

# 基于 MODIS 的重庆森林火灾监测与应用

唐中实, 王海葳, 赵红蕊, 葛 娇, 王彦佐

(清华大学 3S 中心, 北京 100084)

**摘要:** 利用 MODIS 近红外、中红外及热红外的 4 个波段监测森林火灾, 并提出了以 MODIS 7 波段为主的高温火点直接判别法和非高温火点综合阈值判别法。2006 年重庆市森林火灾监测实践证明, 该方法在城市森林火灾监测中是可用的。

**关键词:** MODIS; NDVI; 亮温; 大气透过率

**中图分类号:** TP 79 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-070X(2008)03-0052-04

## 0 引言

森林资源是陆地生态系统的重要单元, 对全球环境和气候有着重大影响, 是气候变化的重要指标, 也是地球最贴身的保护层。火灾是造成森林破坏的主要方式之一, 全世界森林因火灾造成的损失为 1‰, 而林火多发国家其损失可达到 2‰~8‰<sup>[1]</sup>。近年来, 由于全球变暖、干旱少雨等原因, 森林火灾发生的频度和危害程度更大。森林火灾的灾害性质要求及时、准确、有效地监测可能和已经发生的森林火灾, 这对减少灾害损失、保护森林资源和野生动物、掌握气候变化规律、维护生态平衡都具有非常重要的意义<sup>[2]</sup>。

## 1 研究区概况与数据源

重庆市位于我国西南部, 东经 105°11′~110°11′, 北纬 28°10′~32°13′ 之间。地处长江上游, 与湖北、湖南、贵州、四川及陕西等省接壤, 总面积 82 400 km<sup>2</sup>。

2006 年夏季, 重庆市干旱少雨且持续高温, 导致该市森林火灾频频发生, 自 8 月 1 日至 13 日, 平均每天 6 起森林火灾, 高峰时每天 10 余起, 非常罕见。74 起火灾使 3.3 km<sup>2</sup> 森林起火燃烧。

MODIS 数据由于其全球免费接收且涉及波段广(36 个波段)、数据更新频率高, 对于实时研究区域生态环境变化有着极大的使用价值, 本文所用的数据为重庆市 2006 年 8 月的 MODIS 数据。

## 2 研究方法

火灾遥感监测波段( $\lambda$ )选择的理论基础是维恩位移定律(Wilhelm Wien's Displacement Law), 即

$$\lambda_{\max} = c/T \quad (1)$$

式中,  $c = 2\ 898\ \mu\text{m} \cdot \text{K}$ , 是维恩位移常数(Wien's Displacement Constant);  $T$  为对应的黑体辐射温度, 和其峰值波长成反比<sup>[3~5]</sup>。如果火区的温度为 600 K, 可以推算出其辐射峰值波长为 4.8  $\mu\text{m}$ , 随着温度的升高, 其辐射对应峰值波长向短波方向移动。在中红外的大气窗区, MODIS 的相应波段为 20~23 波段, 这些波段不仅可以较清楚地显示火点、火线的形状、大小、位置, 而且对小的隐火、残火, 也有较强的识别能力; 另一个地表温度探测的大气窗区是 8~14  $\mu\text{m}$ , 根据维恩位移定律可知其峰值辐射波长在 9.7  $\mu\text{m}$  附近。MODIS 的 31 和 32 波段设计用于地面常温下的温度反演, 只对 300 K 左右的常温目标敏感, 对高温火点不敏感。对于林火火点面积小的情况, 火点本身虽然温度高, 但对整个像元的贡献不大, 这时 31、32 波段对于火点的监测有着极其重要的意义。另外, MODIS 在设计时对于火点探测并未考虑到第 7 通道(2.105~2.155  $\mu\text{m}$ ), 该通道波段星下点地面分辨率为 500 m, 该波段对于林火等 600~1 000 K 的高温目标有明显反应, 而对 300 K 左右的常温则基本没有反应, 该通道经常被林火监测者所忽略, 经研究, 将本波段用于高温林火点监测可大幅增强林火的识别能力和准确度。

一定温度下任何物体都向外界辐射能量, 物体

辐射出射度  $B_{(i,T)}$  是波长与温度  $T$  的函数,对于黑体可用普朗克函数表示为

$$B_{(i,T)} = \frac{c_1 \lambda^{-5}}{\pi [\exp(c_2/\lambda T) - 1]} \quad (2)$$

式中,  $B_{(i,T)}$  为辐射出射度 ( $\text{Wm}^{-2} \cdot \mu\text{m}^{-1} \cdot \text{sr}^{-1}$ );  $\lambda$  为波长 ( $\mu\text{m}$ );  $T$  是物体温度 (K);  $c_1$ 、 $c_2$  是普朗克函数常量,  $c_1 = 3.7418 \times 10^{-16} \text{Wm}^2$ ,  $c_2 = 1.4388 \times 10^{-2} \text{mK}$ 。对以上公式推导,有

$$T = \frac{c_2}{\lambda \ln[\frac{c_1}{\pi \lambda^5 B_{(i,T)}} + 1]} \quad (3)$$

对某一特定传感器来说,用式(3)求得的  $T$  还必须根据传感器特性进行数学订正才能得到所要波段的亮度温度<sup>[6~8]</sup>

$$T_\lambda = \frac{T - T_{ci}}{T_{cs}} \quad (4)$$

式中,  $T_\lambda$  为波长  $\lambda$  对应波段的亮度温度;  $T_{ci}$  和  $T_{cs}$  分别为温度订正的斜率和截距。

通过 MODIS 提供的光谱响应数据计算获取  $T_{ci}$

和  $T_{cs}$ 。表 1 给出了 MODIS 第 21、31、32 波段的 3 个参数具体数值。

表 1 MODIS 部分波段  $\lambda_i$ 、 $T_{cs}$  及  $T_{ci}$  值

参数	波段		
	21 波段	31 波段	32 波段
$\lambda_i$	3.991 575 E-06	11.012 144 E-06	12.025 881 E-06
$T_{cs}$	9.998 646 E-01	9.995 608 E-01	9.997 256 E-01
$T_{ci}$	9.262 664 E-02	1.302 699 E-01	7.181 833 E-02

MODIS 传感器可以记录到所探测范围的  $DN$  值,其以 0 ~ 32 767 之间的整数存取。该数值是从辐射值经过平移和缩放得到的,而平移值和缩放值比例存放在 OFFSET 和 SCALE 数据项中,可以从 MODIS 头文件信息中得到<sup>[5,6]</sup>。因此,可以用公式计算相对应的辐射值  $l$ ,即式(3)中的  $B_{(i,T)}$  辐射值

$$l = B_{(i,T)} = (DN - OFFSET) \times SCALE \quad (5)$$

由此计算公式中的辐射出射度  $B_{(i,T)}$ 、波长  $\lambda$ 、校正参数  $T_{cs}$  及  $T_{ci}$ ,即可求得所要波段的亮度温度值。

图 1、2 是由 ENVI 软件计算的 21 波段与 31 波段亮温图。

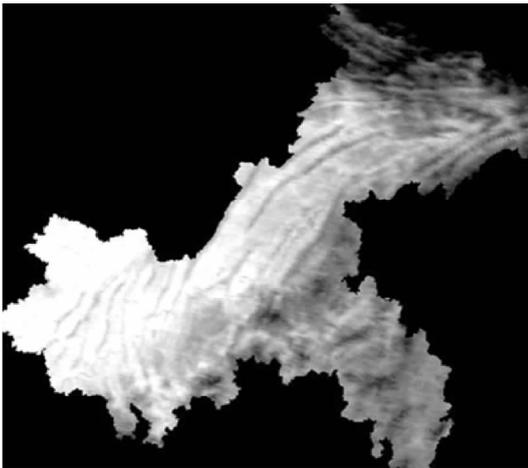


图 1 2006 年 8 月 11 日 MODIS 21 波段亮温图



图 2 2006 年 8 月 11 日 MODIS 31 波段亮温图

### 3 数据处理和结果

#### 3.1 高温火点直接判别方法

高温火点的探测主要利用第 7 波段。插图彩片 19 是 MODIS 7、4、3 波段彩色合成图像,其左上角为局部放大图像,图中箭头标注为 2 处明显火点。左边火点温度很高,为明火点,可见烟羽,右边火点疑为闷烧火点。根据获取现实资料显示,2006 年 8 月 11 日 12 时,璧山县奥康工业园虎峰山发生森林火灾(对应火点 1); 2006 年 8 月 11 日 23 点 30 分,重庆市沙坪坝区曾家镇突发森林大火(对应火点 2)。此图像获取时间为 2006 年 8 月 11 日,MODIS(TERRA)过境时

间为当地时间 10:30 左右,这也极可能是火点 2 未见烟羽的原因。另外,从图中也可发现巴南区的一些火点。

插图彩片 19 左上角的局部放大图中可明显看到火点 1 处出现亮温异常,表现在第 20、22 波段温度低于绝对零度及出现无效值。图 3 是 1 号点 4 个通道的亮度温度图。

图 4 是波段 22 和波段 23 的亮度温度散点图,图 5 为波段 20 和波段 21 的散点图。从图中可看出,22 波段和 23 波段、20 波段和 21 波段具有相关性。而且可清晰看到异常点,这些异常点远离点群,极有可能是由第 20 波段和第 22 波段饱和所致,从 hdf 文件中可查得其不确定性值在 22 波段。有很多研究者

在利用 20~23 波段时仅利用第 21 波段,因为其波段温度不易饱和,对其它波段,尤其是第 22 波段和 20 波段,在数据出现异常时采取了舍弃数据的做法,实

际没有这个必要,我们在研究中发现这些“异常数据”结合第 7 波段,可给出我们高温火点的判据。

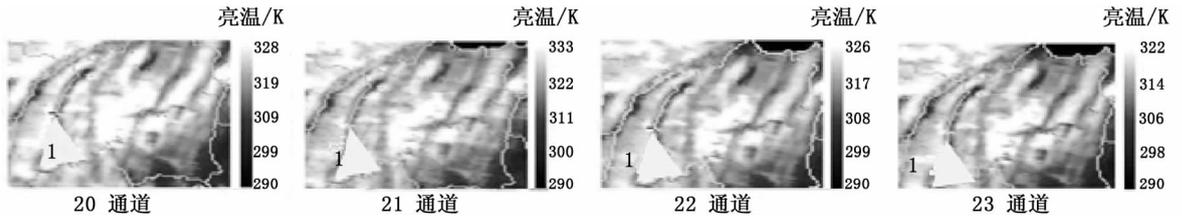


图 3 2006 年 8 月 11 日 MODIS 第 20~23 通道亮度温度图

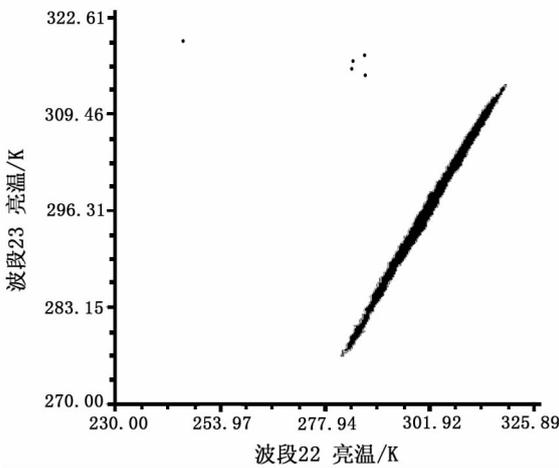


图 4 波段 22、23 的亮度温度散点图

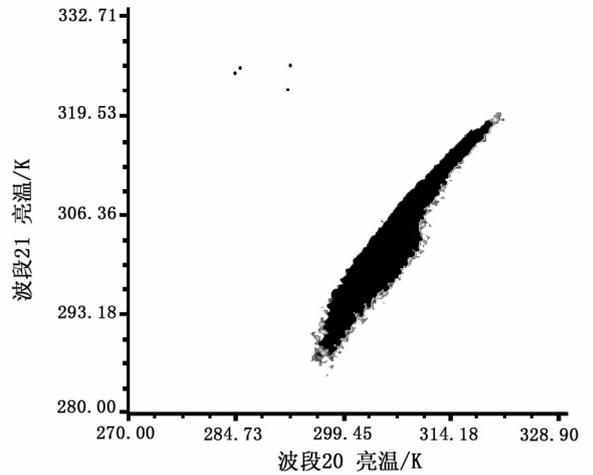


图 5 波段 20、21 的亮度温度散点图

为了说明问题,再列举 2006 年 8 月 12 日的数据。插页彩片 20 和 21 分别是 2006 年 8 月 12 日和 2006 年 8 月 13 日 MODIS 7、4、3 波段 RGB 合成图,从图中可清晰看到 12 日图中的高温火点,13 日图中已不见火点,说明我们判断的火点确实是森林火点,而非地面热源。由此可见,高温火点利用反射红外波段(第 7 波段)和中红外波段容易判断,20~25 通道的特性也可以辅助判断高温火点。

### 3.2 高温火点综合阈值判别法

非高温火点主要包括 3 类:一是火灾发生前,温度尚未达到燃点;二是火灾发生后,温度已降低,但高出常温;三是火点范围小,对像元的贡献小,虽然火点本身温度高,但整个像元的温度并不高。非高温火点在监测中存在着诸多难点和不确定性,尤其是对于第三类。很多火灾监测研究者定义燃烧面积大于或等于一个像元面积的为火点,因此可用综合阈值法进行判别,将可见光、近红外、中红外和热红外几个波段结合应用。以可见光和近红外波段(MODIS 波段 1 和波段 2)生成  $NDVI$ ,  $NDVI$  有两个特征用于判断火点:一是火点发生地的  $NDVI$  一定是可燃物,即其  $NDVI$  不高,一般小于 0.3;二是火点发生周围的  $NDVI$  一般是未燃烧植被,其  $NDVI$  较

高。中红外波段仅利用 21 波段,主要是考虑到 21 波段不易饱和、信噪比高的特性;热红外波段的 31 和 32 波段是亮温反演的关键,在此利用了 31 波段;同时,还根据火点特性利用了中红外波段 21 和热红外波段 31 的亮度温度差判断火点。综合阈值为

$$\begin{cases} NDVI \leq 0.3 \\ BT_{21} - BT_{31} \geq 15 \\ BT_{21} \geq 315 \\ BT_{31} \geq aver(BT_{31}) \end{cases} \quad (6)$$

式中,  $NDVI$  为标准植被指数,无量纲,由 250 m 分辨率的 MODIS 第 1、2 波段计算得到,用临近像元法重采样到 1 km 分辨率,并和其它相关波段严格配准;  $BT_{21}$  和  $BT_{31}$  分别为第 21 和第 31 波段亮温,单位为 K;  $aver(BT_{31})$  为第 31 波段无云像元亮温平均值,单位为 K。

由上面综合阈值可判断疑似火点,且还需要放在  $NDVI$  背景下判断疑似火点背景像元是否为森林像元。插页彩片 22 是利用综合阈值评判法,作用于 2006 年 8 月 11 日 MODIS  $NDVI$  图的效果,红色区域为疑似火点,位于低  $NDVI$  区的高温点疑为城市热岛。该图中疑似火点的进一步判断主要依据背景像元,如果可以结合土地利用图进行判断,精度会更

高。从图中可以排除大部分由于城市热岛引起的高温点,其它高温点为火点或地面有高温设施点(需进一步根据地面实况判断)。

### 3.3 火点预测与判断实例

为了进一步检验高温火点直接判别法和非高温火点综合阈值判别法,我们又对2006年8月8日和8月26日数据做了火点信息提取与分析。结果分别见插页彩片23~26。

从这几天 MODIS 数据的林火判断结果可以看出,本文方法对于实际的火点可做出正确判断,但存在一些高温点,是否火点尚需更多的数据综合判断。由于重庆地区云雾较多,我们所获取的数据也是重庆地区火灾频发,天气云雾影响较少的几天数据,但从总的实际判别来看,用 MODIS 监测林火是比较理想的。

根据重庆气象台所发布的资料,重庆市于2006年8月20日、26日、30日发布红色预警信号,根据8月以来持续的重庆高温干旱和8月26日的火灾分析,认为重庆还有可能在持续的高温下有一定的火灾隐情发生,故对8月29日、8月30日数据进行了监测,通过阈值法对比 NDVI 图预测出即将发生的火灾点位于重庆渝北区、北碚区范围,31号的火情通报证实了分析的可靠性。插页彩片27~30分别为2006年8月29日、8月30日火点信息提取与分析图。

## 4 结论

MODIS 数据是做森林火灾监测的理想数据源。

本文利用 MODIS 数据,对2006年夏天重庆市林火灾点判断方法做了研究,提出了重视 MODIS 第7波段,并以其为主的高温火点直接判别法和非高温火点综合阈值判别法。这两种方法综合应用了 MODIS 可见光波段、近红外波段、中红外波段和热红外波段,充分利用了 MODIS 提供的多光谱信息,对火点判别起到了互相印证的作用。实践证明,森林火点均被检测出来,但包含一些伪火点,伪火点的去除还需做进一步论证。

### 参考文献:

- [1] 朱启疆,高峰,张振威. GIS 支持下森林火场蔓延的空间模拟[J]. 环境遥感,1995,10(2):81-88.
- [2] 徐希孺. 遥感物理[M]. 北京:北京大学出版社,2006.
- [3] 刘玉洁,杨忠东,等. MODIS 遥感信息处理原理与算法[M]. 北京:科学出版社,2001.
- [4] MODIS Manual. <http://www.irsaa.ac.cn/download/modis/brochure.pdf> [EB/OL].
- [5] Price J C. Estimating Surface Temperature from Satellite Thermal Infrared Data—A Simple Formulation for the Atmospheric Effect [J]. Remote Sens. Environ., 1983(13):353-361.
- [6] Price J C. Land Surface Temperature Measurements from the Split Window Channels of the NOAA 7 Advanced Very High Resolution Radiometer [J]. J. Geophys. Research., 1984(89):7231-7237.
- [7] Becker F, Li Z. Towards a Local Split Window Method Over Land Surface [J]. Int. J. Remote Sens., 1990(3):369-393.
- [8] Holbo H R, Luvall J C. Modeling Surface Temperature Distributions in Forest Landscapes [J]. Remote Sens. Environ., 1989(27):11-24.

## FOREST FIRE MONITORING AND APPLICATION BASED ON MODIS

TANG Zhong-shi, WANG Hai-wei, ZHAO Hong-rui, GE Qiao, WANG Yan-zuo

(Center of GIS/RS/GPS Research, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

**Abstract:** Forest fires have become a critical factor that affects the terrestrial ecosystems, and remote sensing is an important means for obtaining surface information. MODIS images have the merits of high spatial resolution and multispectra. A study of MODIS data can yield important data resources. The authors used near infrared, middle-far infrared, far infrared and thermal infrared MODIS bands to monitor the forest fires, mainly based on the MODIS 7 band and using Direct Criterion Method for high-temperature fires and Comprehensive Threshold Discrimination for non-high-temperature fires. It is proved that fire monitoring has very important significance for fire detection.

**Key words:** MODIS; NDVI; Brightness temperature; Atmospheric transmittance

第一作者简介:唐中实(1962-),男,教授,现任清华大学3S中心主任,主要研究方向为GIS与RS。兼任中国GIS协会理事、中国GIS协会教育专业委员会副主任、中国遥感应用协会理事、中国遥感协会专家组副组长、国土资源部信息化专家组成员以及《国土资源遥感》学术期刊编委等。

(责任编辑:李瑜)