

我国北方森林草原地区火险等级 遥感评估及时空特征分析

王丽涛^①, 周艺^①, 乔德军^②, 刘文亮^①

(^① 中国科学院遥感应用研究所, 北京 100101; ^② 邯郸学院, 邯郸 056005)

摘要:我国是森林草原资源大国,但频发的森林草原火灾给我国生态环境建设和经济发展带来极大的损失。火险等级评估作为一项科学防火的重要方法手段,可以为森林草原防火提供科学有效的决策支持信息。相对气象台站获取的数据,遥感数据在大区域尺度地表信息反演上不受空间复杂性和插值的影响。因此,利用遥感进行森林草原火险等级评估,具有重大的理论意义和应用价值。本文以我国北方4省为主要研究区,根据其森林草原生态环境特点,结合资源环境领域遥感研究的已有成果,选取了5个基于遥感数据反演的火险评估指标,利用层次分析法构建了火险指数模型,确定火险分级原则,进行火险等级评估研究。依据火险等级评估的时间序列结果,分析了我国北方地区森林草原火险季节变化与区域分布特征。

关键词:火险等级评估;遥感;层次分析法

doi: 10.3969/j.issn.1000-3177.2011.03.008

中图分类号: TP79 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3177(2011)115-0044-06

Fire Danger Rating Assessment and Spatial temporal Characteristic Analysis of Forest and Grassland in North China Using Remote Sensing

WANG Litao^①, ZHOU Yi^①, QIAO Dejun^②, LIU Weiliang^①

(^① *The Institute of Remote Sensing Applications, CAS, Beijing 100101;*

^② *Handan College, Handan 056005*)

Abstract: The resource of forest and grassland is abundant in China with a vast territory. Furthermore, forest and grassland are important to socioeconomic development and environmental protection in China. But frequent fire occurring in forest and grassland caused a lot of economic and environmental damages. The study on fire danger rating is a meaningful way in forest and grassland fire management and can provide useful information to support the fire management decisions. Based on the characteristic of remote sensing data, five fire danger indicators were selected: Degree of vegetation curing, Fuel weight, Land surface temperature, Vegetation continuity degree and Equivalent water thickness. The method of Analytical Hierarchy Process (AHP) was used to integrate the five indicators and calculate the Remote Sensing Fire Danger Index (RSFDI). RSFDI was validated by analyzing the statistic relation between RSFDI and meteorological data from observation station. Using the constituted criterion referring to Forestry Industrial Standard, fire danger rating distribution can be mapped and analyzed at the temporal and spatial scale. The analyzing result showed that the temporal change and spatial distribution of fire danger rating in consistency with the fire and hazard occurrence in the study area.

Key words: fire danger rating assessment; remote sensing; analytical hierarchy process

收稿日期: 2010-05-05 修订日期: 2010-07-16

基金项目: 林业公益性行业科研专项(200704027-3)和国家863计划项目(2009AA12Z101)。

作者简介: 王丽涛(1979-),男,博士,主要从事灾害与环境遥感应用研究。

E mail: ltwang0817@163.com

1 引言

我国是森林草原资源大国,但频发的森林草原火灾给我国生态环境建设和经济发展带来极大的损失。切实有效地做好防火工作对于我国具有重要的现实意义,而火险等级评估可以为日常管理和防火灭火措施的制定提供科学的决策支持信息。从二十世纪六七十年代,美国、加拿大和澳大利亚等国对森林火灾开展了广泛的研究,开始应用火险等级评估方法进行森林火灾的管理。目前,世界上应用最为广泛、较为完善的火险等级系统包括加拿大森林火险等级系统(CFFDRS)、美国国家森林火险等级系统(NFDRS)以及澳大利亚的火险尺(FDM)^[1]。我国学者基于对火灾发生的时空分布、周期变化和影响因子,以及火灾的特点和起因的大量研究,在火灾预报预测和火险等级的划分方面做了很多有益的研究和探讨^[2-10]。1995年我国林业部颁布了《全国森林火险天气等级》,对森林火险评估提出了一定的标准,并提出了一个森林火险指数的计算公式。但火险等级的研究和应用多是基于气象站的点数据,其准确性受限于气象站密度和插值算法的精度,尤其是在地形变化较大和植被类型较为复杂的地区。

遥感技术因其在大范围空间具有高效获取信息的能力^[12],可以很好地解决利用气象站数据时受到空间复杂性和异质性影响的问题,而被越来越多地应用到火险等级评估研究中^[16,18-19,26]。本研究正是基于遥感数据的火险等级评估方法,制作了以旬为时间尺度的我国北方4省火险等级分布图。根据火险等级评估结果的时间序列数据,分析了我国北方4省的森林草原火险季节变化与区域分布特征。

2 研究区与数据

在本研究中,选择我国北方4省为研究区,即内蒙古、辽宁、吉林和黑龙江。这4个省区拥有丰富的森林和草地资源,对我国生态环境具有重要的作用。同时,这4个省也是森林草原火灾的多发地区,尤其是重特大火灾的多发地区,森林草原火灾给4省带来了极大的经济损失。在中国林业科学数据中心(<http://www.cfsdc.org>)统计的1951年至2000年发生在我国的140起重特大森林火灾案例。发生在这4个省区的重特大森林火灾有78起,占了55.7%,这不仅给当地经济发展和人民财产带来了极大的损失,还严重影响了森林草原生态环境的平衡。

在本研究中将MODIS数据作为主要的遥感数

据源,用以生成动态的火险指标。MODIS是世界新一代“图谱合一”的光学遥感仪器,具有36个光谱通道,分布在 $0.4\mu\text{m}\sim 14\mu\text{m}$ 的电磁波谱范围内。与同类资源卫星相比,具有较高的光谱、时间分辨率,获取相对容易,同时已具有大量的资源环境应用研究等优点。本研究中用TM数据生成可燃物总量和植被连续度两个较固定的火险指标。

3 火险等级评估方法和流程

本文以遥感数据(MODIS数据和TM数据)为数据源,利用层次分析法建立了火险指数模型,依据分级标准,生成了以旬为时间尺度的火险等级分布数据,描述了森林草原着火的危险及危害程度,可用于辅助森林草原的日常管理和防火资源调配。

火灾的发生和发展是个非常复杂的过程,涉及到了许多影响因素,在火险等级评估时需要根据时间、空间尺度和研究目的的不同,选择不同的、具有代表性的火险评估指标^[26]。目前,常用的火险指标大致可分为5个方面:火灾历史、地形条件、天气环境、植被因素以及人为因素等^[11]。其中,地形条件、天气环境和植被状态这三方面火险因子应用最为广泛、对于火灾的影响也最为直接,被称为火环境的三要素^[20]。地形数据最为固定,对于某地火险等级变化的贡献相对较小;而气象数据(如风速)变化很快,相对于旬时间尺度,对火灾危险性影响较小,而应用较多的降水数据,主要通过植被含水量来影响火灾的发生和发展。本研究在分析已有火险等级评估指标的基础之上,考虑指标的获取性和代表性,选取了植被生长状态、植被含水量、地表温度、可燃物总量以及植被连续度等5个指标。其中,植被生长状态是影响植被火灾成熟度的主要影响因素之一。在本研究中,使用了Zhou^[18]和Wang^[19]等人使用的基于NDVI的变量——植被干枯率,来表征植被生长状态。植被含水量也是植被生长状况的一个重要指示因子,在火险评估、旱灾监测和生态安全监测等诸多方面,植被水都起着重要的作用^[20]。在本研究中,利用等效水层厚度(Equivalent Water Thickness, EWT)表征植被含水量。地表温度(Land surface Temperature, LST)在气候、水文、生态学和生地化学等许多领域的研究中都是必需的^[21-22],尤其在森林、草原火灾以及植被状态研究中,是一个很重要的指示因子,反映了火灾发生时的孕育环境。可燃物总重(Fuel Weight)是指单位面积内植被的干重(单位是 kg/m^2),它反映了单位面积内可燃物的

总量。植被连续度表征了某一地区内植被斑块的连续程度,表征了火灾载体(植被)的空间分布特征。

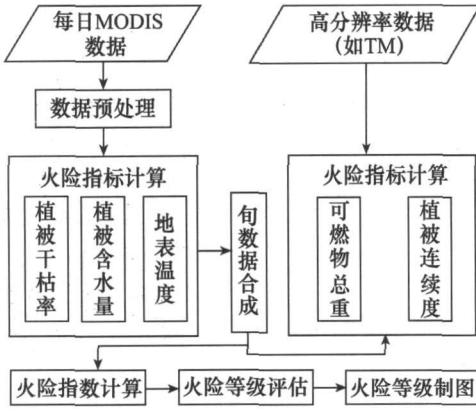


图1 火险等级评估流程图

其中,植被生长状态、植被含水量、地表温度这3个动态指标,是由MODIS数据根据反演模型计算求得,以旬为时间尺度;可燃物总量和植被连续度是两个较为固定的指标,使用高分辨率遥感数据(如

$$EWT = \frac{-(ad + c - d(GVMI + 0.13)) + \sqrt{(ad + c - d(GVMI + 0.13))^2 - (4cd(a + b - GVMI - 0.13))}}{2cd} \quad (2)$$

式中GVMI指数计算公式如下:

$$GVMI = \frac{(NIR + 0.1) - (SWIR + 0.02)}{(NIR + 0.1) + (SWIR + 0.02)} \quad (3)$$

式中NIR和SWIR分别表示近红外波段和短波红外波段的反射率值。

③地表温度:在本研究中,采用了分裂窗的算法进行地表温度的计算^[23~25]:

$$T_s = A_0 + A_1 T_{31} - A_2 T_{32} \quad (4)$$

式中 T_s 是地表温度(K), T_{31} 和 T_{32} 分别是MODIS第31和32波段的亮度温度。

④可燃物总重:从遥感数据(TM)分类的植被分布数据计算得到研究区单位面积的植被鲜重。根据各类植被的干鲜比系数可以计算得到单位面积的可燃物总重:

$$W_{\text{可燃物重量}} = C \times W_{\text{植被鲜重}} \quad (5)$$

式中C是不同植被类型的干鲜比系数。进行分级数据处理,得到介于[0,100]之间的可燃物总量指数:

$$W = W_{\text{可燃物重量}} / W_{\text{可燃物重量最大值}} \times 100 \quad (6)$$

⑤植被连续度:植被连续度定义为:

$$\text{植被连续度} = \left(\frac{\sum_{i=1}^N S_i}{N * S_T} \right) \times 100\% \quad (7)$$

式中 S_i 是区域内各个斑块的面积, N 是区域内斑块的数目, S_T 是区域总面积。

TM)结合统计数据获取。在本研究中,基于遥感数据的火险等级评估方法的技术流程如图1。

(1) 数据预处理

数据预处理主要是针对每日获取的MODIS数据,通过标准化处理,获取可用于指标计算的辐射物理量。处理过程包括定标计算、太阳高度角修正、几何纠正、去云处理以及大气校正等步骤。

(2) 火险指标计算

根据不同指标的计算公式,利用MODIS数据和TM数据获取火险指标数据。

①植被干枯率:植被干枯率计算公式如下:

$$P_{\text{curing}} = (1 - NDVI_{\text{防火期}} / NDVI_{\text{max}}) \times 100\% \quad (1)$$

$NDVI_{\text{防火期}}$ 是防火期中实验区某一天的NDVI值, $NDVI_{\text{max}}$ 是年最大NDVI值,春季防火期间计算时采用前一年的NDVI最大值。

②等效水层厚度:等效水层厚度反演计算公式^[8]如下:

(3) 旬数据合成

旬数据合成主要针对地表温度、等效水层厚度和植被干枯率3个指标数据的处理。由于遥感数据的自身特点,可见光和红外数据在对地观测过程中受到了大气环境的干扰,使得数据获取存在一定的影响,尤其是云的影响。由于云的存在,遮掩了地表反射和发射光谱的信息,使得传感器无法正确获取地表下垫面的信息。目前,消除云影响的一个常用方法是使用几天的遥感影像合成。在本研究中,合成旬数据时,采用最大值合成的方法。

(4) 火险指数计算

火灾危险性指数(Fire Danger Index, FDI)的计算,采用了层次分析方法对各指标进行分析,计算每个指标一个权重值,然后根据公式(10),利用波谱计算方法即可得火险指数数据(图2):

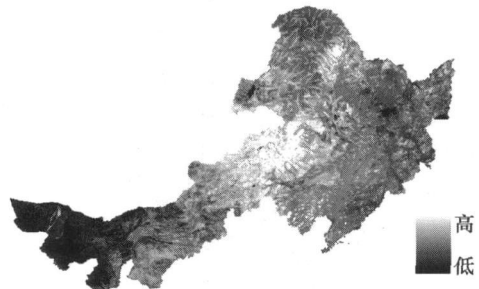


图2 火险指数分布图

$$FDI = \sum (W_i \times X_i) \quad (10)$$

其中, X_i 是指标的值; W_i 是指标的权重值, 火灾指标的权重值是利用层次分析法分析所得。

见表 1。

(6) 火灾等级制图

在 GIS 软件的支持下, 利用火灾分级数据和基础数据(如中国行政区划矢量数据), 通过属性分类、颜色设置、图幅整饬等处理, 生成标准化的火灾危险性等级分布图(图 3)。

(5) 火灾等级评估

在本研究的火灾危险性分级中, 参照了 1995 年由林业部发布的林业行业标准——《全国森林火灾天气等级》, 将火灾危险性分为 5 级, 其描述

表 1 火灾危险性分级信息表

火灾指数值	火灾等级	等级描述	对应火灾状况
0- 20	低	没有危险	起火的可能性很低, 可燃物很难被点燃; 即便起火, 火的传播慢, 容易被很快扑灭。
20- 35	中等	低度危险	干的, 易燃的可燃物比较容易着火, 但是着火的可能性相对较低; 火势不太可能很严重, 而且控制相对比较容易。
35- 50	高	中度危险	干的, 易燃的可燃物容易着火, 很多人为的原因, 如野炊等活动将可能引起火灾的发生。着火后火的传播速度中等, 如果在刚着火的时候迅速扑救, 火势比较容易得到控制。
50- 70	很高	高度危险	起火的可能性很高; 火传播速度很快, 并且火势可以发展到很大。火的扑灭难度很大, 除非是遇到环境条件的改变。
70- 100	极高	极度危险	起火的可能性极高, 传播速度很快并且火势可以发展到很大。从火的侧面灭火是可能的, 但是直接的正面的扑灭火是很危险的, 除非是遇到环境条件的改变。

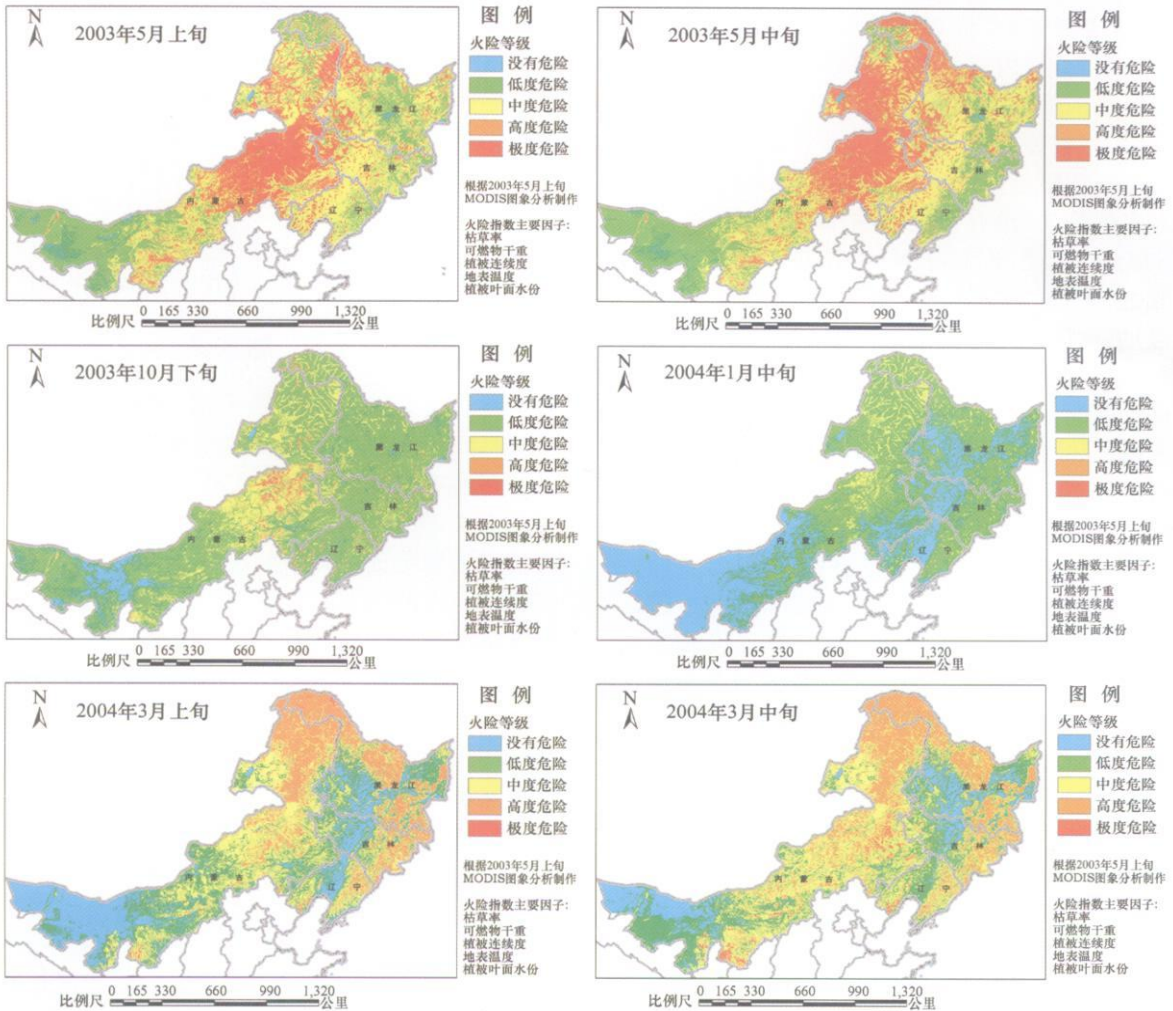


图 3 火灾危险性等级分布图

4 火险等级时空特征分析

4.1 火险等级的空间分布特征

依据火险分级原则,可以将计算出的火灾危险指数进行分级,得到了研究区火灾危险性等级分布。通过对4个研究时间段内的火险等级信息进行分析,根据其空间分布特征,可以将研究区域分成几个不同特征的区域(图4):

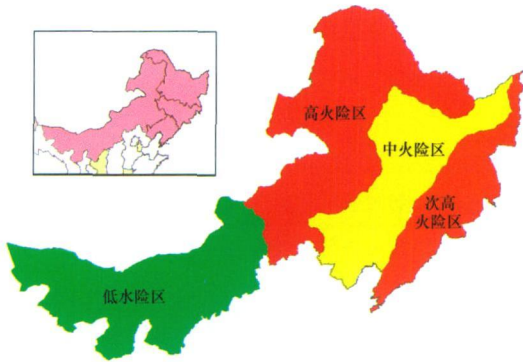


图4 火险等级空间分布示意图

(1) 内蒙西部的“低火险区”。在火险等级评估数据时间序列中,内蒙西部始终处于没有危险或低度危险区。内蒙西部为我国北部半干旱的沙漠、荒漠地区,其植被分布及其稀疏,几乎不存在发生森林草原火灾的危险性。从火险评估时间序列来看,该区域大多数处于“没有危险”,在个别旬(如2003年4月下旬至5月上旬)处于“低度风险”,是由于气温升高所引起的正常变化;

(2) 黑吉辽中部区域的“中火险区”。黑吉辽中部是我国东北粮食主产区,其发生森林草原火灾的危险性也极低。而在火险等级时间序列中,该区域大部分地区和时间段内处于“没有危险”和“低度危险”中。在2003年4月下旬至5月中旬这个时间段内,由于农作物的生长和气温的升高,使得火险等级升至“中度危险”,甚至有些地区到达了“高度危险”。

(3) 内蒙中北部和黑龙江北部的“高火险区”。根据火险等级数据的时间序列分布,可以发现这个区域里的大部分地区在每旬的火险等级分布中都处于最高的火险级别。与之相应的,这片区域是我国北部的草地和林地的主要分布区。在我国森林草原历史火灾统计中,该区域也是我国重大森林草原火灾多发区。

(4) 黑吉辽西部的“次高火险区”。在火险等级分布中,在黑吉辽三省的西部区域的火险等级始终处于内蒙中部和黑龙将北部的高火险区与黑吉辽中部区域的中火险区之间,可以将其划分次高火险区。这片区域也是我国被北方林地的主要分布区之一,

同时也是我国林火多发的地区。但相对内蒙中部和黑龙将北部的高火险区,其火灾发生的频率和危害程度要小许多。

通过对研究火险等级空间分布特征的分析,可以发现其与植被分布和火灾发生具有较好的一致性,这也在一定程度上印证了火灾危险等级评估在该研究区内的实用性。

4.2 火险等级的时间分布特征

将4个时间段的火险等级数据分别作为一个整体,进行相互比较,可以发现:2003年4月下旬至5月中旬这一时段,研究内“极高危险”区和“高度危险”区分布面积最大;2003年10月中、下旬时间段内,大部分地区的火险等级明显下降,个别地区仍具有高火险等级;在2004年的1月上旬至下旬时间段内,研究区的绝大部分地区处于“没有危险”和“低度危险”区;而到了2004年2月下旬至3月中旬时间段内,首先由内蒙中北部和黑龙将北部的高火险区内出现个别的“极高危险”火险等级,进而至3月中旬,内蒙中部和黑龙将北部的高火险区和黑吉辽西部的次高火险区内的大部分地区进入“高度火险”级别。以上这一火险等级的时间变化,与我国的火灾多发季节和防火期的变化向呼应。一般,我国东北、内蒙古森林草原防火期春季从3月中旬到6月中旬,紧要期为4~5月份;秋季防火期从9月中旬到11月中旬,紧要期为10月份^[29]。这也表明了,火灾危险等级评估的时间序列变化能够较好地反映研究区内的火灾危险性。

5 结束语

我国是森林草原资源大国,但频发的森林草原火灾给我国生态环境建设和经济发展带来极大的损失。切实有效地做好防火工作对于我国具有重要的现实意义,火险等级评估可以为日常管理和防火灭火措施的制定提供科学的决策支持信息。相对于气象站获得的数据,遥感技术可以快速而经济地获取大范围的地表信息,并可以直接监测或间接地反演出大范围干旱所需的非均一地表众多参数和变量。本研究中,正是利用遥感数据这一优势,以MODIS为主要遥感数据源,构建了以遥感反演指标为基础的火险指数模型,并参照我国林业行业标准,进行了火险分级研究。通过与气象数据的统计相关分析,和对火险等级评估结果的时空分布特征的研究,表明了基于遥感的火险指数模型和火险等级评估对研究区具有较好的适用性。

但是,森林草原火险等级评估是一项复杂的研究工作,受到了诸多因素的影响。同时,遥感数据由

于自身的特点,可见光和红外数据在对地观测过程中受到了大气环境的干扰,使得数据获取存在一定的影响,尤其是云的影响。在今后的研究工作中,我们着重解决如何利用多源数据(如气象数据),通过

数据同化等方法弥补遥感数据的局限性,提高火险等级评估的精度,构建多时间度的火险等级评估信息,使其更好地为日常管理和防火灭火措施的制定提供科学的决策支持信息。

参考文献

- [1] 田晓瑞, Douglas J M crae, 张有慧. 森林火险等级预报系统评述[J]. 世界林业研究, 2006, 19(2): 39- 46.
- [2] 青泉, 玉兰, 康宁. 阿坝州短期森林火险等级划分及预报[J]. 四川气象, 2002(3): 33- 35.
- [3] 孙秀忠, 郝家学, 李建明, 等. 东营市森林火险天气等级预报系统[J]. 河南气象, 2002(1): 28- 29.
- [4] 刘跃红, 郑吉星, 闫小利, 等. 焦作市森林火险等级预报系统[J]. 河南气象, 2003(4): 25- 26.
- [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] 傅泽强, 王玉彬, 王长根. 内蒙古干草原春季火险预报模型的研究[J]. 应用气象学报, 2001, 12(2): 203- 209.
- [7] 杜秀贤, 郭绍存. 呼盟林火及草原火预报系统的研究[J]. 内蒙古气象, 1997(4): 20- 29.
- [8] 袁美英, 许秀红, 邹立尧, 等. 黑龙江省草原火险及其预报[J]. 黑龙江气象, 1997(3): 36- 39.
- [9] 郑海青, 陈敬平, 张星, 等. 福建省森林火险等级预报系统[J]. 中国农业气象, 2001, 22(3): 37- 43.
- [10] 曾孝平, 刘敬, 刘德, 等. 基于 BP 神经网络的森林火环境预测方法[J]. 重庆大学学报(自然科学版), 2005, 28(1): 73- 76.
- [11] 王丽涛, 王世新, 乔德军, 赵清. 火险等级评估方法与应用分析[J]. 地球信息科学, 2008, 10(5): 578- 585.
- [12] 陆桂华, 张建云, 杨扬, 等. 大范围旱情监测技术[J]. 水利水电技术, 2003, 34(4): 44- 46.
- [13] Du, X., Zhou, Y., Wang, S., et al. Monitoring and spatiotemporal evolution researching on vegetation leaf water in China[C]//IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium Proceedings: Science for Society: Exploring and Managing a Changing Planet. IGARSS, 2004: 4273- 4276.
- [14] Deeming, J. E., Burgan R. E., Cohen, J. D. The national fire danger rating system - 1978 [R]. USDA For. Serv., Intermountain Forest and Range Experiment Station, Ogden, Utah, Gen. Tech. Rep. 1977.
- [15] Goldammer J. G. Early warning systems for the prediction of an appropriate response to wildfires and related environmental hazards[C]// Health Guidelines for Vegetation Fire Events. 1998.
- [16] Hernandez Leal P. A., Arbelo M., Gonzalez Calvo A. Fire risk assessment using satellite data[J]. Advances in Space Research, 2006(37): 741- 746.
- [17] Sobrino J A, Jimenez Muiioz J C, aolini L. Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM5[J]. Remote Sensing of Environment, 2004(90): 434- 440.
- [18] Weiqi Zhou, Yi Zhou, Shixin Wang, et al. Early warning for grassland fire danger in north China using remote sensing [C]// International Geoscience and Remote Sensing Symposium(IGARSS03) IGARSS, 2003: 21- 25.
- [19] Wang Litao, Zhou Yi, Wang Shixin, et al. Monitoring for grassland and forest fire danger using remote sensing data[C]// IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium Proceedings: Science for Society: Exploring and Managing a Changing Planet. IGARSS, 2004: 2095- 2098.
- [20] Carlson J. D, Burgan R. E. Review of user's needs in operational fire danger estimation: the Oklahoma example [J]. INT. J. Remote Sensing, 2003, 24(8): 1601- 1620.
- [21] Mannstein, H. Surface energy budget, surface temperature and thermal inertia[C]// Remote Sensing Applications in Meteorology and Climatology. 1997(201): 391- 410.
- [22] Sellers, P. J., F. G. Hall, Asrar G., Ströbel D. E., Murphy R. E. The first ISLSCP Field Experiment (FIFE) [J]. Bull. Amer. Meteorol. Soc., 1998, 69(1): 22- 27.
- [23] Price, J. C. Land surface temperature measurements from the split window channels of the NOAA- 7 AVHRR [J]. J. Geophys. Res., 1984(79): 5039- 5044.
- [24] Becker, F., Li, Z. - L. Toward a local split window method over land surface [J]. Int. J. Remote Sens., 1990, 11(3): 369- 393.
- [25] Wan, Z., Dozier J. Land surface temperature measurement from space: physical principles and inverse modeling [J]. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., 1989, 27(3): 268- 278.
- [26] Chuvieco, E. A Review Of Remote Sensing Methods For The Study Of Large Wildland Fires [M]. (Megafires project ENV- CT 96- 0256). Spain, 1997.
- [27] Amparo Alonso Betanzos, Oscar Fontenla Romero, Bertha Ujarrero Berdin~ as, et al. An intelligent system for forest fire risk prediction and fire fighting management in Galicia [J]. Expert Systems with Applications, 2003(25): 545- 554.
- [28] Rykiel, E. J. Testing ecological models: the meaning of validation [J]. Ecological Modeling, 1996(90): 229- 244.
- [29] 马福. 中国森林火灾管理与中澳森林防火合作[EB/OL]. <http://www.forestfire.gov.cn/>, 2003- 08- 12.
- [30] Saaty, T. L. Response to holder's comments on the analytic hierarchy process [J]. The Journal of the Operational Research Society, 1991, 42(10): 909- 914.