

基于 MODIS 数据的火险潜在指数(FPI) 及其应用研究

黄宝华¹, 田力¹, 周利霞², 施传秋¹

(1. 烟台市国土资源局, 烟台 264003; 2. 中南大学地学与环境工程学院, 长沙 410083)

摘要: 死、活可燃物含水率大小决定森林点燃的难易度, 是判断林火能否发生、进行林火预报的重要因子。本文应用火险潜在指数(FPI, Fire Potential Index)模型, 从这2个方面分析研究可燃物湿度对林火发生的影响。利用MODIS遥感数据提取FPI模型所需因素(气象数据: 相对湿度、温度; 植被数据: 10 h时滞可燃物湿度、归一化水分指数、植被绿度), 并将获得的2004年10月黑龙江省和2008年3月南方几省的气象、植被数据输入FPI模型, 得到火险指数和火险等级划分。实践证明, 应用该模型能够提高火险在时间和地理分布上的预报能力及预防技术。

关键词: MODIS; 火险潜在指数(FPI); 相对湿度; 大气温度

中图分类号: TP 79 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-070X(2008)03-0056-05

0 引言

森林火灾预警是根据历史火灾信息、气象资料以及地形地貌等数据对可能发生火灾的危险程度进行的一项预测。大部分森林火灾是由于气象、植被环境因素引起的, 而这些因素往往在火灾发生前就有一定的征兆。利用遥感方法可以快速、及时地获取这些相关参数, 这是本文利用MODIS进行火灾预警的理论基础。

加拿大火险天气指标系统(FWI)中应用细小可燃物湿度码、枯落物下层湿度码和干旱码3个可燃物含水率模型反映不同变干速度的可燃物含水率。美国国家级森林火险等级系统(NFDRS)通过气象资料, 死、活可燃物, 着火分量与蔓延分量, 雷击火发生指标、人为火发生指标、燃烧指标, 以及火负荷指标5部分计算确定森林火险等级^[1]。我国林火预报研究起步较晚, 但1987年后得到迅速发展, 孙智辉^[2]、张学艺^[3]、傅泽强^[4]和谭三清^[5]都提出了不同的预报方法, 但这些方法要求数据多, 信息获取困难。本文充分利用MODIS数据多波段和高精度的特点, 获取火灾前与火灾相关的地表温度、相对湿度及植被绿度等火险预报因子的变化趋势, 利用美国FPI火险预测模型对我国火险进行预报应用研究。

1 火险潜在指数(FPI)模型

在研究可燃物含水率时用到“平衡点含水率”和“时滞”2个概念: “平衡点含水率”是可燃物水分含量的基准, 可燃物的干与湿是由其含水率低于或高于平衡点含水率来决定的; “时滞”指超过平衡含水量的初始自然水分含量下降到初始值 $1/e$ (36.8%)所需的时间, 或者说初始水分含量减少63.2%所需的时间。时滞越短的可燃物, 越容易散失水分, 越易燃。

可燃物含水率有死可燃物含水率和活可燃物含水率2种类型。火险潜在指数可以在不考虑火源的情况下估测植被的点燃系数, 该模型假设: ①如果活、死植被的湿度被合理提出, 就能预测林火发生的可能性; ②植被绿度为活植被湿度提供有用的参照; ③因为细小死可燃物的湿度对火传播至关重要, 所以10 h时滞可燃物湿度可以代表死植被; ④因为风是短暂即逝的, 所以可以不考虑风的因素。

FPI模型定义^[6]为

$$FPI = 100(1 - FMC10HR_{FRAC})(1 - V_c) \quad (1)$$

式中, $FMC10HR_{FRAC}$ 为10 h时滞死可燃物湿度($FMC10HR$)(%)和水分消失量比; V_c 为植被覆盖度(由最大植被覆盖度 V_{cmax} 和相对绿度 RG 求得)。具体流程如图1所示。

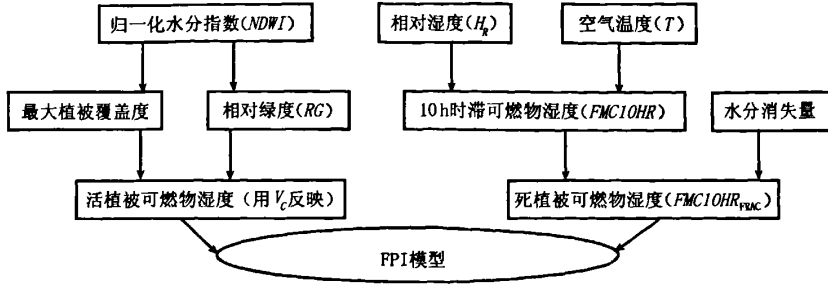


图1 火险潜在指数(FPI)模型流程

2 火险潜在指数(FPI)因子获取

2.1 10 h 时滞可燃物湿度(FMC10HR)

对于给定的火源,林火发生与传播的概率主要依据细小死可燃物的湿度。假定温度和大气湿度保持恒定,从初始到水分的平衡,大气中死可燃物在10 h内会损失63%的水分。Anderson曾指出能够

决定林火蔓延速度的地被物主要是1~10 h时滞的地被物,尤其是时滞为1 h以内的细小可燃物。基于此,选择10 h时滞可燃物湿度作为1~10 h时滞死地被物湿度的代表。死可燃物湿度的计算公式为^[6]

$$FMC10HR_{FRAC} = 1.28 EMC \quad (2)$$

式中, EMC 为平衡点水分含量,由大气温度(T)和相对湿度(H_R)来计算,公式为^[6]

$$EMC = 2.22749 + 0.160107 H_R - 0.014784 T \quad 10\% \leq H_R \leq 50\% \quad (3)$$

$$EMC = 21.0606 + 0.005565 H_R^2 - 0.00035 H_R T - 0.483199 H_R \quad H_R > 50\% \quad (4)$$

$$EMC = 0.03229 + 0.281073 H_R - 0.000578 H_R T \quad H_R < 10\% \quad (5)$$

2.2 相对湿度(H_R)

相对湿度是绝对湿度和饱和绝对湿度的比值。相对湿度越小,表示空气越干燥,森林火险性就越高。相对湿度的变化直接影响可燃物的含水量,相对湿度越大,可燃物的含水率就会随之增大。计算公式为^[7]

$$H_R = e/e_s \quad (6)$$

$$e_s = 611 \exp\left(\frac{17.2T}{237.3 + T}\right) H_R \quad (7)$$

$$e = Q P_a / 0.622 \quad (8)$$

式中, e 为绝对湿度; e_s 为饱和绝对湿度; P_a 为大气压; Q 为特定湿度,计算公式为^[7]

$$Q = 0.001(-0.0762 P_w^2 + 1.753 P_w + 12.405) \quad (9)$$

式中, P_w 为大气水汽含量,对于MODIS图像中像元的大气水汽含量用式(10)、(11)估计^[15],即

$$P_w = [\alpha - \ln \tau_a(19/2)/\beta]^2 \quad (10)$$

$$\tau_a(19/2) = \rho_{19}/\rho_2 = \exp(\alpha - \beta \sqrt{P_w}) \quad (11)$$

式中, τ_a 为大气透射率; ρ_2 和 ρ_{19} 分别为第2和第19波段的表现反射率;混合型地表 $\alpha = 0.020$, $\beta = 0.651$;植被覆盖地表 $\alpha = 0.012$, $\beta = 0.651$;裸土 $\alpha = -0.040$, $\beta = 0.651$ 。

大气压随着高程的增加而减小,高程估算气压误差小于8 hPa,因此,利用经验线性公式估算非常

接近实际值。大气压可以利用数字高程模型(DEM),根据式(12)计算获得^[7],即

$$P_a = 1013.3 - 0.1038 H \quad (12)$$

式中, H 为高程

2.3 空气温度(T)

高植被覆盖条件下的地表温度(LST)与空气温度相等,只有植被覆盖度达到一定程度才有可能发生火灾^[8]。因此,本文以地面温度代替空气温度。综合比较多种MODIS数据反演地表温度算法的精度和可操作性,选用Qin劈窗算法^[9]来反演地表温度,该算法仅需要大气透过率和地表比辐射率2个参数,其公式参见文献^[9]。

2.4 活植被可燃物湿度

相对绿度(RG)出自标准化差异植被指标,取值为0~100,最低值代表最小绿度。在FPI模型中,使用相对绿度的目的是为了划分活、死可燃物的等级。相对绿度用位于植被冠层的高反射区0.86 μm 和1.24 μm 两个位置的NDWI估算,在1.24 μm 波长处有水的弱吸收,散布的冠层增强了水的吸收,从而NDWI可以灵敏地反应植被冠层水的含量,计算公式^[6]为

$$NDWI = \frac{\rho_{(0.86 \mu\text{m})} - \rho_{(1.24 \mu\text{m})}}{\rho_{(0.86 \mu\text{m})} + \rho_{(1.24 \mu\text{m})}} \quad (13)$$

式中, $\rho_{(\lambda)}$ 为波长为 λ 处的反射率。

RG被用来估算活植被覆盖度和实时湿度,计算

公式^[6]为

$$RG_{NDWI} = 100 \left(\frac{NDWI - NDWI_{min}}{NDWI_{max} - NDWI_{min}} \right) \quad (14)$$

活植被覆盖度的计算公式^[6]为

$$V_c = V_{cmax} \times RG \quad (15)$$

$$V_{cmax} = 0.25 + 0.50 \left(\frac{NDWI_{max}}{NDWI_{absolute-max}} \right) \quad (16)$$

3 FPI 模型在火险预报中的应用

我国幅员辽阔,横跨热带、亚热带、温带和暖温带,南北方、东西部气候差别很大,因此,火险预报研究应根据地域不同而进行。此次选择的研究区为易发生特大森林火灾的黑龙省和经受了2008年百年不遇冰雨侵袭后火灾频发的湖南、江西省。

3.1 模型因子的应用

3.1.1 气象因子

结合获取的黑龙江地区2004年每月1期(共12期)的MODIS数据对FPI模型中的气象要素对森林火灾的影响进行分析研究。

(1)相对湿度。相对湿度在30%或30%以下,火很容易烧起,在10%或以下,火险就很危急。通过黑龙省2004年相对湿度时间变化图(图2)可以看出,该省各月湿度变化明显,其中5、6月份的湿度在10%以下,很容易发生火灾,9~11月也是火灾易发期,这与黑龙省的防火期和戒严期基本符合(11月份的情况还有待研究),如表1所示。

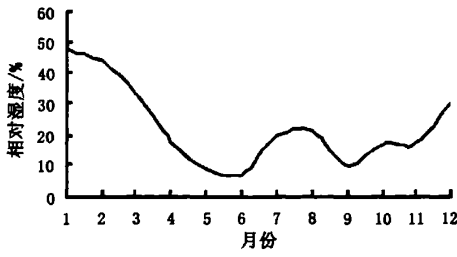


图2 黑龙省2004年相对湿度的时间变化趋势

表1 黑龙省的防火期与戒严期^[10]

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
黑龙省		防火	戒严	戒严	防火				戒严	防火		

(2)温度。太阳辐射能改变可燃物的湿度,可燃物的湿度又能改变空气的温度,温度和它对应的含水量直接影响着火怎样燃烧。空气越热,湿度就越低,它能包含的水分就越少;温度越高,空气将从死可燃物中吸收水分,从而降低死可燃物的水分含量。根据黑龙省各气象台(站)开展火险天气预报积累的经验 and 普查统计,防火期温度和森林火灾发生的关系如表2所示。

表2 温度和森林火灾发生的关系

防火期温度/℃	火灾发生状况
>20	火灾可大量发生
12~15	火灾开始增多
12~5	可发生火灾
5~0	即使着火,火灾也缓慢
<0	很少发现火灾

通过MODIS数据获取的2004年黑龙省温度变化图(图3)可以看出,在防火期和戒严期的5、6月份温度大于20℃,火灾可大量发生;9、10月温度在15℃左右,火灾开始增多;防火期3月份和戒严期4月份由于温度较低,不易发生火灾。因此,温度可以作为防火的一个参照量。

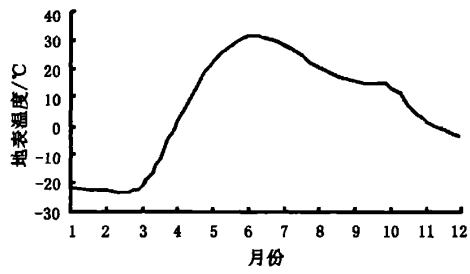


图3 黑龙省2004年温度的时间变化趋势

3.1.2 植被因子

在研究林火预报时,多数系统只考虑可燃物类型(模型)、负荷量、组成、结构及可燃物含水率,除可燃物含水率外,其它几项相对稳定。FPI模型着重从死、活可燃物含水率2个方面来考虑。这里结合2004年获取的黑龙省10月12日发生的特大森林火灾前的连续12d MODIS数据,分析植被因子在火险预报中的作用。

(1)活植被可燃物湿度。通过反映活植被可燃物湿度的 V_c 时间变化图(图4)可以看出,从10月1日开始,活植被湿度虽然在6日达到最低点,但是整体上呈现下降趋势,在12日达到了35%左右,是一个火灾易发值。

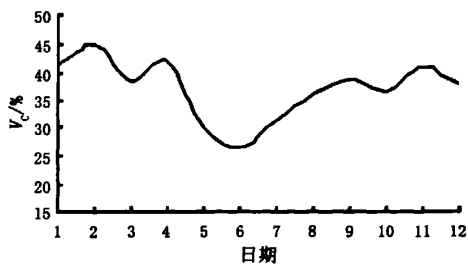


图4 黑龙省10月份 V_c 的时间变化趋势

(2)死植被可燃物湿度。通过能反映死可燃物湿度的 $FMC10HR_{FRAC}$ 时间变化图(图5)可以看出,

该值从9号开始下降,死可燃物湿度的下降更容易导致火灾的发生。

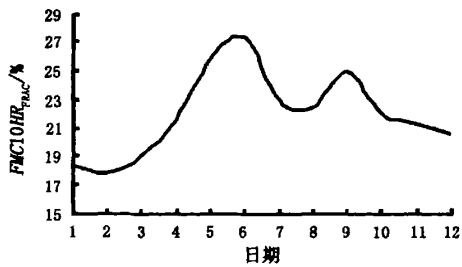


图5 黑龙江省10月份 FMC10HR_{FRAC}时间变化趋势

通过以上分析研究发现,相对湿度、温度对于火险的预报起着极其重要的作用,其中7、8月份的相对湿度不大、温度虽高,但是这个时期植被的生长旺盛,含水量高,不易燃烧,因此,不考虑这2个月的火险情况。但是,由于单一的相对湿度、温度考虑因素不全,不能完全表达火险预报,因此,其只能作为火险预报的一个输入因子。植被因子变化目前还没有一个定值来表示,而且其变化幅度大,不易掌握。需要经过更多的实验来分析研究。

3.2 模型的应用结果

(1)通过黑龙江省2004年12个月的FPI曲线(图6)可以看出,3~6月份和9、10月份的FPI值较大,与黑龙江防火期与戒严期吻合的非常好,这进一步表明了FPI模型在我国防火工作中的应用价值。

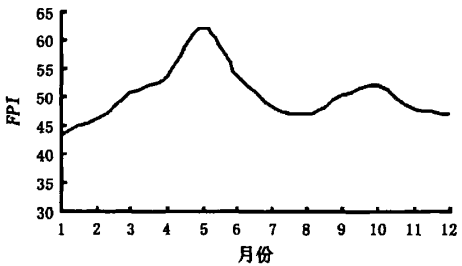


图6 黑龙江省2004年FPI时间变化趋势

通过对2004年10月12日火灾发生前12d的FPI变化图(图7)可以看出,在FPI模型下,研究区在火灾发生前FPI具有一定的变化,但总体呈增大趋势(图6,7)。因此,FPI预警模型在火灾预测预报中有一定的应用价值。

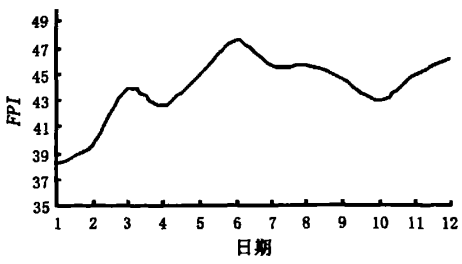


图7 黑龙江省2004年10月份FPI时间变化趋势

由黑龙江省2004年10月12日西北部着火区域前的2、5、8、11日的FPI图(插页彩片6~9)可以看出,着火区域的FPI值在10d前一直较高,特别是在11日呈现高值,与实际情况相符。

(2)南方林区气候多具干湿季节明显的特征,旱季地被物干燥,空气湿度小,林木干枯,有成火条件,它只有一个防火期,通常在10月下旬到第二年的4月,着火最可能的月份为1月和2月,此期间为防火戒严期。从2008年3月1、2日南方几省的FPI图(插页彩片10~11)上可以看出,FPI值很大,火险强度高,很容易发生火灾,这与实际情况相符。从图上还能看出火险范围在增大,火险等级在增强,且由东向西发展。这就为我们对灾情和未来火险运动情况有一个很好地了解,利于有针对性地部署下一步的防火工作。

3.3 FPI火险等级划分

通过分析几种地表类型的FPI值(图8)可以看出,不易着火地表的FPI值一般在40以下,而着火区域的FPI值则在55以上。

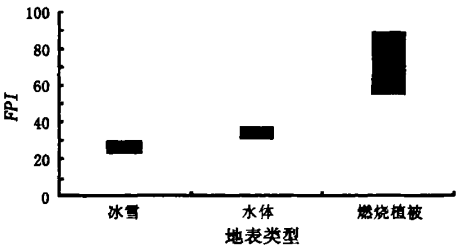


图8 FPI值与地表类型关系

据此,划分火险等级如表3所示。

表3 FPI火险等级

级别	指标	描述
1	$FPI < 30$	不可能发生火灾
2	$30 < FPI < 40$	不利于火烧条件
3	$40 < FPI < 55$	有利于火烧条件
4	$FPI > 55$	火灾很容易发生

4 结论

FPI模型利用了可燃物模型图和活、死可燃物湿度来预估林火发生的可能性。对于每个像元,可燃物模型图作为参考资料;相对绿度被用于确定活、死可燃物负荷量的比重及活可燃物的湿度;10h时滞代表死可燃物的湿度。本文研究的优点:

- (1)可以获得“面”的火险预报信息,而传统方法只能获得“点”的信息;
- (2)利用单一MODIS数据就可以获取火险预

报信息,而传统方法是利用不同时间的气象数据(如相对湿度、温度等)来获得的,由于时间的不同,造成精度下降;

(3)考虑的因素更多——气象要素和植被要素;

(4)该模型与林火发生有着紧密的相关性,可用于描述大、小范围的林火。

由于灾前预警问题较为复杂,特别是影响因素极多。它不单纯是一个物理模型,需要大量的历史资料去发展这一统计关系,这个关系可通过特殊的 *FPI* 值提供林火发生的概率。在我国黑龙江和南方几省市的应用表明, *FPI* 模型具有较好的效果。但是,这一模型还不能完全包括火险预报的重多因素,而且有些 MODIS 数据的计算方法还不完善,因此还需进行更多的研究。

参考文献:

[1] 宋志杰. 林火原理和林火预报[M]. 北京:气象出版社,1991.

- [2] 孙智辉. 延安市森林火险分级预报方法[J]. 气象, 2005, 31(6): 80-82
- [3] 张学艺, 李凤霞. 宁夏森林火险天气等级预报方法的研究[J]. 森林防火, 2006, (2): 28-29.
- [4] 傅泽强, 王玉彬. 内蒙古干旱草原春季火险预报模型的研究[J]. 应用气象学报, 2001, 5(12): 202-206.
- [5] 谭三清, 张贵, 肖化顺. 广州市森林火险性天气预报研究[J]. 湖南林业科技, 2005, 32(3): 19-21.
- [6] Sebastian - Lopez A, Burgan R E, Calle A, et al. Calibration of the Fire Potential Index in Different Seasons and Bioclimatic Regions of Southern Europe[C]. Wildfire, 2007.
- [7] Peng Guangxiong, Li Jing, CHEN Yunhao, et al. High - Resolution Surface Relative Humidity Computation Using MODIS Image in Peninsular Malaysia[J]. Chinese Geographical Science, 2006, 16(3): 260-264.
- [8] 高懋芳, 覃志豪, 刘三超. MODIS 数据在林火监测中的应用研究[J]. 国土资源遥感, 2005, (2): 60-63.
- [9] 高懋芳, 覃志豪, 徐斌. 用 MODIS 数据反演地表温度的基本参数估计方法[J]. 干旱区研究, 2007, 24(1): 113-118.
- [10] 林其钊, 舒立福. 林火概论[M]. 合肥: 中国科技大学出版社, 2003.

THE FIRE POTENTIAL INDEX (FPI) BASED ON MODIS DATA AND ITS APPLICATION

HUANG Bao - hua¹, TIAN Li¹, ZHOU Li - xia², SHI Chuan - qiu¹

(1. Yantai Bureau of Land and Resources, Yantai 264003, China;

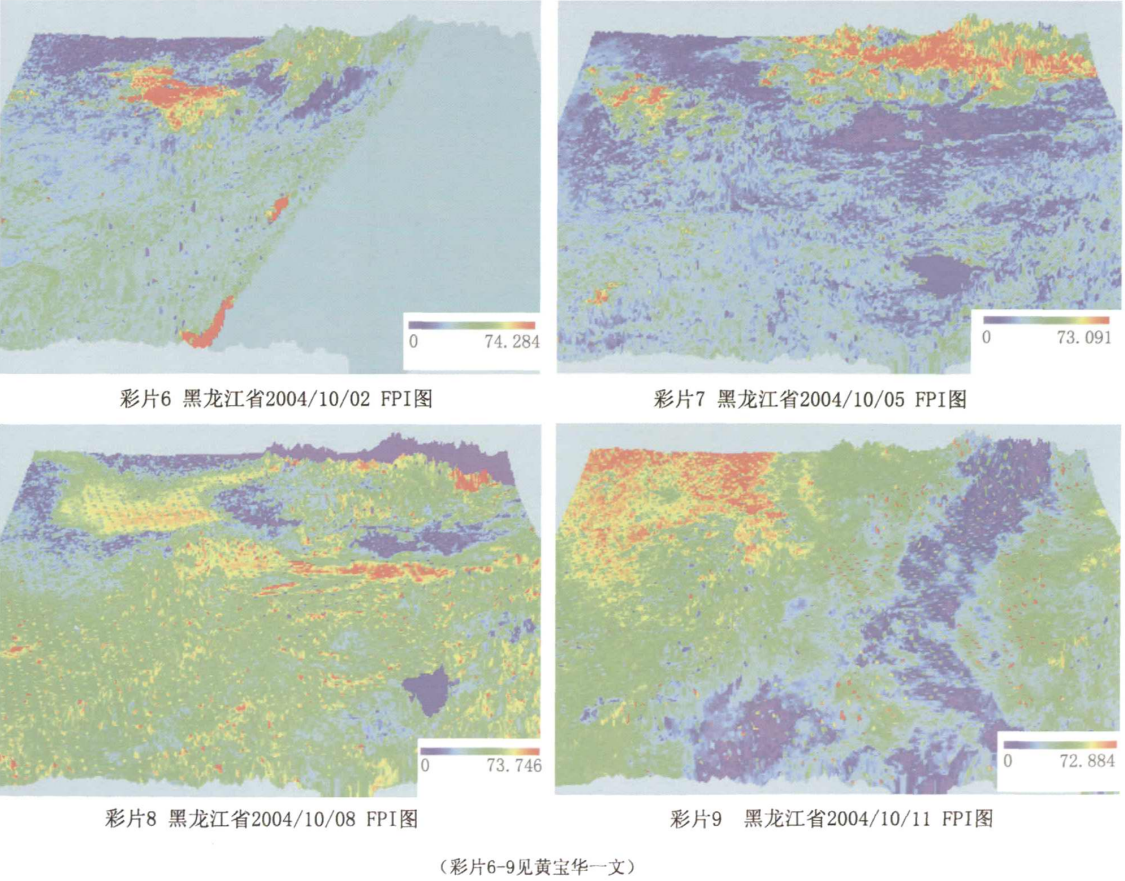
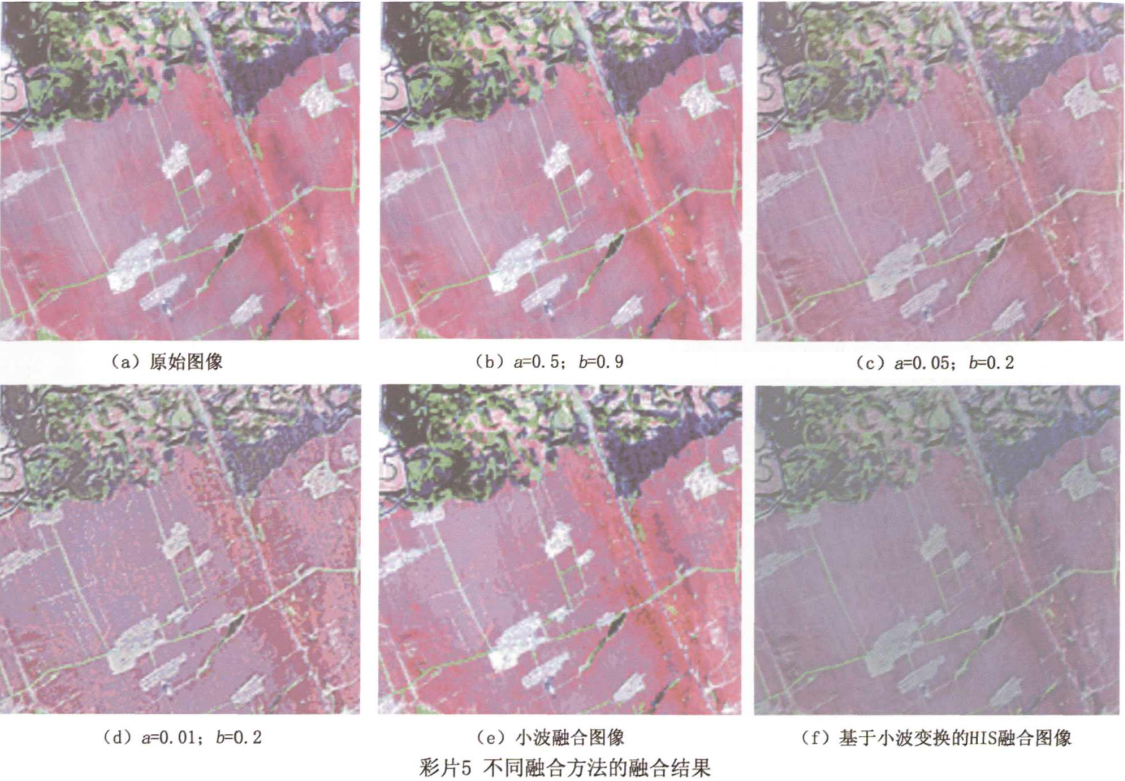
2. School of Geoscience and Environmental Engineering, Changsha 410083, China)

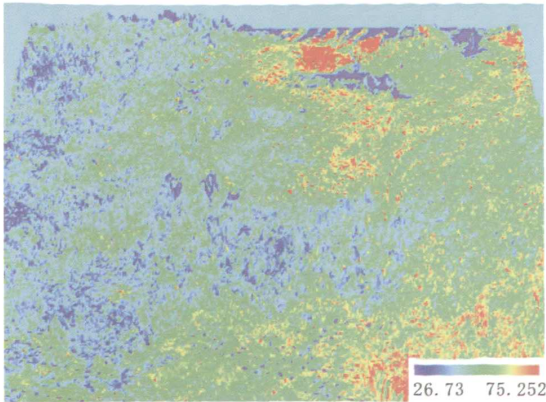
Abstract: The Fire Potential Index (FPI) model makes use of the combustible thing diagram, the burden of live and dead surface vegetation and the degree of humidity to estimate the possibility of forest fire occurrence. The authors used the MODIS data to extract all factors used in fire forecast, which included relative humidity, temperature, humidity of ten hours timelag combustible materials, normal vegetation water index, and vegetation greenness. The application of FPI model to fire forecast was tested by weather and vegetation data obtained by MODIS from Heilongjiang in October 2004 and from some provinces in southern China in March 2008. These data were input into the FPI model to obtain the fire insurance index chart. Practice shows that the utilization of the FPI model can raise the capability for the forecast of the temporal and geographic distribution of fire danger and improve the prediction technique.

Key words: MODIS; Fire potential index (FPI); Relative humidity; Air temperature

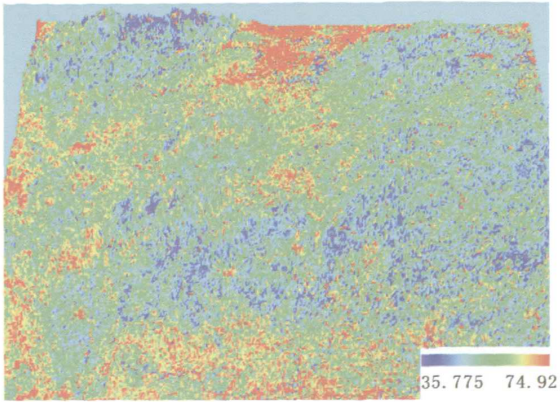
第一作者简介: 黄宝华(1977-), 男, 中南大学信息物理工程学院资源环境遥感专业 2007 届硕士, 主要从事遥感在环境监测中的应用方向研究。

(责任编辑: 刁淑娟)

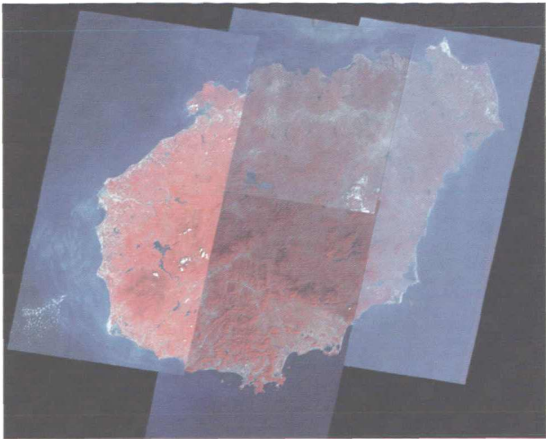




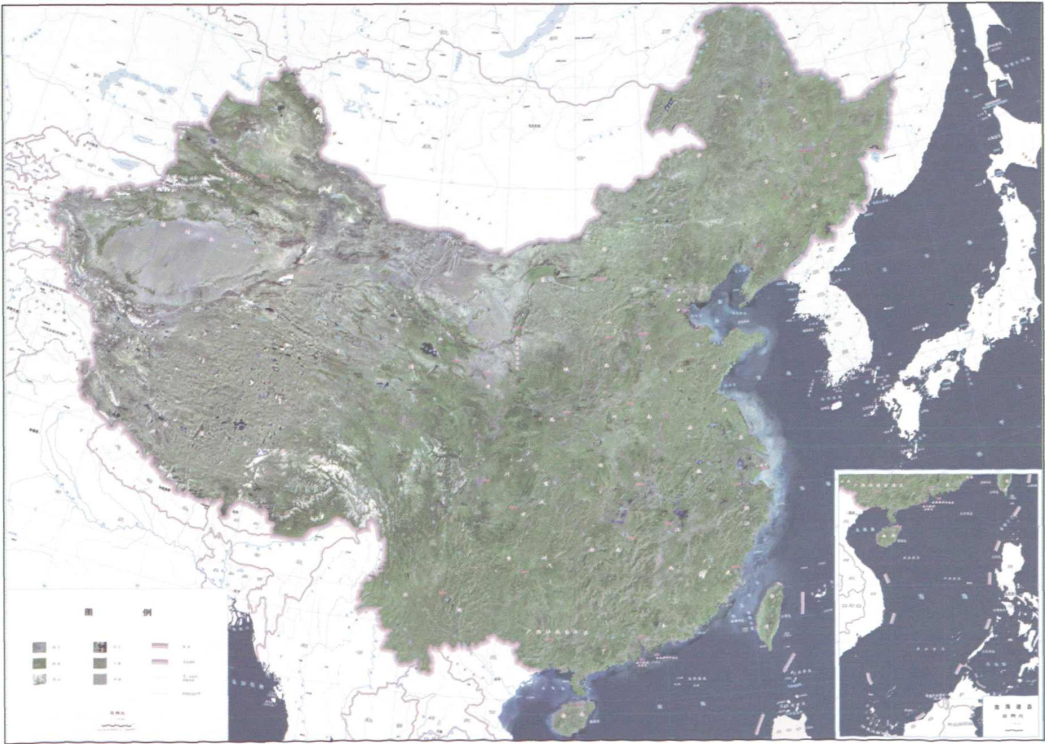
彩片10 南方几省2008/03/01 FPI图



彩片11 南方几省2008/03/02 FPI图



彩片12 调色前（左）后（右）的CBERS-02星4、3、2波段假彩色合成图像



彩片13 全国镶嵌真彩色整饰图

（彩片12、13见黄世存一文）