

南方林区森林火险精准区划方法

徐爱俊¹, 黄小银², 姜广宇¹, 邵建龙³

(1. 浙江农林大学 信息工程学院, 浙江 临安 311300; 2. 浙江农林大学 环境与资源学院, 浙江 临安 311300; 3. 浙江省龙泉市林业局, 浙江 龙泉 323700)

摘要: 基于三维地理信息系统(3D GIS)技术, 根据南方集体林区森林火灾的特点, 以浙江省临安市为实验区, 将森林火灾因子分成社会经济、林学特征、气象特征等三大类 11 个指标, 并赋予相应的权重。在此基础上, 构建 3 个特征向量(社会经济特征向量、林学特征向量、气象特征向量), 建立了非线性数学模型——森林火险精准区划模型, 并利用最小二乘法等数学方法, 对模型进行了求解、优化与验证。结果表明: 实验值和理论值的误差均小于 0.1。该模型和实验区历史火灾发生情况基本吻合。图 1 表 5 参 13

关键词: 森林保护学; 森林防火; 火险区划; 精准区划模型; 最小二乘法; 地理信息系统

中图分类号: S762.2 文献标志码: A 文章编号: 2095-0756(2012)01-0065-07

Precision fire hazard divisions for collective forest in southern China

XU Ai-jun¹, HUANG Xiao-yin², JIANG Guang-yu¹, SHAO Jian-long³

(1. School of Information Engineering, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 2. School of Environmental and Resource Sciences, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 3. Forest Enterprise of Longquan City, Longquan 323700, Zhejiang, China)

Abstract: This paper focuses on how to build the model of precision fire hazard divisions in the level of forest forest resources subcompartment. Based on 3D GIS technology and characteristics of forest fires in collective forest of southern China, this study utilized Lin'an City, Zhejiang Province as the experimental area. Forest fire factors were divided into 11 indexes from the three categories (social and economic factors, forestry characteristics, and meteorological characteristics) and weighted for analysis. Next, three eigenvectors (one for each category) were created to build a nonlinear mathematical model called precision fire hazard divisions for forests. Then, the model was used to optimize and test forest fire hazard divisions with the least squares. Results showed that experimental and theoretical values of error were less than 0.1. Thus, in the experimental area this model and the fire occurrence history matched. [Ch, 1 fig. 5 tab. 13 ref.]

Key words: forest protection; forest fires; fire hazard divisions; precision classification model; least squares; geographic informatim system

森林火灾是当今世界发生面广, 危害性大, 时效性强, 处置救助极其困难的自然灾害之一。森林火灾不仅对生态环境和自然景观造成巨大破坏, 而且严重危及人民生命财产安全。中国是个森林火灾多发的国家, 森林火灾频繁发生, 因此, 如何对森林火险进行预测预报, 进而为林火的预防和指挥扑救提供决策支持, 是当前森林保护领域的一个热点问题之一^[1]。国内外有很多专家学者均开展了此方面的研究工作。XU 等^[2]利用 ARC/INFO 的地理信息系统软件进行火险区划的专题分析, 该森林火灾危险区划定根

收稿日期: 2011-02-26; 修回日期: 2011-06-02

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30972361); 浙江省自然科学基金资助项目(Y3100352, Y3090346); 浙江省大学生科技创新计划项目(2010R412051)

作者简介: 徐爱俊, 副教授, 博士, 从事资源与环境信息系统、森林资源信息管理等研究。E-mail: xujianlong@zjaf.edu.cn

据植被类型、坡度、地貌、高度、道路、农田和居民点等相关因素引发火灾的能力并对相应的类别分配主观权重。Esra等^[3]利用遥感影像与地理信息系统(GIS)技术制作森林火险分布图,该火险分布图充分考虑了不同类型的火灾诱发因子影响。Daniela等^[4]利用天气预报、遥感数据等在数据挖掘技术的支持下,来建立森林火灾预测模型,获得了较好的预测精度。Kalabokidis等^[5]利用GIS技术,综合天气信息、地理空间数据、火险高发区域等,来实现森林火险的自动预警。Khartoum^[6]建立了一个森林火险参数模型,该模型主要考虑4类数据:土地利用类型、森林资源、地形和气候,并建立了与实际森林火险相吻合的森林火险专题图。唐丽华等^[7-8]通过基于GIS的空间分析方法,对人为火源的危险程度和人为干扰的影响进行了分析与评价,并以火险等级区划图的形式进行了结果评价。覃先林等^[9]以火险指数为国家级森林火险等级预报的量化指标,实现了全国森林火险等级从定性描述到定量估测。祝必琴等^[10]依据庐山历史森林火灾特点,采用因子加权叠置法整合所有单因子专题图,生成综合区划图,并将研究区划分为特级、Ⅰ级、Ⅱ级3个森林火险区。森林火险精准区划方法是以火灾发生前火险等级预测为主要目的系统研究,所谓精准是相对于传统的以气象预报为主的大区域(乡镇以上行政区域)监测而言。本研究的火险区划精确至森林资源小班,并以南方集体林区为例,选择具有代表性的林区浙江省临安市为实验区域,在分析前人研究成果的基础上,结合该林区森林防火实际,确定导致森林火险发生的3类指标体系。在权重确定方面,采用专家评定法并结合实地区域因素方法确定各火险因子权重。同时,把静态数据和动态数据分别赋予相应的权重并结合到一起进行综合火险指数模型的计算,从而实现森林火险精准区划,并使得其区划范围精确至森林资源小班。

1 森林火险因子分析与提取定值

森林火险因子的选择是进行森林火险等级划分的基础工作,其合理性与否,直接影响森林火险等级划分的科学性和实用性。同时林火预报精度大小的关键,除了系统本身方法的科学性外,主要是看如何选择适当的森林火险因子^[11]。

本研究根据临安市2000-2005年历史火灾数据、有关参考文献和调查统计结果,选取三大类(一级指标)共11个火险因子(二级指标,火险因子的取值参见参考文献[12])^[7-8,12],火险因子的选取如表1所示。

表1 森林火险因子

Table 1 Forest fire hazard factors

一级指标	二级指标	三级指标
林学特征	林种	松木林,灌草地,灌林地,杉木林,针阔混交林,杉木-针阔混交林,木本果类,阔叶林,竹林
	林龄	幼龄林,过熟林,中龄林,近熟林,成熟林,其他
	郁闭度	[0, 0.2), [0.2, 0.4), [0.4, 0.7), ≥0.7
社会经济活动	上坟活动(离坟地距离)/m	[0, 5), [5, 20), [20, 50), [50, ∞)
	烧荒烧炭(离炭窑/农田距离)/m	[0, 5), [5, 20), [20, 50), [50, ∞)
	炼山造林	采伐迹地,荒地,其他
	林区道路(离道路距离)/m	[0, 2), [2, 10), [10, 20), [20, ∞)
气象特征	气温/℃	[25, ∞), [15, 25), [5, 15), (-∞, 5)
	温度/%	[0, 30), [30, 50), [50, 70), [70, 100)
	风速/(m·s ⁻¹)	[7, 10), [5, 7), [3, 5), [0, 3) [10, ∞)
	坡向	南坡,东南坡,西南坡,东坡,西坡,东北坡,西北坡,北坡

说明:“坡向”虽不属于气象特征,但只有和气象结合起来,才能导致森林火险,故归为气象特征。

2 森林火险等级模型的建立

2.1 实验区实际数据抽取与预处理

本研究从临安市2000-2005年发生的历次森林火灾中抽取了42次记录较为完整的数据作为实验数据。

先把直接导致森林火灾的三大类因子(林学特征、气象特征、社会经济活动), 分别抽象为 3 个向量 F , W 和 D 。然后把林学特征类(F)的 3 个指标和 1 个空因子(林种、林龄、郁闭度、0)分别抽象为(f_1 f_2 f_3 f_4), 则林学特征类: $F=(f_1 \ f_2 \ f_3 \ f_4)^{-}$; 把气象特征类(W)的 4 个指标(坡向、气温、湿度、风速)分别抽象为($w_1 \ w_2 \ w_3 \ w_4$), 则气象特征类: $W=(w_1 \ w_2 \ w_3 \ w_4)^{-}$; 把社会经济活动类(D)的 4 个指标(上坟、烧荒烧炭、炼山造林、林区道路)分别抽象为($d_1 \ d_2 \ d_3 \ d_4$), 则社会经济活动: $D=(d_1 \ d_2 \ d_3 \ d_4)^{-}$ 。最后根据火险因子定值的标准, 把历年的森林火灾记录的三大类指标因子预处理转化为由 3 个向量(F , W , D)。其中林学特征和气象特征中的坡向因子可以直接从森林资源数据和地形数据中获取, 对于历史火灾的森林火险取值, 结合火灾发生原因由专家打分给予量化。

2.2 森林火险精准区划模型的构建

通过对历史火灾数据进行分析, 发现: 实验数据中绝大部分森林火灾是由人为因素直接导致的, 即 D 向量, 这也符合南方林区的实际。所以把 D 向量作为主要因素, 来构建以下数学模型:

$$\begin{cases} Y=D'AD+BD+\omega & (\text{框架模型}) \\ A=F\times C+W\times H & (\text{子模型}) \end{cases} \quad (1)$$

式(1)中: Y 为森林火险取值, A , B , C , H 分别为系数矩阵, ω 为待定系数。

$$A = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{vmatrix}, \quad B=(b_1 \ b_2 \ b_3 \ b_4), \quad C=(c_1 \ c_2 \ c_3 \ c_4), \quad H=(h_1 \ h_2 \ h_3 \ h_4).$$

将子模型 $A=F\times C+W\times H$ 展开可得:

$$\begin{aligned} A &= \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{vmatrix} = \begin{pmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \\ f_4 \end{pmatrix} (c_1 \ c_2 \ c_3 \ c_4) + \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ w_4 \end{pmatrix} (h_1 \ h_2 \ h_3 \ h_4) \\ &= \begin{pmatrix} f_1 c_1 + w_1 h_1 & f_1 c_2 + w_1 h_2 & f_1 c_3 + w_1 h_3 & f_1 c_4 + w_1 h_4 \\ f_2 c_1 + w_2 h_1 & f_2 c_2 + w_2 h_2 & f_2 c_3 + w_2 h_3 & f_2 c_4 + w_2 h_4 \\ f_3 c_1 + w_3 h_1 & f_3 c_2 + w_3 h_2 & f_3 c_3 + w_3 h_3 & f_3 c_4 + w_3 h_4 \\ f_4 c_1 + w_4 h_1 & f_4 c_2 + w_4 h_2 & f_4 c_3 + w_4 h_3 & f_4 c_4 + w_4 h_4 \end{pmatrix}. \end{aligned} \quad (2)$$

再根据已知 $D=(d_1 \ d_2 \ d_3 \ d_4)^{-}$, $B=(d_1 \ d_2 \ d_3 \ d_4)$ 和上面展开的子模型可得:

$$\begin{aligned} Y &= \begin{pmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \\ d_4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} f_1 c_1 + w_1 h_1 & f_1 c_2 + w_1 h_2 & f_1 c_3 + w_1 h_3 & f_1 c_4 + w_1 h_4 \\ f_2 c_1 + w_2 h_1 & f_2 c_2 + w_2 h_2 & f_2 c_3 + w_2 h_3 & f_2 c_4 + w_2 h_4 \\ f_3 c_1 + w_3 h_1 & f_3 c_2 + w_3 h_2 & f_3 c_3 + w_3 h_3 & f_3 c_4 + w_3 h_4 \\ f_4 c_1 + w_4 h_1 & f_4 c_2 + w_4 h_2 & f_4 c_3 + w_4 h_3 & f_4 c_4 + w_4 h_4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \\ d_4 \end{pmatrix} \\ &\quad + (b_1 \ b_2 \ b_3 \ b_4)(d_1 \ d_2 \ d_3 \ d_4) + \omega. \end{aligned} \quad (3)$$

2.3 模型求解

森林火险精准区划模型求解可以转换为求解模型的待定参数(B , C , H , ω)。

在模型求解中, 数据拟合是经常采用的一种方法。本研究主要采用最小二乘曲线拟合以及相应的 MATLAB 方法进行求模型。

曲线拟合是指: 已知 n 个数据点(x_i , y_i), $i=1, 2, \dots, n$, 其中 x_i 不全相同, 寻求函数 $f(x; a_1, a_2, \dots, a_m)$ 的待定参数 a_1, a_2, \dots, a_m 的一组取值, 使得在这组取值之下, 函数 $f(x; a_1, a_2, \dots, a_m)$ 与已知 n 个数据点整体上最为接近^[13]。

首先求解框架模型，把模型化解为 $y=f(x; a_1, a_2, \dots, a_m)$:

$$y = \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ X_4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ X_4 \end{pmatrix} + (b_1 \ b_2 \ b_3 \ b_4) \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ X_4 \end{pmatrix} + \omega. \quad (4)$$

则， X 为社会经济活动向量 D , $(a_{11}, \dots, a_{44}, b_1, \dots, b_4, \omega)$ 为待定参数。

根据实验区历史火灾档案，代入 42 组历史火灾数据，根据最小二乘法，得到待定参数值：

$$A = [0.6596, 0, 0, 0; -0.3858, 0.3597, -0.5279, 0; -0.3421, 0, 0.3084, -0.1994; 0.0978, -0.1027, 0, 0.3051], B = [-0.0257, 0.3711, 0.4333, 0.1824], \omega = 0.2964.$$

把子模型化解为 $y=f(x; a_1, a_2, \dots, a_m)$, (a_1, a_2, \dots, a_m) 为待定参数的形式：

$$y = \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ X_4 \end{pmatrix} (c_1 \ c_2 \ c_3 \ c_4) + \begin{pmatrix} X_5 \\ X_6 \\ X_7 \\ X_8 \end{pmatrix} (h_1 \ h_2 \ h_3 \ h_4). \quad (5)$$

则： X_1, \dots, X_4 为林学特征向量， X_5, \dots, X_8 为气象特征向量， $(c_1, \dots, c_4, h_1, \dots, h_4)$ 为待定参数。根据前文得到的一组火险数据和整体模型求解得到的 A 可以得出以下实验数据表 2。

表 2 模型的解

Table 2 Solutions of the model

$X_{1-4} (f_{4 \times 1})$	$X_{5-8} (f_{4 \times 1})$	$Y(A_4^4)$
[0.87]	[0.85]	[0.6596 0 0 0]
0.85	0.81	-0.3858 0.3597 -0.5279 0
0.67	0.72	-0.3421 0 0.3084 -0.1994
0	0	0.0978 -0.1027 0 0.3051

根据最小二乘法，得到待定参数值：

$$C=(c_1 \ c_2 \ c_3 \ c_4)=(1.3190 \ 12.8409 \ 6.1544 \ 3.8957); \\ H=(h_1 \ h_2 \ h_3 \ h_4)=(1.2887 \ 17.055 \ 9.1137 \ 8.2739).$$

把以上所有待定参数值全部带入模型方程可以得出如下最终模型方程如下：

$$Y = \begin{pmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \\ d_4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1.319f_1+1.2887w_1 & 12.8409f_1+17.055w_1 & 6.1544f_1+9.1137w_1 & 3.8957f_1+8.2739w_1 \\ 1.319f_2+1.2887w_2 & 12.8409f_2+17.055w_2 & 6.1544f_2+9.1137w_2 & 3.8957f_2+8.2739w_2 \\ 1.319f_3+1.2887w_3 & 12.8409f_3+17.055w_3 & 6.1544f_3+9.1137w_3 & 3.8957f_3+8.2739w_3 \\ 1.319f_4+1.2887w_4 & 12.8409f_4+17.055w_4 & 6.1544f_4+9.1137w_4 & 3.8957f_4+8.2739w_4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \\ d_4 \end{pmatrix} \\ + (-0.0257 \ 0.3711 \ 0.4333 \ 0.1824) \begin{pmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \\ d_4 \end{pmatrix} + 0.2964. \quad (6)$$

3 森林火险精准区划模型的验证和优化

至此，已经求解出了森林火险等级精准区划模型，但是模型的准确性还有待验证。另提取实验区的实际火灾数据，并代入模型验证其准确性，然后把从模型中得到的实验值与实际值进行对比，同时根据对比结果进行模型优化(图 1)。

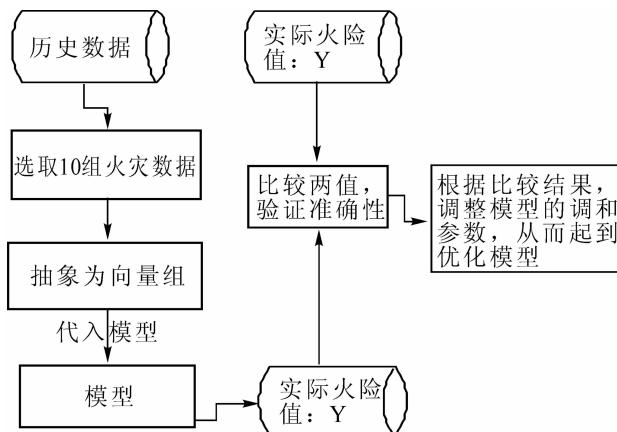


图1 森林火险精准区划模型验证优化流程图

Figure 1 Flowchart of validation and optimization with forest fire hazard precision divisions model

3.1 数据准备

随机抽取2000–2005年间临安市的10次火灾数据作为验证模型的数据, 转化为10组向量值如下表3所示。

表3 验证数据向量值

Table 3 Vector values of validation data

编号	着火日期	D	F	W	火险值(理论值)
1	2003-12-13	(0.8 0.3 0.1 0.2)	(1.00, 0.56, 0.14, 0)	(0.8, 0.4, 0.4, 0.4)	0.84
2	2004-12-21	(0.1 0.2 0.8 0.1)	(1.00, 1.00, 0.85, 0)	(0.8, 0.4, 0.4, 0.6)	0.79
3	2004-04-20	(0.1 0.2 0.1 0.8)	(0.72, 0.69, 0.14, 0)	(0.6, 0.4, 0.6, 0.4)	0.81
4	2005-04-05	(0.7 0.1 0.3 0.4)	(0.72, 0.56, 1.00, 0)	(0.8, 0.4, 0.6, 0.6)	0.78
5	2003-04-05	(0.8 0.1 0.2 0.1)	(0.72, 0.69, 0.14, 0)	(0.6, 0.4, 0.6, 0.4)	0.82
6	2000-04-05	(0.1 0.1 0.1 0.9)	(1.00, 0.56, 0.14, 0)	(0.8, 0.4, 0.6, 0.4)	0.83
7	2001-04-05	(0.2 0.3 0.8 0.4)	(0.72, 0.56, 1.00, 0)	(0.8, 0.4, 0.6, 0.4)	0.79
8	2001-04-05	(0.4 0.1 0.4 0.7)	(1.00, 0.56, 0.14, 0)	(0.6, 0.2, 0.6, 0.6)	0.74
9	2002-04-05	(0.2 0.3 0.3 0.8)	(0.72, 1.00, 0.85, 0)	(0.8, 0.4, 0.6, 0.4)	0.82
10	2005-04-05	(0.3 0.8 0.4 0.4)	(0.72, 0.69, 1.00, 0)	(0.4, 0.4, 0.6, 0.6)	0.85

3.2 森林火险等级精准区划模型的验证

把上面构建的10组数据带入式(6), 进行求解, 可以得出10组实验数据值(表4)。

把通过模型求得的实验值和理论值进行对比, 发现实验值和理论值总是存在一定的差距和偏差, 但偏差均较小, 所有误差均小于0.1, 比较接近实际值, 为了得到更加精确的模型, 则必须根据实验的实际情况对模型进行调整和优化, 根据验证结果对改正数 ω 进行优化。

3.3 森林火险等级精准区划模型的优化

在进行模型设计时加入了一个调和参数 ω , 可以根据实验的实际情况来重新设置该调和值, 从而起到优化模型的作用。首先计算出10组数据的理论值的平均值 P_{AVG_Theory} 和实验值的平均值 $P_{AVG_Reality}$, 然后取理论值和实验值的差值 $P_{Subtract}$: $P_{Subtract} = P_{AVG_Theory} - P_{AVG_Reality} = 0.812 - 0.803\ 05 = 0.008\ 95$ 。

表4 森林火险理论和实际值对比表

Table 4 Comparison of theoretical value and actual value in forest fire hazard

编号	火险值(理论值)	实验值
1	0.84	0.806 5
2	0.79	0.817 8
3	0.81	0.730 4
4	0.78	0.806 5
5	0.82	0.765 6
6	0.83	0.767 9
7	0.79	0.854 3
8	0.74	0.805 3
9	0.82	0.812 2
10	0.85	0.864 0

由差值 $P_{\text{Subtract}}=0.00895>0$, 所以得出的结论为实验值偏小, 把原来的 ω 加上 P_{Subtract} , 则: $\omega'=\omega+0.00895=0.2964+0.00895=0.30535$, 由此我们可以得出优化后的森林火险等级模型为:

$$y = \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \\ d_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1.319f_1 + 1.2887w_1 & 12.8409f_1 + 17.055w_1 & 6.1544f_1 + 9.1137w_1 & 3.8957f_1 + 8.2739w_1 \\ 1.319f_2 + 1.2887w_2 & 12.8409f_2 + 17.055w_2 & 6.1544f_2 + 9.1137w_2 & 3.8957f_2 + 8.2739w_2 \\ 1.319f_3 + 1.2887w_3 & 12.8409f_3 + 17.055w_3 & 6.1544f_3 + 9.1137w_3 & 3.8957f_3 + 8.2739w_3 \\ 1.319f_4 + 1.2887w_4 & 12.8409f_4 + 17.055w_4 & 6.1544f_4 + 9.1137w_4 & 3.8957f_4 + 8.2739w_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \\ d_4 \end{bmatrix} - \\ + (-0.0257 0.3711 0.4333 0.1824) \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \\ d_4 \end{bmatrix} + 0.30535.$$

4 森林火险等级精准区划模型实现

在上述森林火险精准区划方法的支持下, 以 ArcGIS, SQL Server 2000, C# 等工具软件为二次开发平台, 实现了森林火险精准区划软件系统。该系统以森林资源多源数据(地形图、DEM 数据、地面调查数据等)为基础, 结合实时气象与社会经济数据, 构筑森林火险精准区划模型, 区划范围精确至森林资源小班, 并在实验区得到了验证, 可以为森林防火管理与指挥决策提供科学依据(表 5)。

表 5 森林火险等级划分

Table 5 Grading of forest fire hazard

危险等级	Y 取值范围	危险程度	易燃程度	渲染颜色
1 级	[0, 0.2)	没有危险	不能燃烧	绿色
2 级	[0.2, 0.4)	低度危险	难以燃烧	蓝色
3 级	[0.4, 0.6)	中度危险	较易燃烧	黄色
4 级	[0.6, 0.8)	高度危险	容易燃烧	橙色
5 级	[0.8, 1]	极度危险	极易燃烧	红色

5 结论与建议

以中国较为典型的南方集体林区——浙江省临安市为例, 在现有相关研究的基础上, 结合临安市 2000–2005 年森林火灾数据, 研究森林火险因子与森林火险之间的关系, 并构建森林火险精准区划模型, 将森林火险预报的范围精确至森林资源小班。经验证, 该模型与临安市历史火灾发生情况基本吻合, 可为林业部门进行森林火灾管理提供有价值的参考。

目前, 森林火险等级精准区划建模算法还处于发展期, 理论基础和现实技术还不很完善。本研究虽然取得了一些成果, 但仍存在着一些不足, 如: 评定的森林火险等级精准区划是对林火发生的潜在可能性进行评估与预测, 而林火的发生具有很大的人为性和随机性, 故不可能预测出每一次林火的发生情况, 所以需要建立更加完善的模型以达到精准预报的效果。

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: 44–48.
- [2] XU Dong, DAI Limin, SHAO Gaofan, et al. Forest fire risk zone mapping from satellite images and GIS for Baihe Forestry Bureau, Jilin, China [J]. *J For Res*, 2005, **16** (3): 169–174.
- [3] ESRA E, VEDAT K, NEBIYE M. Forest fire risk zone mapping from satellite imagery and GIS a case study [G] // ORHAN ALTAN M. *Proceedings of the XXth ISPRS Congress*. Istanbul: Cenkler Matbaasi, 2004: 927–933.
- [4] DANIELA S, PANCE P, ANDREJ K, et al. *Learning to Predict Forest Fires with Different Data Mining Techniques* [EB/OL]. [2008-10-03]. <http://whitepapers.silicon.com/0,39024759,60443135p,00.htm>.

- [5] KALABOKIDIS K, GEORGE K, KARAVITIS C, *et al.* Automated fire and flood hazard protection system [G] // de la JUAN R, FERNANDO P-C, EMILIO C. *Proceedings of the 5th International Workshop on Remote Sensing and GIS Applications to Forest Fire Management: Fire Effects Assessment*. Zaragoza: Universidad de Zaragoza, 2005: 167 – 172.
- [6] EZZINE Hicham. *The Use of Geo-spatial Technologies for Forest Fire Risk Mapping* [EB/OL]. [2008-12-21]. <http://www.oosa.unvienna.org/pdf/sap/2004/sudan/presentations/02-01.pdf>.
- [7] 唐丽华, 方陆明, 郑文达, 等. 基于多指标类型的区域森林火险等级适应性评价方法[J]. 浙江林学院学报, 2007, 24 (5): 608 – 613.
TANG Lihua, FANG Luming, ZHENG Wenda, *et al.* Study on multi-index based adaptability evaluation method of regional forest fire danger rating [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2007, 24 (5): 608 – 613.
- [8] 唐丽华, 方陆明, 夏凯, 等. 基于 GIS 空间分析技术的人为干扰强度火险评价研究[J]. 浙江林业科技, 2007, 27 (4): 42 – 46.
TANG Lihua, FANG Luming, XIA Kai, *et al.* Forest fire rating system indicated by human activities based on spatial analysis of GIS [J]. *J Zhejiang For Sci Technol*, 2007, 27 (4): 42 – 46.
- [9] 覃先林, 张子辉, 李增元, 等. 国家级森林火险等级预报方法研究[J]. 遥感技术与应用, 2008, 23 (5): 500 – 504.
QIN Xianlin, ZHANG Zihui, LI Zengyuan, *et al.* Forecasting methodology of national-level forest fire risk rating [J]. *Remote Sens Technol Appl*, 2008, 23 (5): 500 – 504.
- [10] 祝必琴, 张丽霞, 彭家武, 等. 基于 RS 和 GIS 的庐山森林火险区划研究[J]. 江西农业大学学报, 2009, 31 (3): 441 – 447.
ZHU Biqin, ZHANG Lixia, PENG Jiawu, *et al.* A study of forest fire danger district division in Lushan Mountain based on RS and GIS [J]. *Acta Agric Univ Jiangxi*, 2009, 31 (3): 441 – 447.
- [11] 于成龙. 基于 GIS 和 RS 森林火险预测的研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2007.
YU Chenglong. *Study on Forest Fire Danger Forecasting Based on GIS and RS* [D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2007.
- [12] 唐丽华. 区域森林主要灾害与空间结构关系的适应性评价方法研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2006.
TANG Lihua. *Study on Adaptability Evaluation Method of Regional Forest Main Disasters and Forest Space Structure Relation* [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2006.
- [13] 代冬岩. 最小二乘曲线拟合及其 MATLAB 实现[J]. 黑龙江科技信息, 2009 (21): 36 – 37.
DAI Dongyan. Actualizing least-squares curve-fitting based on Matlab [J]. *Heilongjiang Sci Technol Inf*, 2009 (21): 36 – 37.