

# 基于 GIS 的大兴安岭森林火险区划<sup>\*</sup>

尹海伟<sup>1</sup> 孔繁花<sup>2,3</sup> 李秀珍<sup>2\*\*</sup>

(<sup>1</sup> 南京大学城市与资源学系, 南京 210093; <sup>2</sup> 中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110016;

<sup>3</sup> 日本广岛大学国际协力研究科, 日本广岛 739-8529)

**【摘要】** 以黑龙江省大兴安岭图强林业局育英林场和奋斗林场为研究区, 以 GIS 技术为支撑, 选取植被类型、海拔、坡度、坡向和离居住区远近作为主要林火影响因子, 采用因子加权叠置法, 对研究区森林火险情况进行了定量评价, 将火险等级分为无、低、中、高和极高 5 类。结果表明, 无、低、中、高和极高火险区分别占研究区的 0.37%、0.63%、38.67%、58.63% 和 1.70%, 符合正态分布; 中及以上火险区占 60.33%, 说明研究区森林火灾管理任务仍相当繁重; 森林火险等级的地域分异明显, 中部高四周低, 在不同林火影响因子上的分异十分明显; 火险等级与 1987 年的火烧强度具有较强的一致性, 说明火险区划结果具有较高的可靠性, 可为林业部门进行森林火灾管理提供有价值的参考。

**关键词** 森林火险区划 GIS 大兴安岭

文章编号 1001-9332(2005)05-0833-05 中图分类号 S762 文献标识码 A

**GIS-based forest fire risk zone mapping in Daxing'an Mountains.** YIN Haiwei<sup>1</sup>, KONG Fanhua<sup>2,3</sup>, LI Xiu-zhen<sup>2</sup> (<sup>1</sup> Department of Urban and Resources Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, China; <sup>2</sup> Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China; <sup>3</sup> Graduate School for International Development and Cooperation, Hiroshima University, Kagamiyama 739-8529, Japan). -Chin. J. Appl. Ecol., 2005, 16(5): 833~837.

In this study, the Yuying and Fendou forest farms of Tuqiang Forest Bureau in Daxing'an Mountains were chosen as test areas, and their vegetation type, altitude, slope, aspect, and settlement buffer were selected as the main forest fire factors. The circumstances of forest fire risk were quantified by the factor-weights union method with the support of GIS. Four classes of forest fire risk ranging from low to extreme were generated. The none, low, moderate, high, and extremely high fire risk zones accounted for 0.37%, 0.63%, 38.67%, 58.63% and 1.70%, respectively, which was in corresponding with normal distribution. About 60.33% of the test areas were predicted to be upper moderate risk zones, indicating that the forest fire management task in these areas is super onerous. There was an obvious regional difference in the distribution of forest fire risk zones being higher in the center and lower around the center, and the difference in fire factors was also obvious. The GIS-based forest fire risk model of test areas strongly cohered with the actual fire-affected sites in 1987, which suggested that the forest fire risk zone mapping had a higher reliability, and could be used as the reference and guidance of forest fire management.

**Key words** Forest fire risk zone, GIS, Daxing'an Mountains.

## 1 引言

林火是森林植被区最为重要的扰动因子,也是自然、生物、生态环境过程的潜在威胁<sup>[12,23]</sup>。按照世界粮农组织对 47 个国家森林的统计, 1881~1990 年年平均森林火烧区为  $6.73 \times 10^6 \text{ hm}^2$ , 占世界林区的 0.47%<sup>[15]</sup>。火灾频发也是我国森林退化的一个重要因素, 1950~1997 年共发生森林火灾  $1.43 \times 10^4$  起, 火烧区达  $8.22 \times 10^6 \text{ hm}^2$ <sup>[15]</sup>。大兴安岭是我国最为重要的林区, 但也是极易遭受林火干扰的地区, 1987~2002 年共发生森林火灾 410 起, 其中人为火 154 起、雷击火 256 起<sup>[27]</sup>。因此, 预测与评价影响火灾发生的潜在因素, 了解与分析火灾的动态行为, 进行森林火险区划十分必要。

火险区划是一项重要的防火技术措施, 将为林火预防、林火扑救以及防火指挥员因地制宜进行防火规划和部署扑火力量、指导森林防火工作提供科学依据<sup>[24]</sup>。森林火险区是指森林火灾极易发生的地区以及由此区域极易扩展到其他地域的地区。它是在森林可燃物分类的基础上, 结合其他火环境条件, 将森林划分为不同的火险等级, 以便分级管理<sup>[23,30]</sup>。森林火险区与植被覆盖类型、地形条件、气候条件等密切相关, 其主要划分方法有(模糊)聚类分析、主成分分析(PCA)、Keetch-byram 指数法、系统动力学、Fuzzy 综合评判法等<sup>[2,5-8,10,11,16,20,23-26,28-31]</sup>。自从 1925 年

\* 国家自然科学基金项目(30270225, 40331008)和中国科学院知识创新工程资助项目(SCXZY0102)。

\*\* 通讯联系人。Tel: 024-83970350; E-mail: Landscape2001@sina.com  
2004-05-10 收稿, 2004-12-03 接受。

J. G. Wright 开始研究天气和可燃物含水量与火之间的关系以来,国内外学者基于气象资料和火灾发生频率资料,利用不同模型在不同时空尺度上进行了森林火险区划研究,但多侧重于时间小尺度和空间大中尺度的研究<sup>[1,7~11,13,17,18,22]</sup>.遥感技术的发展为森林火险定量分析提供了机遇,已被许多学者应用于森林火灾监测<sup>[2~6,23~26,28,29]</sup>.国内外火险区划的研究主要使用气象站的观测资料进行拟合,但我国气象站数量不多、分布不均且多远离林区,因而其气象资料的代表性不强.为此,本文利用研究区 TM 遥感数据和 DEM,在 GIS 技术支持下,以植被类型、海拔、坡度、坡向和离居住区远近为林火影响因子,采用因子加权叠置法,在较大时间尺度和较小空间尺度上进行了森林火险区划研究.

## 2 研究地区与研究方法

### 2.1 研究地区概况

选取黑龙江省大兴安岭图强林业局的育英和奋斗两个林场(124°05'~122°18'E,53°34'~52°15'N)作为研究区,总面积约为  $1.2 \times 10^5 \text{ hm}^2$ ,是1987年火烧比较严重的地区,过火面积达  $1.08 \times 10^5 \text{ hm}^2$ ,占总面积的90.2%,其中极重过火区占总面积的44.4%.研究区气候干冷,年平均气温-4.94℃,极端最低气温-53℃,年均降水量仅为432mm;森林类型属于全球北方针叶林带的最北部分,森林物种组成比较单一,以兴安落叶松林(*Larix gemelinii*)、樟子松(*Pinus sylvestris* var. *mongolica*)和白桦(*Betula platyphylla*)为主,地面以杜香(*Ledum palustre*)、越桔(*Vaccinium vitis-idaea*)等灌木和一些杂草为主;地形属中山丘陵地区,山顶浑圆,坡度介于3°~40°之间,海拔介于380~890m之间,大部分山脉为南北走向;岩性多为花岗岩,并有少量石灰岩和其它岩类;由于地质和地貌的原因,山地上部多以棕色针叶林土为主,

中部多以表潜棕色针叶林土及灰化棕色针叶林土为主,谷地多为表潜棕色针叶林土和泥炭沼泽土为主.

### 2.2 林火影响因子

2.2.1 植被类型 不同植被类型其可燃性也不相同<sup>[4~8]</sup>.研究区植被类型分为9类:针叶林、阔叶林、针阔混交林、苗圃、采伐迹地、沼泽、荒草地、水域和建设用地,其中前3种植被类型均属易燃树种,而水域是林火蔓延的重要限制因子.

2.2.2 地形条件 地形是影响火险等级最为重要的地学因子<sup>[21~23]</sup>.地形可以通过气流和局部小气候影响林火的发生和蔓延<sup>[28,31]</sup>.地形主要包括海拔、坡度和坡向.在山区,随着海拔高度和降水量的增加,温度降低,湿度变大,林火发生的可能性降低;坡向直接影响地表接收太阳辐射的多寡,造成林火发生可能性在不同坡向上的分异;坡度越大,地表径流越快,地表可燃物越易于干燥,林火发生的可能性越大.

2.2.3 气候条件 气温、相对湿度和风是决定森林起火难易程度的主要气候因子<sup>[27,28,30]</sup>.张映堂等<sup>[30]</sup>通过大量的室内外点火试验得出气温和风力与植被初始蔓延速度成线性正相关,而相对湿度与之成线性负相关.物候期也是影响林火发生与蔓延的因子,在植被枯萎期着火和蔓延的可能性要比生长期大<sup>[7]</sup>.研究区干旱多风,极易受林火侵扰,但气候因子空间分异不明显,且与地形因子有较大重叠,因此,本文只作为火险参考因子.

2.2.4 距离居住区远近 距离居住区越近越易遭受火干扰.研究区内位于林区中的居住区不多,但仍有较大可能导致森林火灾的发生.

### 2.3 研究方法

数据的获取、处理与分析过程与结果见图1~图3.

森林植被的反射光谱曲线在近红外线部分有一个明显的波峰,而被林火烧焦的地区在此波段的反射率大为降低,光谱曲线变得平直,因而火烧区与周围异质区域的光谱曲线具有很强的对比性<sup>[19]</sup>.据此,1987年火烧强度分为未火烧区、轻度火烧区、中度火烧区和重度火烧区4个等级(图3b)<sup>[14]</sup>.

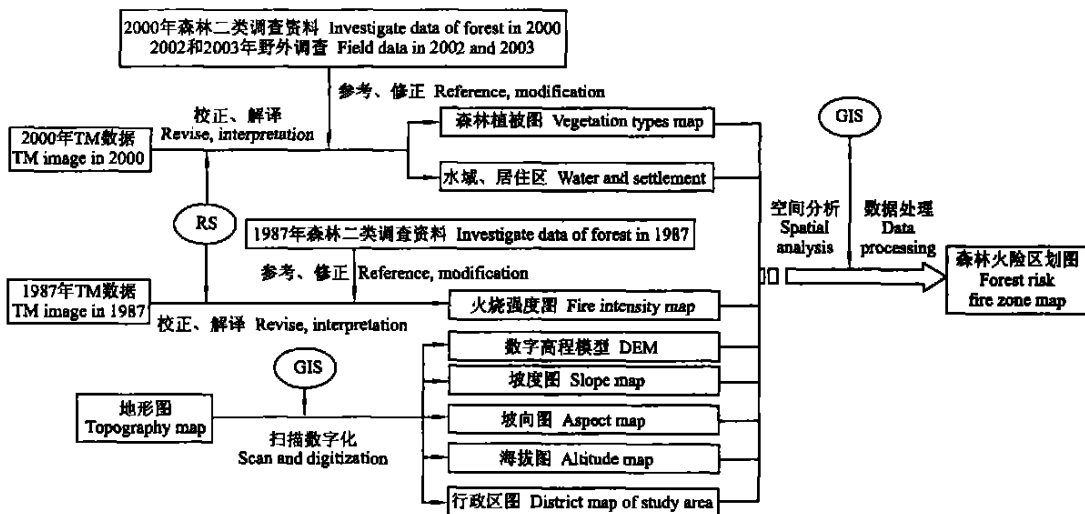


图1 研究区森林火险区划数据处理与分析流程图

Fig. 1 Flow chart of the analysis processing in forest fire risk zones.

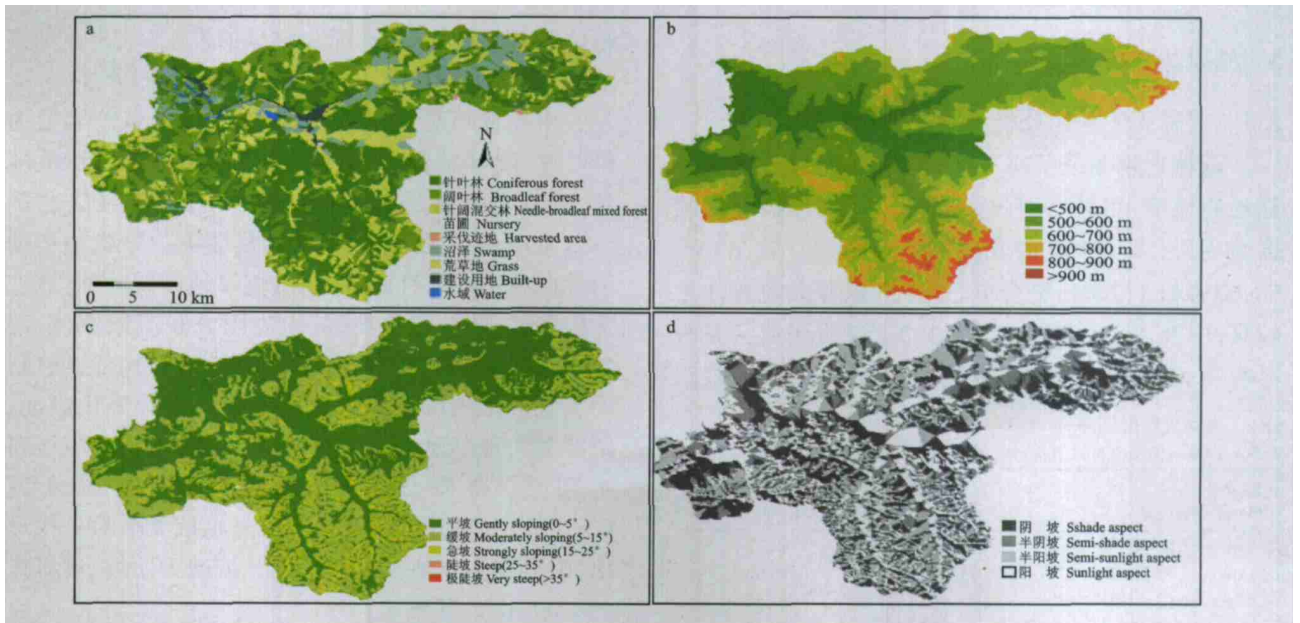


图 2 主要林火影响因子等级图

Fig. 2 Classes of main forest fire factors.

a) 植被类型 Vegetation type; b) 海拔 Altitude; c) 坡度 Slope; d) 坡向 Aspect.

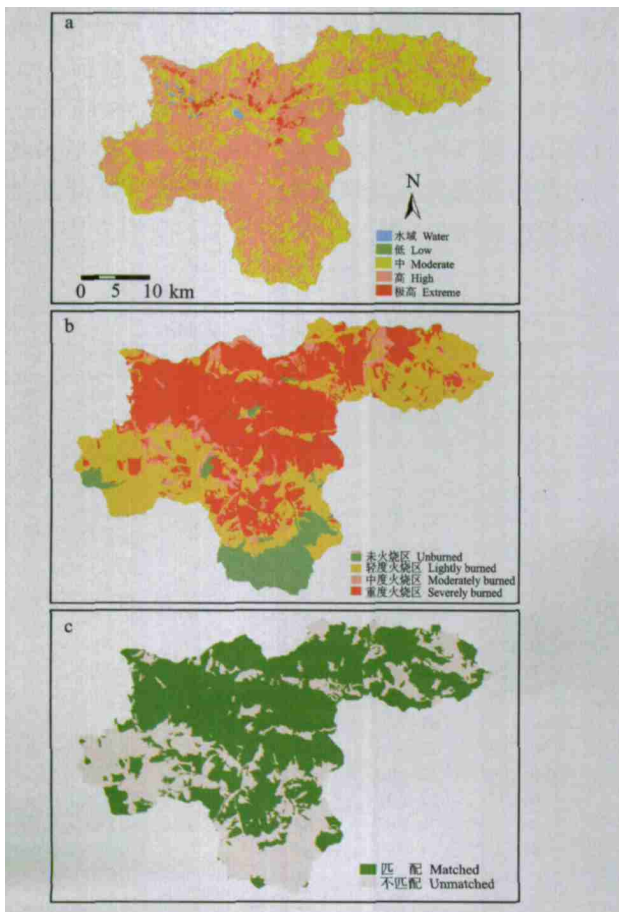


图 3 研究区森林火险等级(a)、火烧强度(b)及其匹配结果(c)

Fig. 3 Forest fire risk zone(a), fire intensities(b) and its matched result(c) of the study area.

专题地图中不同的要素根据其其对林火的灵敏度分别被赋予不同的火险等级值。为便于分析, 描述性的火险等级转换成森林火险指数并建立等级评价体系(表 1)。采用层次分

析法(AHP)对各因子赋予合适权重。然后采用因子加权叠置法整合所有因子专题层, 得到森林火险指数。计算公式如下:

$$FFR = \sum_{i=1}^5 W_i X_i$$

式中,  $FFR$  为森林火险指数,  $X_i$  为林火影响因子,  $W_i$  为各因子权重。

最后, 使用综合评判集和 GIS 分析功能将研究区划分为 5 个森林火险区(表 2、图 3a), 并将此结果与 1987 年火烧强度进行了对比分析(图 3b)。

表 1 变量及其类别的权重与等级体系

Table 1 Weights and ratings assigned to variables and classes

编号 Number	变量及权重 Variables and weights	类别 Classes	等级值 Ratings	火敏感度 Fire sensitivity
1	植被类型 Vegetation type (0.40)	针叶林 Coniferous forest	10	IV
		阔叶林 Broadleaf forest	8	IV
		针阔混交林 Needle-broadleaf mixed forest	9	IV
		苗圃 Nursery	5	II
		采伐迹地 Harvested area	3	I
		沼泽 Swamp	4	II
		荒草地 Grass	7	III
		建设用地 Built-up	6	III
		水域 Water	0	—
2	居住区缓冲区 Settlement buffer (0.15)	< 500 m	10	IV
		500 ~ 1 000 m	7	III
		1 000 ~ 1 500 m > 1 500 m	4 2	II I
3	坡度 Slope (0.15)	平坡 Gently sloping (0° ~ 5°)	1	I
		缓坡 Moderately sloping (5° ~ 15°)	3	I
		急坡 Strongly sloping (15° ~ 25°)	5	II
		陡坡 Steep (25° ~ 35°)	7	III
		极陡坡 Very steep (> 35°)	10	IV
4	海拔 Altitude (0.15)	420 ~ 500 m	10	IV
		500 ~ 600 m	9	IV
		600 ~ 700 m	7	III
		700 ~ 800 m	5	II
		800 ~ 900 m	3	I
		> 900 m	1	I
5	坡向 Aspect (0.15)	阴坡 Darkness aspect <sup>1)</sup>	2	I
		半阴坡 Semi-darkness aspect <sup>2)</sup>	5	II
		半阳坡 Semi-sunlight aspect <sup>3)</sup>	7	III
		阳坡 Sunlight aspect <sup>4)</sup>	10	IV

I. 低 Low; II. 中 Moderate; III. 高 High; IV. 极高 Extremely high; — 无 None 1) 337.5° ~ 67.5°; 2) 292.5° ~ 337.5°, 67.5° ~ 112.5°; 3) 247.5° ~ 292.5°, 112.5° ~ 157.5°; 4) 157.5° ~ 247.5°. 下同 The same below.

### 3 结果与分析

#### 3.1 森林火险总体分析

森林火险等级反映了火灾发生的可能性与火灾蔓延的风险. 由表2可见, 无、低、中、高和极高火险区分别占研究区的0.37%、0.63%、38.67%、58.63%和1.70%, 符合正态分布; 森林火险总体上较高, 中及以上火险区占60.33%, 说明研究区是极易遭受火干扰的地区, 森林火灾管理任务十分艰巨.

表2 森林火险区划分

Table 2 Classification of fire risk zones

火险类别 Class of fire risk	面积 Area (hm <sup>2</sup> )	占研究区比重 Proportion (%)
无 None (FFR=0)	44.56	0.37
低 Low (0<FFR≤3)	76.20	0.63
中 Moderate (3<FFR<6)	4688.89	38.67
高 High (6≤FFR<8)	7108.01	58.63
极高 Extremely high (FFR≥8)	206.50	1.70

#### 3.2 森林火险地域分异

由图3a可见, 森林火险地域分异明显, 中部高四周低. 极高和高火险区主要位于中部、西部和东部; 中火险区集中在东北部和南部; 低与无火险区主要分布在中部和西部. 森林火险区划可以帮助森林管理者在易遭受林火干扰的区域建立适当的火灾防

表3 研究区不同林火因子变量类别在不同森林火险区上的分布

Table 3 Distribution of different variables on different forest fire risk zones (%)

变量 Variables	类别 Classes	森林火险区 Forest fire risk zones			
		I	II	III	IV
植被类型 Vegetation type	针叶林 Coniferous forest	0	11.108	85.427	3.466
	阔叶林 Broadleaf forest	0	63.047	36.854	0.100
	针阔混交林 Needle-broadleaf mixed forest	0	48.732	50.858	0.411
	苗圃 Nursery	0	28.749	71.251	0
	采伐迹地 Harvested area	24.185	75.815	0	0
	沼泽 Swamp	0.022	91.204	8.774	0
	荒草地 Grass	0.125	57.629	42.246	0
	建设用地 Built-up	0	99.923	0.077	0
海拔 Altitude	420~500 m	0.971	36.894	57.912	4.222
	500~600 m	0.020	29.820	67.883	2.277
	600~700 m	0.410	37.161	62.024	0.405
	700~800 m	1.828	62.637	35.533	0.003
	800~900 m	1.439	75.138	23.423	0
	>900 m	0.173	81.926	17.901	0
坡度 Slope	平坡 Gently sloping (0°~5°)	0.771	43.835	54.037	1.357
	缓坡 Moderately sloping (5°~15°)	0.296	32.695	64.877	2.133
	急坡 Strongly sloping (15°~25°)	0.077	17.601	79.688	2.634
	陡坡 Steep (25°~35°)	0	9.482	81.985	8.533
	极陡坡 Very steep (>35°)	0	1.255	85.714	13.031
坡向 Aspect	阴坡 Darkness aspect	0.803	59.071	40.116	0.010
	半阴坡 Semi-darkness aspect	0.482	43.301	55.248	0.969
	半阳坡 Semi-sunlight aspect	0.506	23.502	73.529	2.463
	阳坡 Sunlight aspect	0.354	14.805	80.315	4.526
居住区缓冲区 Settlement buffer	<500 m	0.015	13.589	62.823	23.574
	500~1000 m	1.026	26.252	61.852	10.870
	1000~1500 m	1.471	27.757	70.427	0.344
	>1500 m	0.548	40.450	58.989	0.014

范体系, 以有效预防和减少林火的发生.

#### 3.3 森林火险在不同林火影响因子上的分异

由表3可见, 极高火险区主要位于植被类型为针叶林、阔叶林和针阔混交林, 坡度为陡坡和极陡坡, 坡向为阳坡, 低海拔(<600 m)和接近居住区(<1000 m)的区域内; 高火险区主要位于植被类型为针叶林、苗圃、针阔混交林、荒草地与阔叶林, 坡度为极陡坡、陡坡和急坡, 坡向为阳坡和半阳坡, 低海拔(<700 m)和接近居住区(<1500 m)的区域内; 中火险区是植被类型为建设用地、沼泽、采伐迹地、阔叶林和荒草地, 坡度为平坡和缓坡, 坡向为阴坡和半阴坡, 高海拔(>700 m)和远离居住区(>1500 m)的区域; 低火险区是植被类型为采伐迹地、沼泽和荒草地, 坡度为平坡, 坡向为阴坡, 高海拔(>700 m)的区域.

#### 3.4 森林火险区划的可靠性较强

将研究区森林火险等级区划图与1987年实际火烧强度图对比研究发现(图3c), 两者可以较好的匹配, 等级完全匹配的区域占研究区总面积的60.21%, 基本匹配(相差一个等级)的区域占11.60%, 两项合占71.81%. 即通过本文模型预测的极高和高森林火险斑块大多数位于1987年实际火烧强度斑块内(图3), 说明本文的研究方法和森

林火灾区划图具有较高的可靠性, 可用来帮助森林管理者制定有效的林火预防措施。

#### 4 结 论

本文将遥感、GIS 技术应用于小尺度的森林火灾区划与森林防火工作中, 适应当今世界森林防火的发展趋势。研究结果表明, 无、低、中、高和极高火灾区分别占研究区的 0.37%、0.63%、38.67%、58.63% 和 1.70%; 森林火灾等级的地域分异明显, 中部高四周低, 在不同林火影响因子上的分异十分明显; 火灾区划的可靠性较强, 可为林业部门进行森林火灾管理提供有价值的参考。

遥感与 GIS 相结合能够快速准确地更新森林植被覆盖图, 并可提取多种森林资源基础信息, 生成不同林火影响因子专题图, 及时获得森林火灾动态变化情况, 全面提高森林经营者和管理者的森林防火水平。然而, 森林火灾区划只是对林火发生的潜在可能性进行评估与预测, 而林火的发生又具有很大的人为性, 故不可能预测出每一次林火的发生情况。另外, 限于数据资料的不完整, 本文对一些林火因子如气候因子未作分析, 会对评估结果产生一定的影响。

#### 参考文献

- Amparo AB, Oscar FR. 2003. An intelligent system for forest fire risk prediction and fire fighting management in Galicia. *Exp Syst Appl*, **25**(6): 545~554
- Chapman DM, Gao R-P(高瑞平). 1994. Management of forest fire in Australia and fire ecology. *Chin J Appl Ecol(应用生态学报)*, **5**(4): 409~414(in Chinese)
- Chuvieco E, Congalton RG. 1989. Application of remote sensing and geographic information system to forest fire hazard mapping. *Remote Sensing Environ*, **29**: 147~159
- Chuvieco E, Sales J. 1996. Mapping the spatial distribution of forest fire danger using GIS. *Int. J Geog Inform Syst*, **10**: 333~345
- Dong W(董武), Zhang Y-H(张远洪), Zhang Y-G(张玉贵), et al. 1994. Applied study on forest fire monitor and prediction based on remote sensing. *For Fire Prev(森林防火)*, **4**: 31~33(in Chinese)
- Emilio C, Russell GC. 1989. Application of remote sensing and geographic information system to forest fire hazard mapping. *Remote Sens Environ*, **2**: 147~159
- Fu Z-Q(傅泽强), Dai E-F(戴尔阜). 2001. Seasonal dynamic characteristics and climate condition analysis of forestry fire risk in Daxing'an Mountains. *J Nat Dis(自然灾害学报)*, **10**(4): 113~116(in Chinese)
- Gao C-H(高昌海), Yan Y-T(颜元庭), Gu X-F(顾香凤), et al. 1994. Forest fire risk zone mapping of Shibazhan Bureau. *For Sci Technol(林业科技)*, **19**(2): 33~34(in Chinese)
- Grishin AM, Filkov AI. 2003. A model of prediction of forest-fire hazard. *J Eng Phys Thermoph*, **76**(5): 321~325
- Guo P(郭平), Sun G(孙刚), Zhou D-W(周道玮), et al. 2001. Study on fire behavior in grassland. *Chin J Appl Ecol(应用生态学报)*, **12**(5): 746~748(in Chinese)
- Huang H-K(黄厚康), Lin J-S(林继生), Xiong Y-H(熊燕辉). 1995. An evaluation model for forest-fire risk in Guangdong Province. *J Trop Meteorol(热带气象学报)*, **11**(1): 66~72(in Chinese)
- IFFN. 2000. International forest fire news No. 23-December 25-41. <http://www.fire.uni-freiburg.de/iffn-online.htm>
- Jiang S-L(蒋少林), Yang J-Y(杨剑英), Fan J-S(范金绶), et al. 1995. A study of forest fire danger rating in Leshan city. *Sichuan For Sci Technol(四川林业科技)*, **16**(3): 12~17(in Chinese)
- Kong F-H(孔繁花), Li X-Z(李秀珍), Yin H-W(尹海伟), et al. 2004. Landscape change on burned blanks in Daxing'an Mountains. *J For Res*, **15**(1): 33~38
- Kong F-H(孔繁花), Li X-Z(李秀珍), Zhao S-L(赵善伦), et al. 2003. Research advance in forest restoration on the burned blanks. *J For Res*, **14**(2): 180~184
- Lazaros SI, Anastasios KP, Panagiotis DL. 2002. A computer system that classifies the prefectures of Greece in forest fire risk zones using fuzzy sets. *For Policy Econ*, (4): 43~54
- Li F-Q(李富强), Li Y-Y(李莹莹), Wang Y-L(王艳玲), et al. 1997. Study on forest-fire risk zone in Jilin Province. *Jilin For Sci Technol(吉林林业科技)*, (5): 20~25(in Chinese)
- Liu H-B(刘海波), Yuan J(袁靖), Yang R-K(杨汝康). 1995. A study on the climatic indices and zonal division of the forest-fire danger in Heilongjiang Province. *J Northeast Agric Univ(东北农业大学学报)*, **26**(1): 145~150(in Chinese)
- Mei A-X(梅安新), Peng W-L(彭望录), eds. 2001. An Introduction to Remote Sensing. Beijing: Higher Education Press. 38~45(in Chinese).
- Michael JJ, Michael BJ, Gloria F. 2002. Near-real time mapping of Keetch-byram drought index in the South Astern United States. *Inter J Wildfire*, **11**: 281~289
- Qian J-X(钱锦霞), Zhang H-T(张洪涛). 2001. Trying out 3D topographic model calculated fire warning class in dense forest region. *Shanxi Meteorol Quart(山西气象)*, (3): 11~13(in Chinese)
- Qu Y(屈宇), Li B-H(李保会). 2001. Present situation of research on forest fire danger grade classification. *Hebei J For Orchard Res(河北林果研究)*, **16**(4): 392~396(in Chinese)
- Rajeev KJ, Saumitra M, et al. 2002. Forest fire risk zone mapping from satellite imagery and GIS. *Inter J Appl Earth Observ Geoinform*, (4): 1~10
- Wang C-M(王春梅), Wang J-D(王金达), Liu J-S(刘景双), et al. 2003. Ecological risk assessment of forest resource in Northeast China. *Chin J Appl Ecol(应用生态学报)*, **14**(6): 863~866(in Chinese)
- William AT, Ilan V, Hans S, et al. 2000. Using forest fire hazard modeling in multiple use forest management planning. *For Ecol Man*, **134**(2): 163~176
- Xiao J-X(肖金香), Peng J-W(彭家武), Hu S-Z(胡松竹), et al. 2000. The division of the fire danger grades and the maps of forest fire occurrence in Lushan. *J Jiangxi Agric Univ(江西农业大学学报)*, **22**(4): 564~571(in Chinese)
- Yu C-G(于春光). 2003. How to prevent fire in the Great Hing'an Mountains with burned evidence every where. *The P. L. A. Daily*. Sept. 22, 2003. <http://www.china.org.cn/chinese/huanjing/408807.htm>(in Chinese)
- Zhang G(张贵), Liu F(刘峰), Yang Z-G(杨志高). 2003. Study of Guangzhou's forest fire hazardous areas based on RS and GIS. *J Cent South For Univ(中南林学院学报)*, **23**(4): 62~66(in Chinese)
- Zhang H-T(张洪涛), Zhu C-H(祝昌汉), Zhang S-Y(张尚印), et al. 2003. Simulation of forest fire grade distribution by using three dimensional air-soil coupling model. *J Nat Dis(自然灾害学报)*, **12**(1): 56~62(in Chinese)
- Zhang Y-T(张映堂), Huo Y-Q(霍义强). 1995. Forecast method of forest fire danger grade in the central area of Yunnan. *Sci Silvae Sin(林业科学)*, **31**(3): 239~246(in Chinese)
- Zheng H-Q(郑海青), Zhang C-G(张春桂), Chen J-J(陈家金), et al. 2003. Study on monitoring of forest fire ranks in Fujian using NOAA-AVHRR data. *J Fujian Coll For(福建林学院学报)*, **23**(2): 114~118(in Chinese)

作者简介 尹海伟, 男, 1978 年生, 博士生, 主要从事城市生态与 GIS 研究, 发表论文 6 篇。