

文章编号: 1000-5692(2007)05-0608-06

基于多指标类型的区域森林火险等级适应性评价方法

唐丽华^{1,2}, 方陆明², 郑文达³, 陈培金²

(1. 北京林业大学 信息学院, 北京 100083; 2. 浙江林学院 信息工程学院, 浙江 临安 311300; 3. 浙江省临安市林业局, 浙江 临安 311300)

摘要: 森林火险等级评价是当前所有林火管理系统的基础。由于评价尺度与评价区域的环境与目标的不同, 区域森林火险等级评价的指标体系、指标权重与指标量化值都不尽相同。提出以指标体系的动态生成框架为技术支撑的基于多指标类型的区域森林火险等级适应性评价方法, 阐述了指标体系的动态生成过程以及指标权重、指标度量的确定, 构建了不同区域森林火险评价通用模型, 并进行了实地验证。图 1 表 2 参 22

关键词: 森林保护学; 区域森林火险; 适应性评价; 动态生成; 通用模型

中图分类号: S762.3 **文献标志码:** A

当前, 一些有林国家已根据本国的森林类型与林火环境研制出很多森林火险等级系统并实际应用^[1-4], 著名的有日本的实效湿度法^[5]、瑞典的 Angstrom 指标法、法国的土壤湿度法和干旱指数法^[6]、澳大利亚的草地和森林火险尺^[7]、美国国家火险等级预报系统^[8]和加拿大的火险等级预报系统^[9]等, 但还没有一个系统能实现完全的通用。我国以省域^[10-13]或以县域^[14-16]为单元进行森林火险预报都是基于主要的气象因素, 而事实上影响森林火险等级的因素是多方面的。除气象因素外还有可燃物类型、地形地貌和火源条件等因素, 因此, 单纯依据气象因素必然增强了部分区域的火险等级, 同时弱化了部分区域的火险等级, 森林火灾预防的针对性明显存在不足。如何根据不同条件和需要, 利用已有森林资源调查数据, 建立火险预报模型, 进行实时、精准的森林火险等级评价, 是当前森林火险预报中亟待解决的问题。

1 区域森林火险适应性评价方法的提出

区域森林火险评价, 指当地、当时环境现状下, 区域森林资源发生火灾危险性状况的描述, 是对区域内的自然环境、森林资源及社会经济三者综合导致林火状态进行分析与评价的过程。森林的燃烧是可燃物类型、火环境和火源条件综合作用的复合体, 是火行为三要素统一综合作用的结果, 因此区域森林火险评价指标必须从这 3 个方面进行分解与综合。由于火险评价的尺度、林火承载体的类型、火环境和火灾发生起因的不一致, 已有的一些森林火险评价(预测预报)模型的评价指标既不统一也不完善, 其中大部分是主要利用部分气象因子来进行预报, 还没有一个评价模型能够适合不同的环境或不同的区域。要使建立的指标体系有实际应用意义和适合不同的区域, 实际评价中的指标体系不应固定不变, 而应随区域与时间变化可作相应的调整, 并对决策者的不同需求给出有针对性的结论。因

收稿日期: 2007-05-08; 修回日期: 2007-06-01

基金项目: 浙江省科学技术重大项目(2006C12109); 浙江省科学技术重点项目(2005C23061)

作者简介: 唐丽华, 讲师, 博士, 从事 3S 技术在林业信息化中的应用研究, E-mail: lihuatang@zjfc.edu.cn

此, 必须设计并建立一个能动态生成指标体系结构的框架与技术平台, 即适应性评价方法。文章以指标体系的动态生成、评价方法与评价模型的动态选择、评价指标值的自动计算来适应环境的变化, 以评价结果的多元化来适应管理者的需求。适应性体现在 2 个方面: ①评价技术平台的环境适应性, 包括评价指标体系的动态生成, 评价方法与评价模型的动态选择, 评价指标值的自动计算; ②评价内容的管理适应性, 包括单指标评价、专题评价、综合评价和动态评价。

2 指标体系的动态生成

森林火灾的发生主要是由于人为火源引起的。这些引发林火的人为火源跟人的生活空间、生产作业空间及人文经济发展空间息息相关, 以小班信息与地理空间分布信息结合分析, 完全可以使森林火灾的预防管理精确到每片林分的山头地块, 实现精准的林火预防。

以递阶层次结构^[17, 18]和选择法^[18, 19]来进行指标体系的动态构建。递阶层次结构对指标体系中的所有指标分成 2 类。第 1 类为基础指标, 指指标体系中的最底层指标, 所有的最底层指标都存储在原始基础指标表和自定义指标表中, 如森林资源中的地类、林种、树种组成、林龄、龄级和郁闭度等指标; 第 2 类为中间指标, 由目标层与中间层的指标组成, 它们没有确定的指标量化值, 都是由基础指标值通过一定的算法模型计算而得。

指标的选择建立在决策专家已经制定好的指标体系基础上。在框架中进行体系生成的实现方法, 分 2 步进行: 第 1 步基础指标的查询或定义与存储, 首先在原始指标库中查找指标体系中已存储的基础指标, 然后对没有找到的基础指标进行指标的自定义, 也可以不用原始指标库而直接全部重新定义。第 2 步建立指标体系的层次结构, 其中目标层名称就是指标体系名, 中间层各指标名称按照定好的指标体系进行相应的取名, 最底层直接从原始指标库和自定义指标表中选取, 用户不能自动命名和定义。这样, 既可以保证指标体系的严格性(确保每一个指标都来源于现有的指标), 又能保证指标体系的灵活性。

根据指标选择的原则和依据, 综合当地当时的自然、社会和经济状况, 分析森林火灾的各个要素, 对各种因子进行辨识, 从中选取最能代表和反映区域火险特性的具体指标, 揭示其变化特征, 建立评价指标体系。图 1 中所示的指标体系, 是在对浙江省历年森林火灾进行实际调查、数据收集及整理分析的基础上, 结合森林火灾的特性、起因、发生和发展等相关理论与文献在指标体系动态生成框架中自动生成流程。

3 指标体系的权重确定

在确定森林火险等级评价指标体系和评价指标值的基础上, 需要对区域森林火险等级得出全面的整体性的评价, 这就要把反映灾害系统的各方面的指标综合。由于反映系统各个侧面的各指标的不平衡性, 有的指标在综合水平中的作用大, 有的则小, 需要赋权处理。各指标权重的大小直接影响到森林火险综合评价的高低, 从而影响到对森林火灾危险性状况的评估。因此, 选择合适的评价指标的赋权方法, 并科学地确定各指标的权重在综合评价中是非常重要的。本指标体系主要以改进的层次分析法^[20, 22]进行指标权重的确定。过程如下: 专家通过改进的层次分析法的权重计算模块界面进行各层指标的重要性打分, 程序自动进行判断矩阵的构建并求出该矩阵的最大特征值 λ_{\max} 的归一化特征向量 w , 即为权向量, 与各指标对应的值即为该指标在上一层指标中所占的权重, 组合权重即为各组合指标的权重乘积。计算案例结果如表 1 所示。

4 指标度量确定

4.1 指标性质分类

区域森林主要灾害评价指标从性质上来分可分为空间指标和非空间指标。空间指标是指与空间结构有直接关系的指标, 如分布在村庄附近的农田与分布在林地边缘的农地对森林火灾的危害程度就不一样, 又如人为活动对森林灾害的影响不是均匀地加在所有的有林地上, 而是根据人的可及度而影响

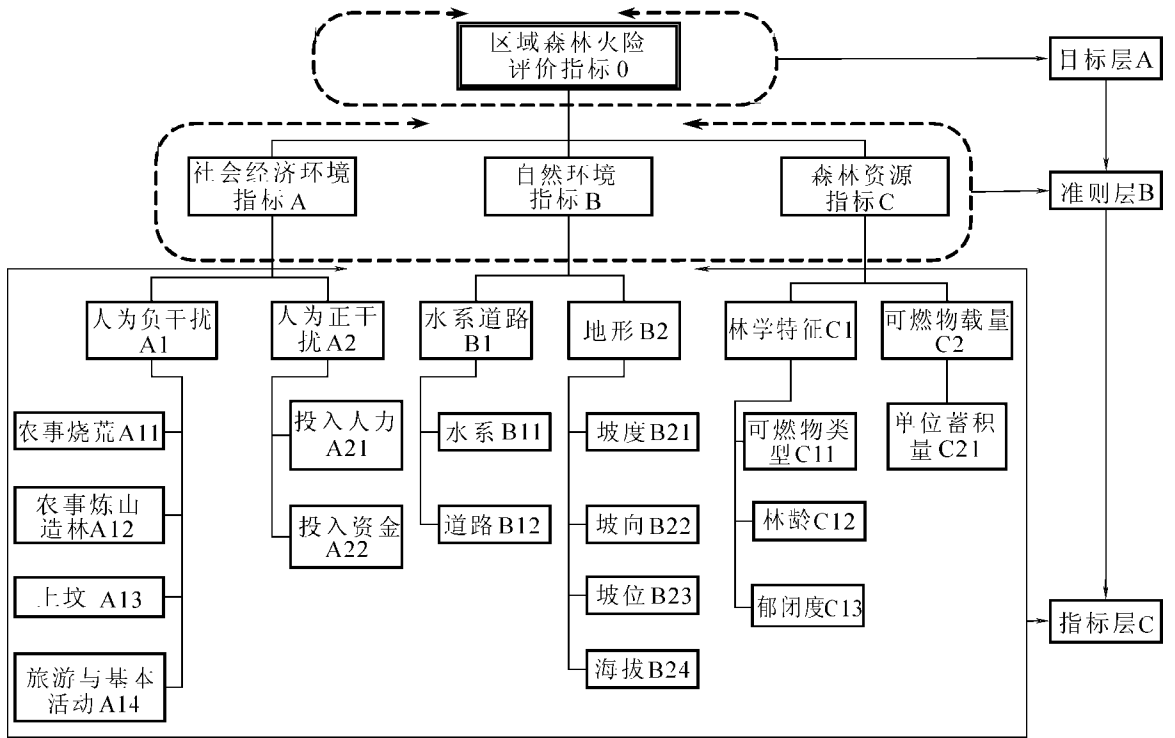


图1 区域森林火险评价指标体系

Figure 1 The system of indices classify of regional forest fire danger rating

程度不同。这些指标必须以空间分析技术为支持，对它们进行指标值的确定。非空间指标包括定性指标与定量指标，这是传统意义上的指标分类。定性指标是反映人们主观认识差异和变化的指标，又称主观指标或软指标。这些指标的差异和变化的内涵与外延不是很明确，其概念具有模糊性。定量指标即可量化指标，它可以通过一定的技术测量手段确定其量值。各定量指标的计量单位一般各不相同，不具有可比性，要通过一定的数值变换来消除指标间的量纲影响，即无量纲化处理。

表1 森林火险指标体系权重表

Table 1 Weight of indicator system of forest fire danger rating

目标层	准则层		指标层				权重				
	第一评价层	层内权重	第1层指标	层内权重	第2层指标	层内权重					
区域森林火险评价指标体系0	社会经济环境 (火源因子) A	0.360	人为负干扰 A1	0.573	农事烧荒 A11	0.242	0.06				
					农事炼山造林 A12	0.211	0.06				
					上坟 A13	0.250	0.05				
					旅游与基本活动 A14	0.297	0.04				
			人为正干扰 A2	0.427	投入人力 A21	0.507	0.08				
					投入资金 A22	0.494	0.08				
	自然环境类 (火环境)指标 B	0.298	水系道路 B1	0.488	水系 B11	0.500	0.07				
					道路 B12	0.500	0.07				
			地形 B2	0.512	坡度 B21	0.272	0.04				
					坡向 B22	0.253	0.04				
					坡位 B23	0.253	0.04				
					海拔 B24	0.222	0.03				
					森林资源类 (可燃物)指标 C	0.342	林学特征 C1	0.580	可燃物类型 C11	0.380	0.08
									林龄 C12	0.315	0.06
郁闭度 C13	0.306	0.06									
可燃物载量 C2	0.420	蓄积量 C21	1.000	0.14							

4.2 指标量化

对于森林火险评价指标体系, 大多数指标都是定性指标, 少数为定量指标。由于大部分指标的非连续性, 本评价体系采用等级论域的方法, 将指标取值范围按评语等级划分几个等级, 每个等级对应一个分值范围。设指标的取值范围 $[a_1, a_2]$, 若分为 n 个等级, 则各等级的划分与实际意义如表 2 所示。

对于定性指标, 可用专家直接打分法确定分值, 也可用定性指标属性值的分类, 再进行分类属性的指标值确定; 对于定量指标, 通过确定相应于各评语等级的临界值来进行指标属性值的分类, 再确定指标值的确定。

表 2 评价等级划分表

Table 2 The partition of evaluation grades

危险等级	取值范围	危险程度	实际指导意义
第 I 级	$[a_1, m_1]$	基本无危险	危险不易发生
第 II 级	$[m_1, m_2]$	轻度危险	危险很少发生, 稍注意
第 i 级	$[m_{i-1}, m_i]$	中度危险	危险较容易发生, 做好宣传和防范
……	……	……	……
第 $n-1$ 级	$[m_{n-1}, m_n]$	高度危险	危险容易发生, 加强宣传和防范, 做好预备工作
第 n 级	$[m_n, a_2]$	极度危险	危险随时可能发生, 最高警备

因涉及到很多定性的数据, 文章先确定危险等级范围, 再对单个指标直接通过查阅已有的文献资料、专家经验和现有的调查数据在范围中进行取值。对于在现有的历史火灾数据中有值的, 主要以各指标的属性值对应火灾发生频度和所占的面积来进行分析。计算通式如下: ①确定指标的各属性值, 记为 n_i ($i=1, 2, \dots, n$), 表示该指标共有 n 个属性值, 如确定林龄分: 幼龄林(n_1)、中龄林(n_2)、近熟林(n_3)、成熟林(n_4)和过熟林(n_5)共 5 种($n=5$)属性进行统计。②统计各属性值的火灾发生频度, 记为 m_i ($i=1, 2, \dots, m$)。③根据各属性值所占的总面积 S_i 总($i=1, 2, \dots, n$)求出单位面积下各属性值发生火灾的次数, 记为 $\lambda_i = m_i / S_i$ 总。④令火灾发生次数最多的火灾危险程度最强, 若指标值的取值范围为 $(0, 1)$, 则值为 $\eta_{\max} = 1$, 其他依次类推。记为 $\eta_i = \lambda_i / \lambda_{\max}$ 。⑤根据其他资料文献与实践经验进行适当的调整。

5 评价模型确定

5.1 单因子评价

单因子评价是以小班为评价单位。根据单个指标进行火险分级, 并结合地理信息系统(GIS)数据以图文并茂的专题图形式输出, 其评价模型为 $Y_i = D_i$, 其中: Y_i 为第 i 个因子的评价值, D_i 为第 i 个指标量化值。

5.2 基于稳定性因子的综合评价

综合评价包括第一指标层的综合、准则层的综合和目标层的综合。评价不是为得结果而评价, 其最终的目的是为决策者提供服务。根据决策目标的不同, 决策者对指标的考虑有其动态性, 如为了调整森林资源分布来提高对森林火灾的抗火能力, 决策者此时最想知道的是森林资源本身的抗火性综合评价, 即第一指标层的综合评价, 也可能最想知道的是可燃物类型的抗火性评价。综合评价以加法合成评价法来进行。

人为负干扰: $Y_{A1} = W_{A11}D_{A11} + W_{A12}D_{A12} + W_{A13}D_{A13} + W_{A14}D_{A14}$, 人为正干扰: $Y_{A2} = W_{A21}D_{A21} + W_{A22}D_{A22}$ 。则, 社会经济环境(A)类: $Y_A = W_{A1}Y_{A1} + W_{A2}Y_{A2}$ 。

水系道路: $Y_{B1} = W_{B11}D_{B11} + W_{B12}D_{B12}$ 。地形: $Y_{B2} = W_{B21}D_{B21} + W_{B22}D_{B22} + W_{B23}D_{B23} + W_{B24}D_{B24}$ 。则, 自然环境(B)类: $Y_B = W_{B1}Y_{B1} + W_{B2}Y_{B2}$ 。

林学特征: $Y_{C1} = W_{C11}D_{C11} + W_{C12}D_{C12} + W_{C13}D_{C13}$, 可燃物载量: $Y_{C2} = D_{C21}$ 。则, 森林资源(C)类: $Y_C = W_{C1}Y_{C1} + W_{C2}Y_{C2}$ 。

因此,综合评价: $Y = W_A Y_A + W_B Y_B + W_C Y_C$ 。其中: Y_i 为第 i 类指标综合评价价值; n 为第 i 类指标中包含的下一层指标的个数基础指标的个数 W_i 为对应指标的权重; D_i 为对应指标的评价价值。

5.3 专题评价

在森林火灾的人类干扰因子中,农事活动、上坟和旅游是有一定的时间规律的。为了对这些规律性事件能在事发前进行预测监督,本方法进行了各种人为活动的火险等级专题输出。这样决策管理者可以根据不同的专题进行防火指挥管理,提高实效。专题可分为:农事活动火险分布专题,上坟火险分布专题和旅游旺季火险分布专题等。

5.4 动态评价

动态评价是评价指标中稳定指标与不稳定指标评价的动态综合。基于动态因子的评价可借鉴国家或省级的天气火险等级预报模型,得到防火期每日的火险天气危险等级预报,再结合已得到的综合评价结果用乘法合成评价法进行综合,得到每日总火险等级图。把单纯气象因子预报再进行扩充,更有

依据,预防更有针对性。评价模型为: $y = \left[\prod_{i=1}^p X_i^{w_i} \right]^{\sum w_i}$ 。其中: y 为各小班的森林火险总评价价值,

x_i 表示第 i 个无量纲的指标评价价值, w_i 表示第 i 个指标的权重, p 表示指标的个数(此处 $p=2$)。

评价指标权重根据防火专家经验采用直接赋权法得到,各为 0.5。由于 2 个指标存在数量级上的差异,必须进行无量纲化处理。因只要对天气火险值进行无量纲化处理,采用相对化处理法进行,即:火险天气指标值=实际指标值/区域最高天气火险值。

6 结论与讨论

在浙江省临安市於潜镇进行了实验性验证,选取了三大类 16 种指标,建立了评价指标体系(图 1),并进行评价。指标量化数据依据来源于 2005 年的二类调查数据。评价结果认为,有林地面积的 5% 为 IV 级火险等级区,需要采取严格防火措施; 13% 为 III 级火险等级区,需要适当加强防范; 50% 为 II 级火险等级区; 32% 为 I 级火险等级区防范措施。

为了满足不同时空条件和不同需要,文章提出了区域森林火险等级预报的适应性评价方法。试验证明,在一定条件下,本方法可以应用于实践,使森林火险等级预报更全面、精确、灵活,从而使森林资源管理更加科学和合理。需要指出的是笔者的评价模型的评价基本单元是以小班为单位的,在同类评价单元的综合问题上还有待进一步的探索。

参考文献:

- [1] TAYLOR S W, ALEXANDER E A. Science, technology, and human factors in fire danger rating: the Canadian experience [J]. *In J Wildl Fire*, 2006 (15): 121-135.
- [2] LIN C C. The development, systems and evaluation of forest fire danger rating: a review [J]. *Taiwan J For Sci*, 2000, 15: 507-520.
- [3] DUDLEY M. Current methods to assess fire danger potential [M] // CHUVIECO E. *Wildland Fire Danger Estimation and Mapping—the Role of Remote Sensing Data*. Alcalá: University of Alcalá, 2004.
- [4] ALEXANDER M E. Technology transfer and wildland fire management/ Research [J]. *Fire Manage Today*, 2003, 63 (2): 41-42.
- [5] 舒立福, 张小罗, 戴兴安, 等. 林火研究综述(III)——林火预测预报[J]. *世界林业研究*, 2003, 16 (4): 34-37.
- [6] 田晓瑞, 舒立福, 王明玉, 等. 利用 Keetch-Byram 干旱指数预测森林火险[J]. *火灾科学*, 2003, 12 (3): 151-155.
- [7] LUKE R H, MCARTHUR A G. *Bushfires in Australia* [M]. Canberra: Australian Government Publishing Service, 1978.
- [8] DEEMING J E, BURGAN R E, COHEN J D. The national fire-danger rating system-1978 [M] // USDA Forest Service. *Intemountain Forest and Range Experiment Station General Technical Report INT-39*. Washington D C: USDA Forest Service, 1978.
- [9] STOCKS B J, LAWSON B D, ALEXANDER M E, et al. The canadian forest fire danger rating system and overview [J]. *For*

Chron, 1989, **65**: 450—457.

- [10] 李土生, 杨幼平, 贾伟江, 等. 浙江省森林防火地理信息指挥系统的设计与开发[J]. 浙江林学院学报, 2002, **19** (3): 273—276.
- [11] 徐爱俊, 李清泉, 方陆明, 等. 基于 GIS 的森林火灾预报预测模型的研究与探讨[J]. 浙江林学院学报 2003, **20** (3): 285—28.
- [12] 黄厚康, 林继生, 熊燕辉. 广东省森林火险等级的评价模式[J]. 热带气象学报, 1995, **11** (1): 66—72.
- [13] 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.
- [14] 王建林. 永安市森林火险等级区划研究[J]. 福建林业科技, 2001, **28** (2): 63—64, 73.
- [15] 杨柏梅, 徐元. 宁波市森林火险等级预报系统[J]. 浙江气象科技, 1997, **17** (4): 43—46.
- [16] 袁应泽. 南郑县森林火险区划及森林火险等级预报[J]. 陕西气象, 1998 (3): 25—27.
- [17] 董玉成, 陈义华, 王双. 递阶层次结构决策指标体系构建算法及应用[J]. 控制与决策, 2005, **20** (4): 403—407.
- [18] 王莲芬, 许树柏. 层次分析法引论[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 1990.
- [19] 郭正刚, 程国栋, 吴秉礼, 等. 甘肃白龙江林区森林资源可持续发展力的评价[J]. 应用生态学报, 2003, **14** (9): 1 433—1 437.
- [20] 马阿滨, 王伟英, 孙宝刚. 黑龙江森工林区可持续发展指标体系与评价研究[J]. 林业科学, 2004, **40** (2): 68—74.
- [21] 郑焕成, 许树柏, 和金生. 层次分析法——一种简易的新决策方法[M]. 北京: 科学出版社, 1986.
- [22] 夏文汇. 改进标度 AHP 在企业物资供应管理中的应用[J]. 物流技术, 1996 (5): 3—7.

Study on multi-index based adaptability evaluation method of regional forest fire danger rating

TANG Li-hua^{1,2}, FANG Lu-ming², ZHENG Wen-da³, CHEN Pei-jin²

(1. School of Information, Beijing Forestry University, Beijing 100083, Beijing, China; 2. School of Information Engineering, Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 3. Forest Enterprise of Lin'an City, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

Abstract: Forest fire danger rating schemes underlie all contemporary fire management systems. Because of the difference of evaluated regional scale's environment and objectives, the index system, weigh and quantitative values are all different in the various areas. This paper described the design of index system dynamically generated framework based on multi indexes, studied the dynamic process of the index system, established a method to calculate index weigh and index value. The paper also constructed the general model of the different regional forest fire danger rating evaluation and verified in lab region. [Ch, 1 fig. 2 tab. 22 ref.]

Key words: forest protection; regional forest fire danger rating; adaptability evaluation; dynamic generation; general model