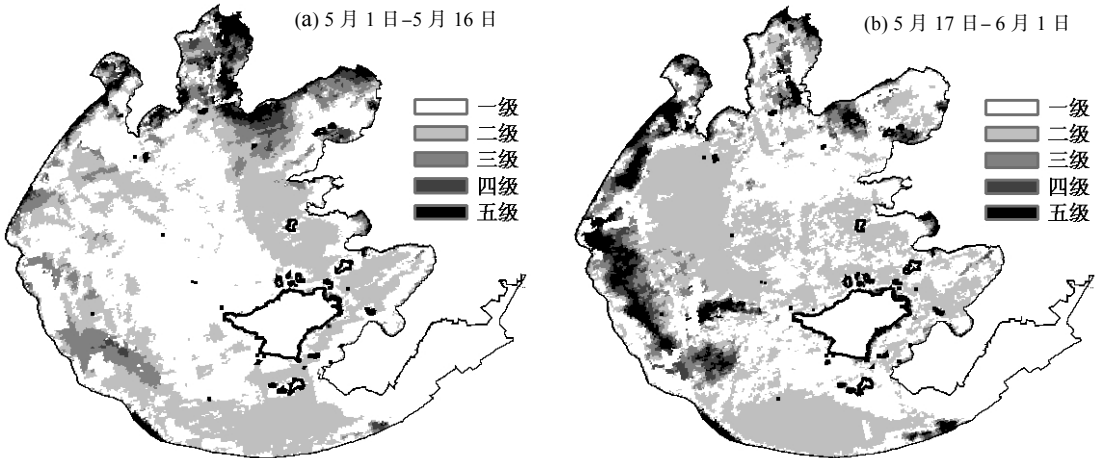


图 2 基于近红外/红波段比值的蓝藻分布
Fig.2 Distribution maps of cyanobacteria bloom based on the ratio of near-infrared band and red band

3.2 NDVI值

由于高密度蓝藻水体在近红外波段具有类似于植被光谱曲线特征的“陡坡效应”, 因此可以利用反映植被信息的归一化植被指数NDVI值来提取蓝藻的分布信息. MODIS的NDVI值定义为:

$$NDVI = (\rho_{nir} - \rho_{red}) / (\rho_{nir} + \rho_{red}) \quad (1)$$

式中, ρ_{nir} 和 ρ_{red} 分别为MODIS数据的近红外和红波段的反射率. NDVI为正值时表明水面有蓝藻覆盖, 其值随着蓝藻密度的增大而增大. 因此以零为阈值界定蓝藻的范围, 其强度分级结果如图3所示. 相比而言, 图3中的蓝藻分布范围明显小于图2, 但与图1示意的红色和浅红色蓝藻分布范围也有出入, 存在不同程度的面积缩小化. 尤其是对于蓝藻强度不高的区域. 这是由于NDVI源于用于植被识别的应用, 而当水面蓝藻不是很密集时, 类似于植被光谱曲线特征的“陡坡效应”就不会很明显, 此时利用NDVI值就不能很好的识别蓝藻区域. 此外, 在东部沿岸地带, 图3显示了少量的较强蓝藻分布, 而在图1中没有明显显示, 尤其是在b图. 这是由于虽然在低浊水体, NDVI值具有与藻华密度成正相关的联系^[10-11], 但在高浑浊水体, 该判别模式存在与近红外/红波段比值同样的识别蓝藻能力不强的缺陷, 从而易将高浊水体误认为蓝藻分布区域. 同时, NDVI易受背景影响, 对大气干扰处理有限, 并当蓝藻密度较大时, NDVI指数会出现饱和现象^[12].

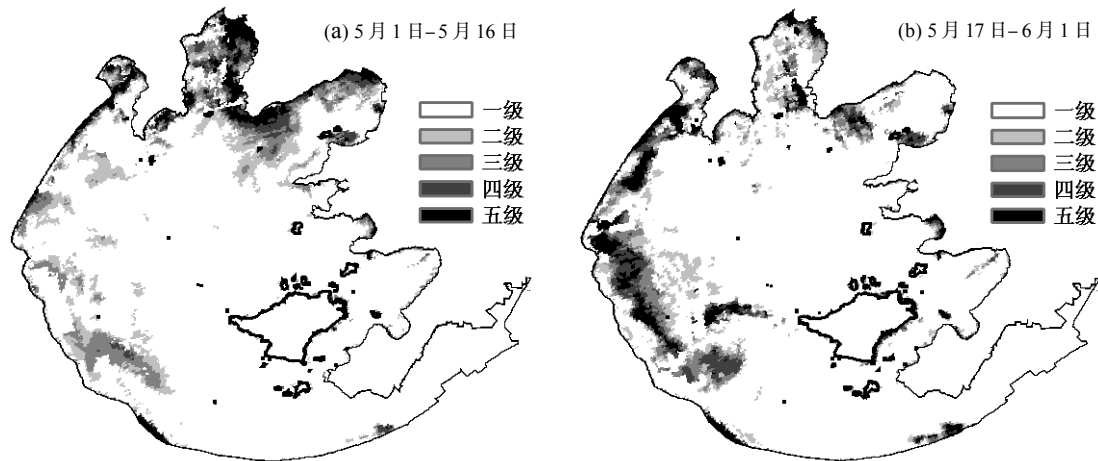


图3 基于NDVI值的蓝藻分布

Fig.3 Distribution maps of cyanobacteria bloom based on NDVI

3.3 EVI值

同理于NDVI判别模式, 太湖蓝藻信息提取也可通过增强植被指数EVI来实现. MODIS的EVI定义为:

$$EVI=2.5(\rho_{\text{nir}}-\rho_{\text{red}})/(L+\rho_{\text{nir}}+C_1\rho_{\text{red}}-C_2\rho_{\text{blue}}) \quad (2)$$

式中, ρ_{blue} 为蓝光波段反射率; L 为背景调节参数, 数值为1; C_1 为大气修正红光校正参数, 数值为6; C_2 为大气修正蓝光校正参数, 数值为7.5. 仍然以零为阈值界定蓝藻的分布范围, EVI大于零表明水面有蓝藻覆盖, 其值随着蓝藻密度的增大而增大. 分级结果如图4所示, 蓝藻的分布范围明显小于图2而大于

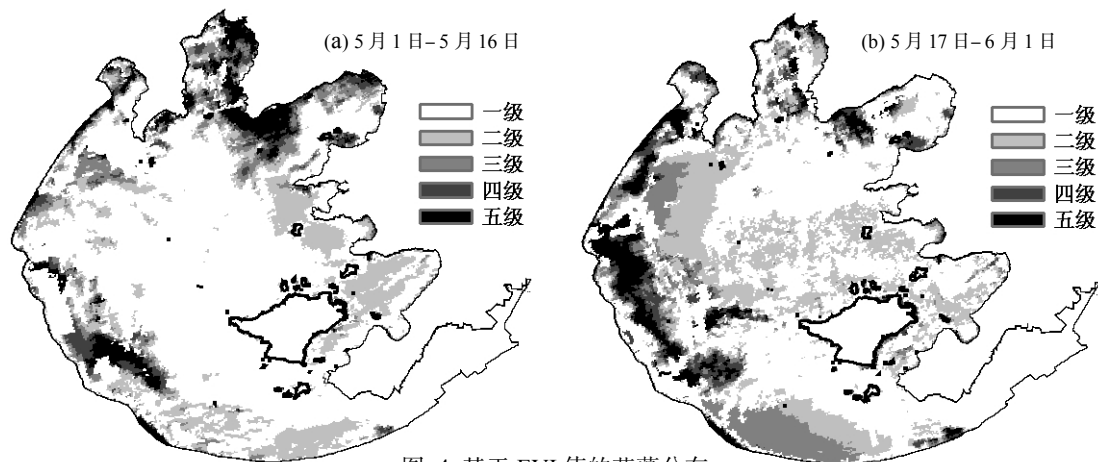


图4 基于EVI值的蓝藻分布

Fig.4 Distribution maps of cyanobacteria bloom based on EVI

图3的结果, 与图1中的暗红色蓝藻强覆盖区域及浅红色弱蓝藻覆盖区域均能较好的吻合, 表明利用EVI判别模式能较为真实的反映太湖水体表面的蓝藻分布情况。虽然EVI也是用于植被识别, 但与NDVI相比, 计算公式中的调节参数 L 使其具有较好的对噪声不敏感性, 能有效地抑制背景水体的影响, 减少泥沙的干扰。因此对低蓝藻密度区域具有较高的识别能力, 同时也能减少高浑浊水体的影响, 从而较为准确的识别水体藻华。此外, 它还具有较好的抗大气干扰能力, 其数值可以相对于气溶胶浓度保持稳定^[12]。

4 结论

本文利用 MODIS 植被指数数据产品, 对 2007 年 5 月太湖蓝藻空间分布信息提取进行了初步研究, 认为:

(1)MODIS 数据以其波段窄、信噪比高、波谱敏感性好以及可免费获取等优点可为实时、准确、经济的获取蓝藻水华信息提供便捷;

(2)基于蓝藻在近红外波段具有类似于植被光谱曲线特征的“陡坡效应”, 可通过 MODIS 植被指数数据产品建立的近红外/红波段比值、NDVI 值以及 EVI 值蓝藻识别模式进行有效的蓝藻分布信息提取, 但由于前两种模式不能很好的抑制水体背景噪音信息, 无法区分蓝藻区域和高浑浊水体, 并且不能有效识别低密度蓝藻水体, 因此其结果易扩大或缩小蓝藻的分布范围。而 EVI 判别模式引入背景调节参数, 可有效抑制背景水体及泥沙的影响。此外, 它还具有较好的抗大气干扰能力, 根据其得到的结果不论是分布范围还是蓝藻强度均能较为真实的反映藻华情况;

(3)虽然在本研究中 EVI 指数可较好的识别水体藻华, 但该指数的建立是针对陆地植被而言。因此, 要想应用该指数进行更为精确的蓝藻信息提取, 必须建立针对水体特性的参数体系。此外, 大量硅藻导致高 Chl_a 含量, 但并不一定出现蓝藻水华现象, 因此, 要想应用 MODIS 数据获取较为准确的蓝藻暴发空间分布, 在今后的研究中可有效结合利用野外实测验证数据及其它高光谱分辨率的影像数据。

5 参考文献

- [1] 杨顶田, 潘德炉. 蓝藻的卫星遥感研究进展. 国土资源遥感, 2006, 4: 1-5.
- [2] Stumpf RP, Megan LF. Use of AVHRR imagery to examine long-tem trends in water clarity in coastal estuaries: example in Florida Bay. In: Kahru M, Brown CW eds. Monitoring algal bloom: New techniques for detecting large-scale environmental change. Spring Velag and Landes Bioscience, 1997: 3-23.
- [3] Prangmsma GJ, Roozekrans JN. Using AVHRR HRPT imagery in assessing water quality parameters. *International Journal of Remote Sensing*, 1989, 10(4-5): 811-818.
- [4] Levine SN, Livingston GP, et al. Detection of cyanobacterial blooms using remote sensing. Report for 2002VT5B, 2002.
- [5] Kutser T, Sipelgas L, Kallio K. Bio-optical modeling and detection of cyanobacterial bloms. Baltic Sea Optics Workshop-Stockholm, 2001.
- [6] 李旭文. 太湖梅梁湖湾蓝藻生物量的遥感估算. 国土资源遥感, 1995, (2): 23-28.
- [7] 王海君, 李云梅. 用 ASTER 数据监测梅梁湖湖区蓝藻分布的方法. 南京师大学报(自然科学版), 2005, 28(1): 103-106.
- [8] 李 炎, 商少凌, 张彩云等. 基于可见光与近红外遥感反射率关系的藻华水体识别模式. 科学通报, 2005, 50(22): 2555-2561.
- [9] 黄家柱, 赵 锐. 卫星遥感监测太湖水域蓝藻暴发. 遥感信息, 1999, 4: 43-44.
- [10] Gower JFR. Observation of in situ fluorescence of chlorophyll in Seanich Inlet. *Boundary-layer Meteorology*, 1980, 18: 235-245.
- [11] Gower JFR, Borstad GA. Use of the *in vivo* fluorescence line at 685nm for remote sensing surveys of surface chlorophyll a. In: Gower JFR ed. *Oceanography from Space*. New York: Plenum, 1981: 329-338.
- [12] 李红军, 郑 力, 雷玉平等. 基于 EOS/MODIS 数据的 NDVI 与 EVI 比较研究. 地理科学进展, 2007, 26(1): 26-32.