

基于 MODIS 的湖南省地表温度动态变化研究^{*}

马延辉, 林辉, 孙华

(中南林业科技大学 林业遥感信息工程研究中心, 长沙 410004)

摘 要: 陆地表面温度是地表能量平衡中的一个非常重要的参数, 它在地表与大气相互作用过程中起着重要的作用。以 MODIS 数据资料研究湖南省地表温度动态变化规律, 旨在为研究湖南省城市热岛效应的影响积累资料, 为自然资源监测、保护及其相关领域提供理论数据, 为相关部门制定决策提供科学依据。在总结和分析当前常用地表温度反演算法的基础上, 采用分裂窗算法来反演地表温度, 并利用卫星过境当地地面观测站观测的最高温度对反演结果进行验证。研究表明: 在热量分布方面, 由西北向东南递增, 以武陵山、雪峰山东麓为界将全省分成 2 个区, 东部丰富、西部偏少。温度反演结果与地面实测日最高温度曲线走势基本一致, 符合实际情况。

关键词: 遥感; 地表温度; MODIS; 分裂窗算法

中图分类号: P423.3

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2008)06-0021-03

Study of Land Surface Temperature (LST) Dynamic Changes Using MODIS Data in Hu 'nan Province

MA Yan-hui, LIN Hui, SUN Hua

(Research Center of Forestry Remote Sensing & Information Engineering, Central South University of Forestry & Technology, Changsha 410004, China)

Abstract: Land surface temperature (LST) is very important in surface energy balance, which plays a key role in the interactions between ground and atmosphere. Studying the dynamic mutative disciplinarian of LST in Hu 'nan province based on MODIS data can provide fundamental data for affection of urban heat island, and monitoring and protecting of natural resources. Besides they can be scientific foundation for decision making, based on introducing and analyzing the algorithms commonly used to retrieve surface temperature, a Split-Window Algorithm is chosen to retrieve the surface temperature due to the data on hand and the results of LST is validated with the highest air temperature obtained from meteorological stations. The results show that the caloric increases from northwest to south-east which is divided into two parts by Wuling mountain and the eastern piedmont of Xuefeng mountain. The retrieved LST and the highest actual temperature have the similar trend and the result is more rational.

Key words: remote sensing; land surface temperature(LST); MODIS; split-window algorithm

地面温度是反映土壤、植被、大气系统能量流动与物质交换以及土地资源和环境管理的重要参数^[1], 它在气象、地质、水文、生态等众多领域有着广泛的需求。土壤水分状况, 森林火灾的检测, 地热位置的判别, 军事伪装的应用, 石油和铀矿的寻找等都离不开地物表面温度信息^[2]。

MODIS 是美国国家航空航天局、日本国际贸易与工业厅、加拿大空间局、多伦多大学共同合作发射的卫星 TERRA 上的一个中分辨率传感器。它包含 36 个波段, 分别针对陆地、海洋、水汽、气溶胶等来设计的。MODIS 的第 31 和 32 波段的波段范围与 TM 的第 6 波段范围基本一致, 可用来反演地表温度。MODIS 地面分辨率分别为 250 m、500 m、1000 m, 光谱分辨率高, 因此, MODIS 适用于反映大区域, 甚至全球温度的空间分布规律。

1 地表温度反演方法——分裂窗算法

分裂窗算法是在单通道反演的基础上, 已知地表辐射率的情况下, 利用两个不同的通道在同一个大气窗口上吸收的差异来消除大气的影 响, 由两个通道的亮温线形运算而得^[3]。分裂窗算法是目前发展最成熟的地表温度遥感反演方法^[4]。众多分裂窗算法中, 覃志豪^[5]提出的算法由于需要参数少、计算简单且反演精度高, 被认为是较好的算法之一。

本文采用的算法是覃志豪^[6]提出的适用于 MODIS 数据的地表温度反演算法, 对湖南省地表温度进行了反演。该算法的公式如下:

$$T_s = A_0 + A_1 T_{31} - A_2 T_{32} \quad (1)$$

^{*} 收稿日期: 2008-08-25

基金项目: 国家自然科学基金(30471391); 湖南省教育厅青年基金(04B059); 湖南省学科带头人培养基金; 中南林业科技大学青年科学研究基金(07005B)

作者简介: 马延辉(1985-), 男, 河南洛阳人, 硕士研究生, 研究方向: 林业遥感与地理信息系统。E-mail: ponymayanhui@163.com

式中: T_s ——地表温度 (K), T_{31} , T_{32} ——MODIS 第 31 和 32 波段的亮度温度。 A_0 , A_1 和 A_2 是分裂窗算法的参数, 分别定义如下:

$$A_0 = a_{31} D_{32} (1 - C_{31} - D_{31}) / (D_{32} C_{31} - D_{31} C_{32}) - a_{32} D_{31} (1 - C_{32} - D_{32}) / (D_{32} C_{31} - D_{31} C_{32}) \quad (2)$$

$$A_1 = 1 + D_{31} / (D_{32} C_{31} - D_{31} C_{32}) + b_{31} D_{32} (1 - C_{31} - D_{31}) / (D_{32} C_{31} - D_{31} C_{32}) \quad (3)$$

$$A_2 = D_{31} / (D_{32} C_{31} - D_{31} C_{32}) + b_{31} D_{32} (1 - C_{32} - D_{32}) / (D_{32} C_{31} - D_{31} C_{32}) \quad (4)$$

在这里, a_{31} , b_{31} , a_{32} , b_{32} 是常量, 取 $a_{31} = -64.60363$, $b_{31} = 0.440817$, $a_{32} = -68.72575$, $b_{32} = 0.473453$; 其他中间参数分别计算如下:

$$C_i = i(i) \quad (5)$$

$$D_i = [1 - i(i)] / [1 + (1 - i) i(i)] \quad (6)$$

其中: $i(i)$ —— $i(i = 31, 32)$ 波段视角为的大气透过率; i —— $i(I = 31, 32)$ 波段地表比辐射率。

1.1 分裂窗算法各中间参数的计算

1.1.1 亮度温度的计算

亮度温度可以通过对 Plank 方程求逆直接计算出。对 MODIS 数据 31 和 32 波段分别应用 Plank 函数, 简化得到亮温计算公式:

$$T_i = K_2 / \ln(1 + K_1 / I_i) \quad (7)$$

式中: K_1 和 K_2 ——常量; I_i ——MODIS 第 $i(i = 31, 32)$ 波段的热辐射强度 [$W / (m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$], 具体见参考文献[6]。

1.1.2 大气透过率的计算

大气透过率是分裂窗算法中的一项基本参数, 它表示大气对热红外辐射在大气中传输的影响。在 MODIS 的 31, 32 通道中吸收大气的物质主要为 CO_2 和 H_2O , 而 CO_2 的比率较固定, 用 MODIS 的 31, 32 通道反演时, 主要考虑水汽对它的影响^[7-9]。对于 MODIS 数据第 2 波段 ($0.865 \mu m$) 为大气窗口波段; 第 19 波段 ($0.940 \mu m$) 为水汽吸收波段, 因此可以利用水汽吸收波段与大气窗口波段的反射率比值来计算出水汽含量。然后再根据大气水汽含量与大气透过率之间的函数关系来估计大气透过率^[10]。大气水汽含量的计算公式为^[11]

$$T_{(940/846)} = \exp(-\sqrt{\omega}) \quad (8)$$

其中: ω ——水汽含量; $T_{(940/846)}$ ——大气水汽吸收波段地面反射率与大气窗口波段地面反射率的比值; $\sqrt{\omega}$ ——参数, 分别取 $\omega = 0.02$, $\sqrt{\omega} = 0.651$ 。

1.1.3 地表比辐射率的计算

地表比辐射率是物体与黑体在同温度、同波长下辐射出射度的比值, 它受物体的表面状态、介电常数、含水量、温度、物体辐射能的波长、观测角度等多种因素的影响^[12]。由于 MODIS 数据的第 31 和 32 波段空间分辨率为 1 km, 因此, 星下地面像元可以看成由水体、植被和裸地地表 3 种地物组成的混合体。MODIS 图像的地表比辐射率^[13]为

$$i = P_v R_{v_i} + (1 - P_v) R_{s_i} + d \quad (9)$$

其中: i_{v_i} , i_{s_i} ——植被和裸土在第 $i(i = 31, 32)$ 波段的地表比辐射率; P_v ——像元的植被覆盖率, 可以由植被指数进行估计, 具体见文献[14]; 对于水体像元可直接取 $i_{31} = 0.99683$, $i_{32} = 0.99254$; R_v , R_s ——植被和裸土的温度比率, 根据地表

典型地物温度差异进行模拟, 得出简单估算植被、裸土温度比率公式^[13]为

$$R_v = 0.9332 + 0.0585 P_v \quad (10)$$

$$R_s = 0.9902 + 0.1068 P_v \quad (11)$$

d 是热辐射相互作用校正, 由植被和裸土之间的热辐射相互作用产生, 可通过如下经验公式来估计^[14]:

$$d = 0.003796 \min[P_v, (1 - P_v)] \quad (12)$$

式中: $\min[P_v, (1 - P_v)]$ ——取 P_v 和 $1 - P_v$ 的最小值。最后根据公式 (9) 估计地表比辐射率。

2 数据处理

研究选取了 2006 年 1 月 9 号、2 月 13 号、3 月 3 号、6 月 20 号、7 月 3 号、7 月 20 号、8 月 10 号、8 月 14 号、9 月 1 号、10 月 30 号、11 月 1 号、11 月 11 号, 共 12 景 MODIS 数据。从当天的气象资料看, 湖南省大部分地区天气晴朗, 适合地表温度的反演, 基本代表湖南省四季温度的变化。所用的数据在接收站处理为 L1B 级, 以 HDF 格式存储, 图 1 为技术路线。

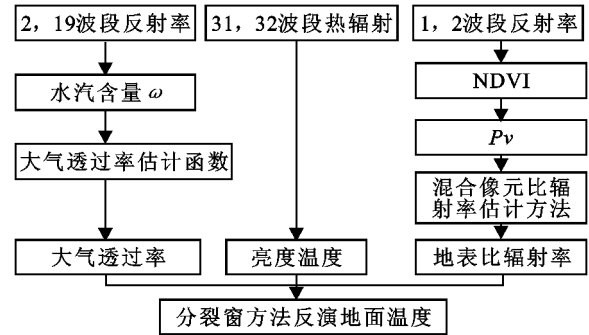


图 1 温度计算流程图

3 地表温度空间差异分析

从附图 1 可以看出湘西地区的地表温度普遍低于同期其他地区。在 2006 年 8 月 14 日的反演结果中湘南地区出现了“黑洞”现象和 -31.2 的低温区, 这些异常值是由于浓厚云层遮挡, 使得传感器接收到的地面辐射量极小, 从而反演出的温度极低, 造成与地面实测温度相差较大。这种现象可以从图上直接看出 (以 8 月 14 日反演结果为例), 如图 2 所示, 左侧图中白色为云层对应温度反演结果图中黑色为低温区。

影响地表温度的因素主要有: 纬度、海拔和地表覆盖状况等。湖南省具有多样的地形和地表覆盖状况, 这决定了其地表温度的空间分布格局。湖南省属亚热带季风性湿润气候, 冬季受西伯利亚冷气团控制; 夏季受低纬度海洋暖气团控制。武陵山、雪峰山东麓将湖南省分成东西两部分, 冬季, 由于武陵山、雪峰山的阻挡使得冷气团难以东进; 夏季, 使得暖气团难以西进, 并且, 湘西地区为全国地势第二阶梯海拔相对较高; 植被覆盖率高、森林资源丰富客观上起到调节小气候的作用, 这些因素都在一定程度上造成了湘西地区地温普遍较低。总体来看, 在热量方面, 由西北向东南递增, 以武陵山、雪峰山东麓为界将全省分成两个区, 东部丰富, 西部偏少。

由于没有卫星过境时的地面实测温度, 并结合选取数据的卫星过境时间, 采用研究区内长沙、常德、芷江、零陵 4 个气象站点当天的实测最高温度做精度检验。分测站、日期作出平均反演温度与实测最高温度对照图。

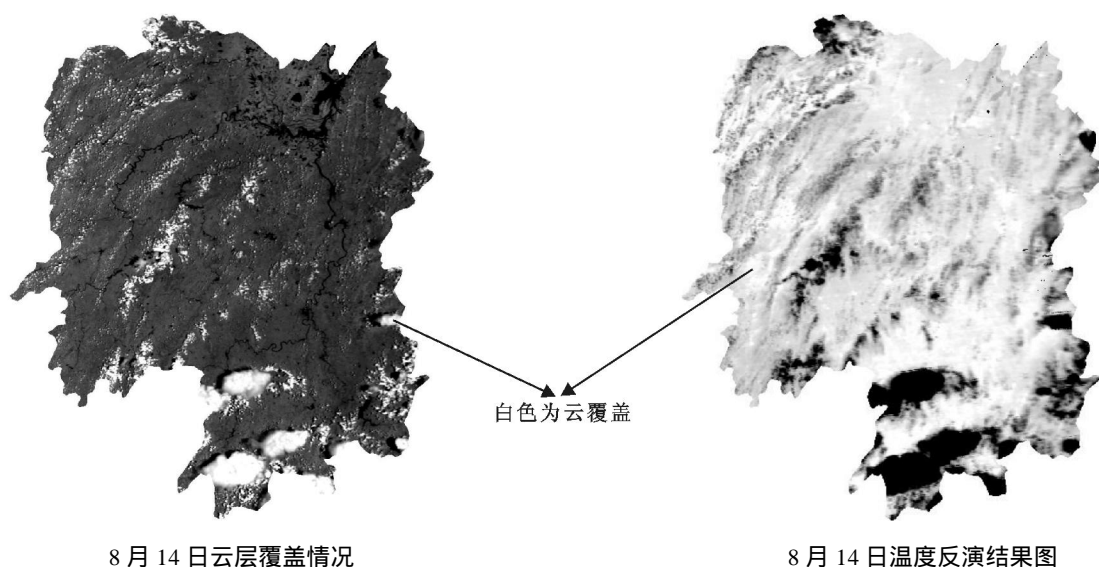


图 2 MODIS 云层覆盖与温度反演结果对照图

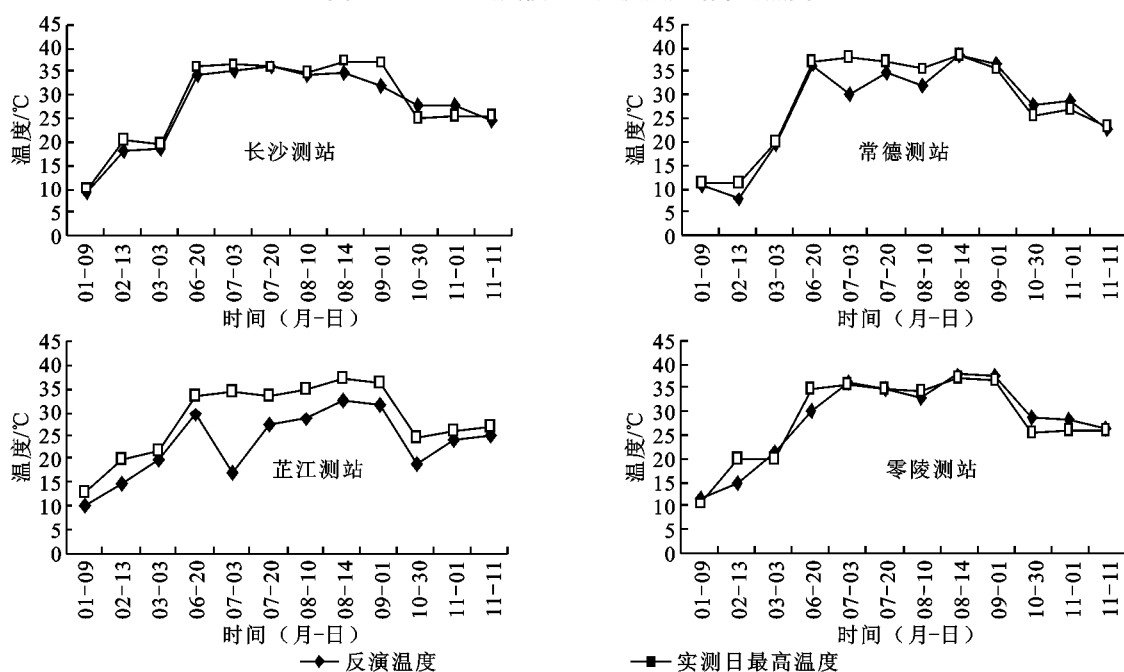


图 3 平均反演温度与实测最高温度对照图

从图 3 可以看出,长沙测站的最高温度在 7 月 2 日出现,常德、芷江、零陵测站的最高温度均在 8 月 14 日出现;常德测站的最低温度在 2 月 13 日出现,其它测站的最低温度均在 1 月 9 日出现;反演结果与实测日最高温度曲线走势基本一致,符合实际情况,但由于受当天气象条件的影响,在个别站点存在较大误差,使得反演结果不能和实测日最高温度的变化趋势完全一致。

4 结论

目前,地表温度反演方法中覃志豪等提出的分裂窗算法仅需两个参数,并反演精度较高,是地表温度反演的最佳选择。反演得到的地表温度图附图 1 显示了湖南省地温的时空变化,在热量分布方面,由西北向东南递增,以武陵山、雪峰山东麓为界将全省分成两个区,东部丰富、西部偏少符合湖南热量的分布规律,充分显示了 MODIS 数据用于研究大区域地表

温度的优越性。总之,用 MODIS 数据反演地表温度,并分析其分布特征,对资源开发,环境保护等具有较好的借鉴意义。

参考文献:

- [1] Li Z, Becker F. Feasibility of land surface temperature and emissivity determination from AVHRR data[J]. Remote Sensing of Environment, 1993, 43: 67-85.
- [2] 郭广猛, 杨青生. 利用 MODIS 数据反演地表温度的研究[J]. 遥感技术与应用, 2004, 19(1): 34-36.
- [3] 杨青生, 刘闯. MODIS 数据陆面温度反演研究[J]. 遥感技术与应用, 2004, 19(2): 90-94.
- [4] 覃志豪, Zhang M, Karnieli A. 用 NOAA-AVHRR 热通道数据演算地表温度的分裂窗算法[J]. 国土资源遥感, 2001, 48(2): 33-42.

(下转第 27 页)

级,土壤可风蚀含量为 35%~40%;大兴、通县大部分为 B 级,土壤可风蚀含量为 25%~30%;中部各县各种等级的土

壤交错分布,没有成大片集中分布。整个趋势是北部等级较高,南部相对较低。

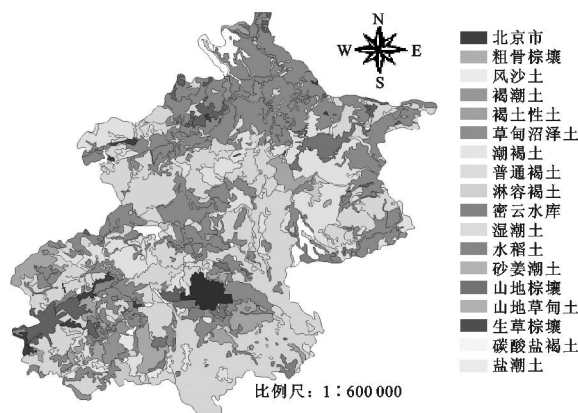


图 1 北京市土壤类型图

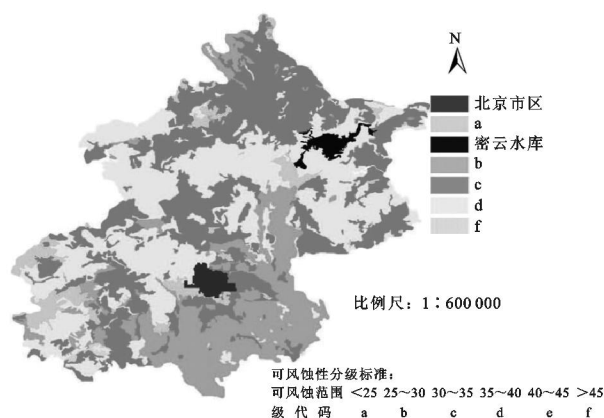


图 2 北京市土壤可风蚀性分级图

4 结论

由上述分析和结论得出北京各种土壤潜在的可风蚀情况,反映出北京土壤受到风蚀的严重程度。虽然这些数据并不代表现实的情况,只是假设所有类型的土壤表面大小、形状相同,完全裸露,平坦而光滑,表面干燥,但为了比较各土壤类型的可风蚀性,只要选择可风蚀颗粒含量就可以完全说明不同土壤类型之间在抵抗风蚀方面的区别。对以后研究北京市风蚀有指导和借鉴的作用。

通过对北京市各类型土壤可风蚀性含量的评价计算,运用 Region Manager 地理信息系统的先进技术与方法,对北京市土壤可风蚀性等级的划分,反映土壤可风蚀性的时空分布,可为北京地区水土保持规划、小流域综合治理等提供科学依据,具有广泛的应用前景,研究成果意义重大。

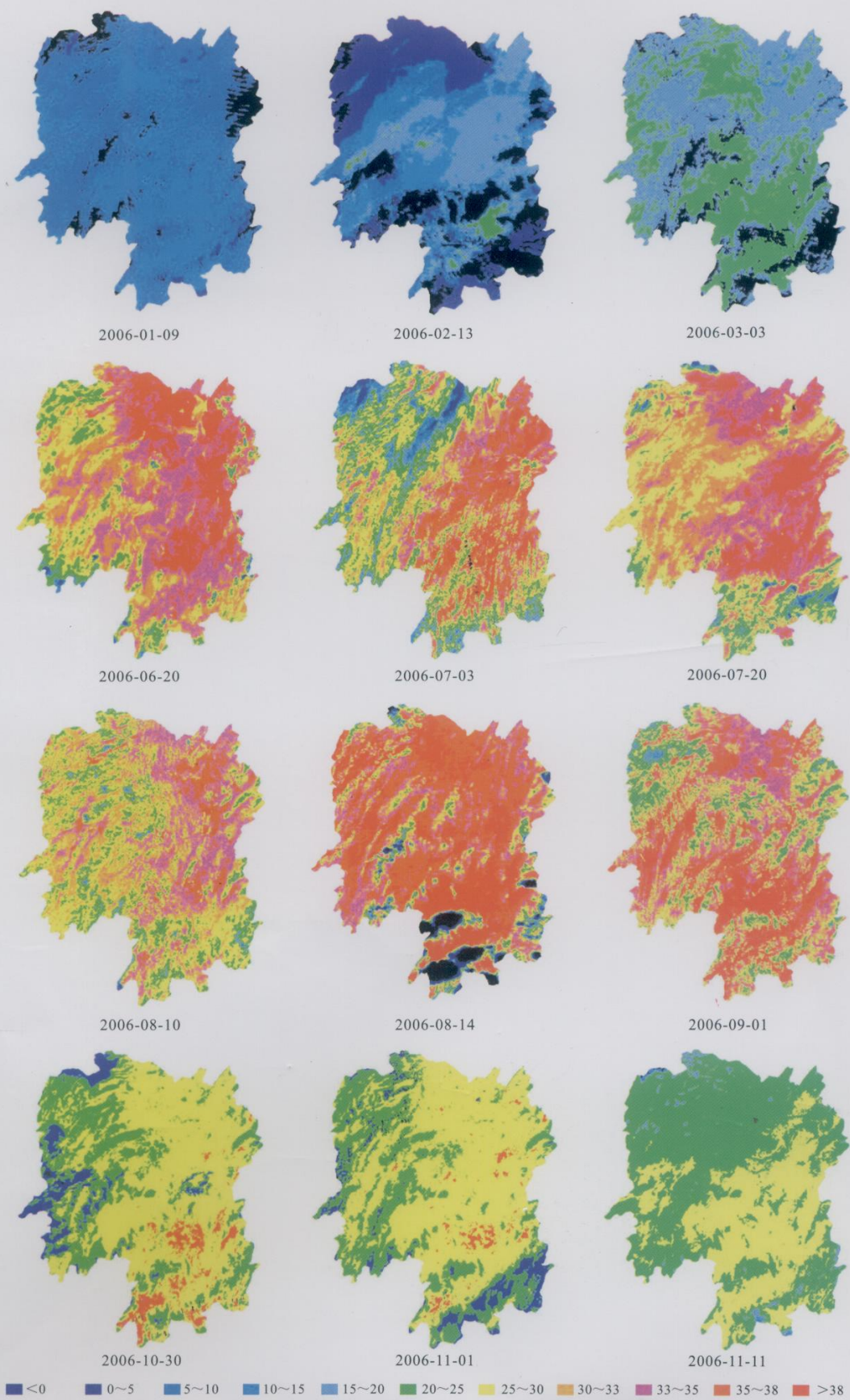
参考文献:

- [1] 吴钦孝,赵鸿雁,刘向东,等.森林枯枝落叶层涵养水源保持水土的作用评价[J].水土保持学报,1998,12(2):23-28.
- [2] 高志义.水土保持林学[M].北京:中国林业出版社,1996.
- [3] 陈渭南,董光荣,董治宝.中国北方风蚀问题研究的进展与趋势[J].地球科学进展,1994,9(5):6-11.
- [4] 杨秀春,严平,刘连友.土壤风蚀研究进展与评述[J].干旱地区农业研究,2003,21(4):147-152.
- [5] 李玉宝.宁夏土壤风蚀研究[D].北京:北京林业大学,2001.
- [6] Fryrear D W, Krammes C A. 土壤风蚀度的综合计算[J].水土保持科技情报,1995(2):38-40.
- [7] 李玉宝.干旱半干旱区土壤风蚀评价方法[J].干旱区资源与环境,2000,14(2):48-52.

(上接第 23 页)

- [5] Qin Z, Dall Olmo G, Karnieli A, et al.. Derivation of split window algorithm and its sensitivity analysis for retrieving land surface temperature from NOAA - AVHRR data[J]. Journal of Geophysical Research, 2001, 106 (D19): 22655-22670.
- [6] 覃志豪,高懋芳,秦晓敏,等.农业旱灾监测中的地表温度遥感反演方法:以 MODIS 数据为例[J].自然灾害学报,2005,14(3):64-71.
- [7] 刘闯,葛成辉.美国对地观测系统(EOS)中分辨率成像光谱仪(MODIS)遥感数据的特点与应用[J].遥感信息,2001(3):45-48.
- [8] 刘玉洁,杨忠东. MODIS 遥感信息处理原理与算法[M].北京:科学出版社,2001.
- [9] Kaufman Y J, Gao B C. Remote Sensing of Water Va-

- por in the Near IR from EOS/ MODIS[J]. IEEE Transactions on Geo-science and Remote Sensing, 1992, 30 (5): 871-884.
- [10] 毛克彪,覃志豪. MODIS 影像反演环渤海地区的大气水汽含量[J].遥感信息,2004,76(4):47-49.
- [11] Mao K. A Study of Methods for Land Surface Temperature Retrieval from MODIS Data[M]. Nanjing: Nanjing University, 2004:26-31.
- [12] 赵英时.遥感应用分析原理与方法[M].北京:科学出版社,2003.
- [13] 覃志豪,李文娟,徐斌,等.陆地卫星 TM6 波段范围内地表比辐射率估计[J].国土资源遥感,2004(3):28-32.
- [14] Sobrino J A, Jimenez-Muñoz J C, Aolini L. Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM5[J]. Remote Sensing of Environment, 2004, 90:434-440.



附图1 2006年湖南省1—11月地表温度图