

庞菲菲,刘畅,冯蕾,等. 西安市森林火险特征分析与等级预报算法改进 [J]. 陕西气象, 2023(6): 64-69.

文章编号: 1006-4354(2023)06-0064-06

西安市森林火险特征分析与等级预报算法改进

庞菲菲^{1,2}, 刘畅¹, 冯蕾³, 王珊¹, 任丹阳¹, 高雅黎¹

(1. 西安市气象局, 西安 710016;

2. 陕西省气象局秦岭和黄土高原生态环境气象重点实验室, 西安 710016;

3. 陕西省气象台, 西安 710014)

摘要: 利用 2014—2021 年西安市逐日气象要素和同期的森林火灾资料, 对西安市森林火灾特征进行分析; 并针对实际情况, 将地理特征、人类活动区域、坡度、下垫面可燃物类型、海拔等引入到西安市森林火险等级预报模型中, 改进森林火灾气象等级预报算法, 提出了西安市森林火险风险综合预报模型。改进后的算法在预测精度和准确度方面均得到提升, 同时该模型的预测结果比西安市森林火险气象等级预报模型明显提高, 以超过 3 级为森林火灾危险性预警标准时, 可以覆盖约 65% 的火灾, 比改进前提高了 25%。本研究对森林火灾的预防和控制具有一定的参考价值。

关键词: 气象; 森林火险; 西安林区; 预报模型

中图分类号: S762.2

文献标识码: A

据第 9 次全国森林资源清查统计, 全国森林覆盖率达到 22.96%, 森林面积居世界第 5 位^[1]。森林火险预报可为预防森林火灾提供重要的技术支持。国内外对森林火灾预报开展了大量的研究, 加拿大、澳大利亚、美国、俄罗斯等都已适合本国国情的森林火险预测系统^[2]。我国的森林火险预报最初是基于欧美的预报模型, 结合国情本地化应用。国内研究火险预报的方法有风速修正综合指数法、双指标法、801 火险尺法等^[3]。尽管存在大量的森林火险预测方法, 但其通用性仍然显得不足。同时, 由于森林火灾自身随机、突发和复杂等因素, 其演变过程中或许受到一些未知规律的限制。因此, 所有火险预测系统的构建, 都必须基于特定的假设, 且它们的理论基础各具差异^[4]。近年来, 国内森林火险气象等级预报工作迅速发展, 形成众多的研究成果^[5]。从 2014 年起, 西安市气象局与西安市林业局合作开展森林火险气象等级预报, 建成了西安市森林火险气象

等级预报模型, 其预报产品在西安市森林防火工作应用中取得了较好的效果。但该预报模型存在空间分区不够精细等问题。选取西安市 2014—2021 年森林火灾资料, 对森林火灾的时空分布特征进行了统计和分析, 引入地理信息系统, 将人类活动区域、坡度、海拔等因素作为影响因子, 改进现有模型算法, 形成西安市森林火险风险综合预报模型。

1 资料和方法

1.1 研究区域和资料

以西安市林区作为研究对象, 林区涵盖灞桥区、临潼区、长安区、鄠邑区、周至县、蓝田县等 6 区县。火灾资料和气象资料为 2014—2021 年的逐日数据。森林火灾数据来源于西安市林业局, 包括起火时间和结束时间、起火地点和经纬度。日火灾次数是统计西安市所有区县每日火灾次数的合计值; 月火灾次数为每月的日火灾次数总和; 年火灾次数为月火灾次数的总和。根据历史火点的经纬度, 选择距离历史火点最近的气象监测站

收稿日期: 2023-03-17

作者简介: 庞菲菲(1988—), 女, 陕西西安人, 汉族, 学士, 工程师, 从事应用气象研究工作。

基金项目: 陕西省气象局秦岭和黄土高原生态环境气象重点实验室开放基金课题(2019Y-8)

的日平均风速、日最高气温、日平均相对湿度、连续无降水日作为气象基础数据,气象数据和自动站站点分布数据均来源于西安市气象局。林区海拔高度,坡度数据均来自地理空间数据云(<https://www.gscloud.cn/>),采用 ArcGIS10.2 对获取的 30 m 空间分辨率的数字高程数据进行剪裁,把海拔高度与坡度分成五级^[6]。植被类型和人类活动的数据来自全国地理信息资源目录服务系统 (<https://www.webmap.cn/main.do?method=index>),采用 ArcGIS10.2 裁剪中国地表覆盖数据与西安市边界数据,获取了 30 m 分辨率地表覆盖图。

1.2 研究方法

1.2.1 西安市森林火险气象等级预报模型

西安市森林火险等级预报模型(以下简称为模型一)是利用日平均风速、日最高气温,日平均相对湿度、连续无降水日等气象资料,建立的森林火险气象指数(I_{FFDI})的算法模型,该指数由中国气象局公共气象服务中心组织编制^[7],其计算方法如下。

$$I_{FFDI} = UC_r C_s, \quad (1)$$

其中, C_r 为降水修正系数,当 24 h 降水量 ≥ 1 mm 时, $C_r = 0$;当 24 h 降水量 < 1 mm 时, $C_r = 1$ 。 C_s 为积雪修正系数,当 24 h 雪深 > 0 cm 时, $C_s = 0$;当 24 h 雪深 $= 0$ cm 时, $C_s = 1$ 。 U 为森林火险气象指数的函数方程,其具体计算公式如下。

$$U = f(V) + f(T) + f(r_{RH}) + f(M), \quad (2)$$

其中, V 为 14 时平均风速(m/s), T 为 14 时气温($^{\circ}\text{C}$), r_{RH} 为 14 时相对湿度(%), M 为综合气象干旱等级分别为无旱、轻旱及以上时的连续无降水日数(d)。依据各气象因子的区间范围,按照森林火险气象因子及其函数值查对表^[8]中查找的对应值,得到 $f(V)$ 、 $f(T)$ 、 $f(r_{RH})$ 、 $f(M)$ 。

研究区域属于《森林火险气象等级》GB/T 36743—2018 中定义的 B 区(西北地区),因此将公式(1)所计算出的森林火险气象指数按照表 1 进行等级划分,从而得出所研究地区的森林火险气象等级预报结果^[8]。

1.2.2 西安市森林火险风险综合预报模型

西安市森林火险风险综合预报模型(以下简称为模型二)是在模型一的基础上,考虑到地理环境和人

表 1 西安市森林火险气象等级划分

级别	火险等级	森林火险气象指数/%
1 级	低火险	[4,46)
2 级	较低火险	[46,58)
3 级	较高火险	[58,70)
4 级	高火险	[70,73)
5 级	极高火险	[73,100)

为因素的影响,融入人类活动区域、坡度、下垫面可燃物类型、海拔等因素。为此本研究在郑忠等^[9]研究的基础上,对模型一进行了改进,建立模型二,依据森林火灾综合火险指数(I_{FFCDI})进行森林火灾的风险评估,具体计算公式如下。

$$I_{FFCDI} = I_{FFDI} C_a C_b C_c C_d C_e K, \quad (3)$$

式中: C_a 表示坡度系数, C_b 表示可燃物系数, C_c 表示海拔高度, C_d 表示居民点系数, C_e 表示道路点系数, K 表示森林火险气象等级阈值修正系数(K 为 0.612)。

对 C_a 、 C_b 、 C_c 、 C_d 、 C_e 等模型系数的取值,研究参照《森林火险气象等级》行业标准(QX /T 77—2007)中不同因子火情严重程度的确定方法^[10],利用历史火点数据计算各因子在不同区间内森林火灾发生的条件概率

$$P_i = F_i / Y_i, \quad (4)$$

$$C_i = P_i / P_{\min}. \quad (5)$$

式中, F_i 为某因子在某区间内火情出现的次数(如:地形中坡度为 $0^{\circ} \sim 5^{\circ}$ 区间内发生的火灾分别出现在 4 月 3、9、25 日,3 d 的火情分别为 1、3、4 次,则对应 $0^{\circ} \sim 5^{\circ}$ 区间的火情次数合计为 8 次); Y_i 为某因子在某区间内出现日数(如:地形中坡度为 $0^{\circ} \sim 5^{\circ}$ 区域内发生火灾的天数为 3 d); P_i 表示某因子在不同区间内森林火灾发生的条件概率,反映了不同区间内火情严重程度或火灾危险性; P_{\min} 为某区间内 P_i 的最小值; C_i 为模型系数,取值如表 2 所示。

2 结果与分析

2.1 森林火灾时空分布特征

2.1.1 年际特征

2014—2021 年西安市共发生森林火灾 1 581 次,平均 197 次/a。如图 1 所示,2016 年森林火灾次数最多,达到了 279 次;其次

表2 西安森林火灾风险综合预报模型系数

坡度值/(°)	C_a	可燃物类型	C_b	海拔高度/m	C_c	距居民区距离/km	C_d	距公路距离/m	C_e
[0°,5°)	1.00	耕地	1.00	[0,500)	1.73	[0,1)	1.81	[0,200)	1.42
[5°,15°)	1.06	森林	1.99	[500,1 000)	1.62	[1,2)	1.65	[200,400)	1.51
[15°,25°)	1.07	草地	1.77	[1 000,1 500)	1.32	[2,3)	1.11	[400,600)	1.07
[25°,35°)	1.13	灌木林	1.86	[1 500,2 500)	1.12	[3,4)	1.07	[600,1 000)	1.59
≥35°	1.05	湿地、水体、人造地表	0.00	≥2 500	0.00	≥4	1.00	≥1 000	1.00

是2014年275次。2016年火灾最多的原因与该年度的冬春季干旱少雨有关,年降水量为456 mm,是2014—2021年降水量最少的一年,比历年同期(1981—2020年)偏少17%,比2021年降水量少550.6 mm;2021年发生森林火灾最少为106次,年降水量为1 006.6 mm,比历年同期偏多84%。从2018年开始西安市森林火灾次数减少趋势明显,除气象因素影响外,还与相关部门重视森林防火,采取相关预防措施有很大关系。

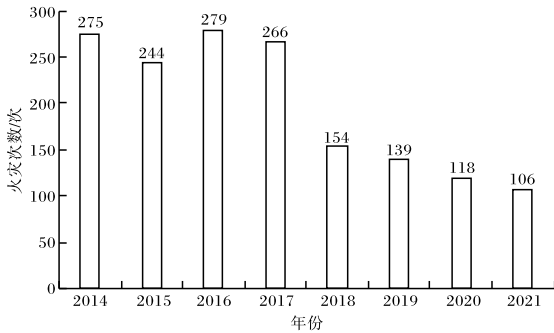


图1 西安市不同年份森林火灾次数

2.1.2 季节和月特征 火灾次数逐月分布如图2所示,西安市发生森林火灾主要在冬春季,即当年12月至次年4月,4月森林火灾最为频繁,达到了185次,其次为3月172次。西安4月平均降水量为51.9 mm,日最大风速为12.3 m/s。该月雨水少,风速较大,且空气相对湿度较低,天气条件使得植被的含水率显著降低,因此可燃物含水量与森林大火的生产有很大的关联。而冬天和春天是农耕的高峰期,在中国传统节日春节时期燃放烟花爆竹和清明节烧纸、扫墓等因素,均易造成或引发森林大火。9月火灾次数最少的原因

是,7—9月是西安一年之中降水最多的三个月,而9月往往多连阴雨,雨水易渗透到土壤中,降水多使地表含水量高,遇到火源不易蔓延。

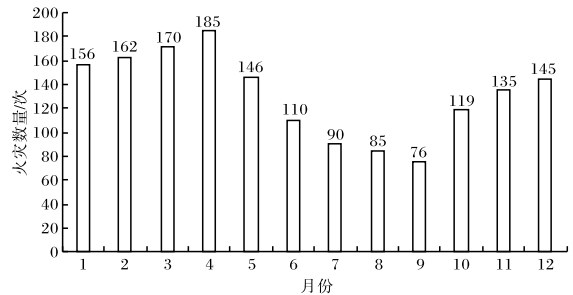


图2 2014—2021年西安市不同月份森林火灾次数

2.1.3 空间分布特征 西安市不同区县火灾分布如图3所示,火灾出现最多的是长安区,占西安市总火灾次数的33.5%;其次发生火灾次数较多的是蓝田县;火灾出现最少的是周至县54次,占长安区的10.2%。秦岭地区的植物资源丰富,森林覆盖率高,这些都使得其自然生态多样且复杂。此外,由于气候的立体差异性,使得该地区更容易发生森林火灾。而当火灾发生时,复杂多变的地形地势又将加大火险。在山区,火灾往往易沿着山坡上升蔓延,甚至逆风上行的速度比顺风更快。同样,地势复杂的沟壑和溪谷,也经常出现初起火源和难以控制的火线。此外,影响森林火灾发生及其传播的重要因素还包括林下可燃物的分布情况。如草类、落叶、树叶、树皮、枯枝、死树等,都能在很大程度上影响火灾的产生和蔓延速度。综合以上分析,秦岭地区由于其丰富的植物资源、高森林覆盖率、气候的立体差异和复杂的地形地势,构成了一种容易引发并加剧森林火险的环境。

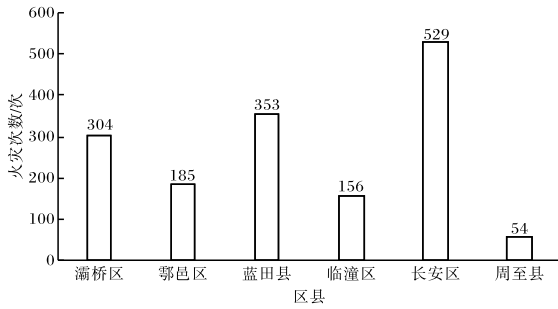


图 3 2014—2021 年西安市不同区县森林火灾次数

2.2 气象条件对森林火险的影响

2.2.1 气温 气温是引发森林火灾的重要因素。气温持续升高,森林中可燃物水分减少,可燃物失水枯死使得易燃性增加,森林火灾的可能性也随之增加,日最高气温和森林火灾发生情况见表 3,森林火灾发生的气温区间以 0~35℃ 为主。把气温按 5℃ 为间隔,从 0~35℃ 共分为七个区间。森林火灾发生频率随温度升高呈先升高后降低的趋势,其中,气温为 20~25℃ 范围内发生森林火灾数量最多,达到了 345 次,占总火灾次数的 21.7%。25℃ 以上林火次数减少的原因是由于到了夏季,植物长势茂密,夏季降水量高,可燃物含水量增多,不易发生林火。

表 3 西安不同范围气温与森林火灾分布表

日最高温度/℃	火灾数量/次	占比/%
≤5	115	7.26
(5,10]	179	11.30
(10,15]	268	16.92
(15,20]	279	17.61
(20,25]	345	21.78
(25,30]	201	12.69
(30,35]	197	12.44

2.2.2 风 风是引发森林火灾的关键因素之一,是引起林火蔓延和扩大的重要条件之一。空气流动可以降低森林的相对湿度,并促使森林中可燃物的水分迅速蒸发,风越大,可燃物的水分扩散越快。森林火灾发生后,风可以补充氧气的供应,提高燃烧速度并助虐火势蔓延。对 2014—2021 年的日平均风速和森林火灾发生情况进行分析(见

表 4),发生森林火灾的日平均风速范围主要分布在 3~4 m/s,将风速以每 1 m/s 作为一个区间,划分为六个区间。火灾的频率随着日平均风速的增加明显提升,当日平均风速达到 3~4 m/s 时,森林火灾次数在这个区间内最多达到了 387 次,占森林火灾发生总次数的 24.43%。

表 4 西安不同范围风速与森林火灾分布表

日平均风速/(m/s)	火灾数量/次	占比/%
(0,1]	89	5.62
(1,2]	187	11.81
(2,3]	298	18.81
(3,4]	387	24.43
(4,5]	343	21.65
(5,6]	280	17.68

2.2.3 相对湿度 相对湿度的变化对森林可燃物的水分含量有直接的影响,相对湿度越高,可燃物水分含量越高,森林火灾越不容易发生。对 2014—2021 年的西安市不同范围日平均相对湿度和森林火灾发生情况进行分析(表 5),相对湿度在 70% 以上,火灾次数为 0;随着相对湿度的降低,火灾的数量逐渐增加;当湿度小于 30%,发生火灾的次数达到了 617 次,占森林火灾发生总次数的 39.03%。这一结果说明相对湿度偏低将提高火灾的可能性。

表 5 西安不同范围相对湿度与森林火灾分布表

日平均相对湿度/%	火灾数量/次	占比/%
≥70	0	0.00
[60,70)	20	1.27
[50,60)	126	7.97
[40,50)	350	22.14
[30,40)	468	29.60
<30	617	39.03

2.2.4 降水 降水量直接决定了森林可燃物的含水量。连续无降水日数持续时间越长,森林火灾发生的可能性越大,2014 年 12 月 11 日—2015 年 1 月 26 日,2017 年 1 月 8 日—2 月 6 日,2017

年11月20日—2018年1月1日,2019年3月11日—4月8日,连续无降水日数分别长达46、30、43、29 d,林区火灾为72次、37次、80次、57次,降水在森林火灾的爆发过程中扮演着关键角色。当气候变得干燥,森林的相对湿度将不可避免地下降,从而使森林中可燃物的含水量减少。随着连续无降水日数的增加,相对湿度进一步降低,同时导致可燃物的含水量跟随着减小,使得环境变得更为干旱,会提升森林大火发生的概率和严重程度。

2.3 人为因素和地理环境对火灾的影响

2.3.1 人为因素 研究区火灾人为影响因素的统计结果(图4、图5)显示,火灾主要发生在距离居民点4 000 m以内,其中在3 000 m火灾次数最多。距离道路小于1 000 m时,火灾次数是先升后降。在600 m之内随着距离的增大,火灾更易发生;超过600 m,火灾出现的次数有所降低。

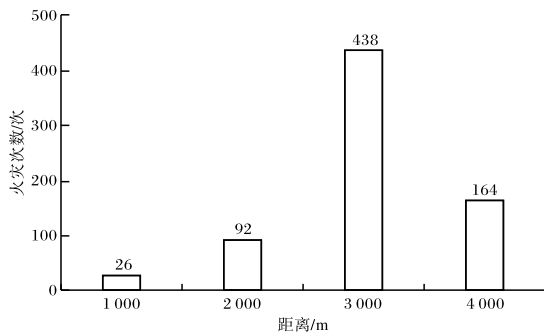


图4 西安市离居民点不同距离的火灾次数统计

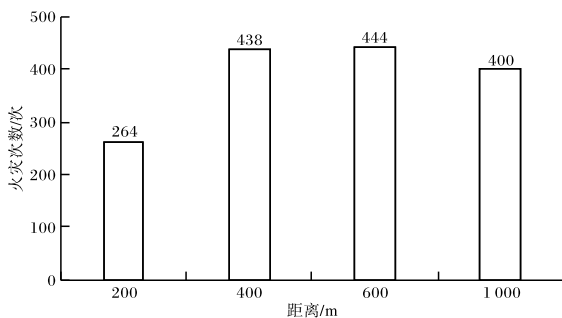


图5 西安市离道路不同距离的火灾次数统计

2.3.2 地理环境 西安市森林火灾的次数随着海拔高度的升高而逐渐降低(图6),在海拔500 m以内,火灾次数为1 075次,占火灾总次数的68%;海拔超过500 m后火灾次数逐步下降,海拔500~2 500 m合计火灾次数为506次,海拔2 500 m以上的区域基本没有林火发生。林火主要发生在林区

的平原地域,海拔500 m以下区域范围内为人口的主要聚集区域,人类活动导致了森林大火的频发,需提高民众的用火意识,增强消防意识。海拔较高的地方,人们活动较少,气温逐渐下降,使得森林大火不易发生。

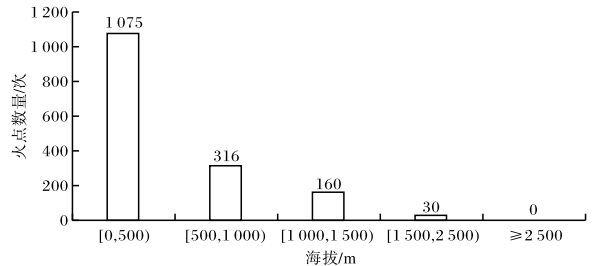


图6 西安市不同海拔森林火灾次数

从西安市不同坡度森林火灾分布(图7)可以分析出,坡度在 $0\sim 5^\circ$,发生火灾的次数为1 428次,占火灾总次数的90.3%;在坡度在 $5\sim 15^\circ$,发生火灾的次数为85次,占火灾总次数的5.3%;在坡度在 $15\sim 35^\circ$,发生火灾的次数为68次,占火灾总次数的4.7%。林火大都是在 $0\sim 5^\circ$ 之间,由于地形缓和的地方,人们较易抵达,使大火易于爆发;坡度较大的区域,由于人为干扰较少且植物数量稀少,减少火灾的可能性。

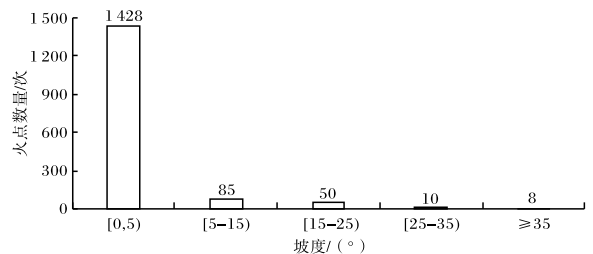


图7 西安市不同范围坡度森林火灾次数

2.4 预报模式应用及效果分析

模型一的预测精度未能达到理想状态,主要原因是源于获取空间信息的插值方式以及有限的气象监测站点无法获得丰富的气象数据,从而影响了空间精度。模型二综合考量地形、人类活动、地表覆盖等因素的影响,森林火灾综合预测的空间精度相对较高,能更详细、准确地反映出森林火险的实际情况。将这两种模型在不同级别的森林火险空间分布进行比较和分析,重构了研究区的森林火险预报结果,并叠加历史火点数据,计算

得出各预报等级内的历史火点比例和累积百分比,这两个指标可用来评估森林火险模型的精度^[10]。

重构了历史火点发生时间对应日期的森林火灾气象风险预报等级,用模型一和模型二对2014—2021年森林火灾预报进行等级划分,统计各个级别内的历史火灾所占百分比和累积比例,检验模型结果见图8、图9。在模型一中,预报的火灾数量主要集中在一至三级,占比分别为36.54%、18.64%、44.82%,对应的累计比例为100%、58.23%、40.62%;在高风险的四级及极高风险的五级预报范围内,未预报出历史火点分布。模型二的火灾数量在五个级别都有分布,各自占比为24%、18.24%、25.65%、20.48%、11.63%,对应的累计比例为100%、77.42%、65%、32%、25%。当森林火险风险预警发布在三级或更高级别的情况下,模型一可使约40%的森林火灾因防控措施执行得到有效控制,模型二可使约65%的森林火灾因防控措施执行得到控制,大幅降低森林火灾发生频率。

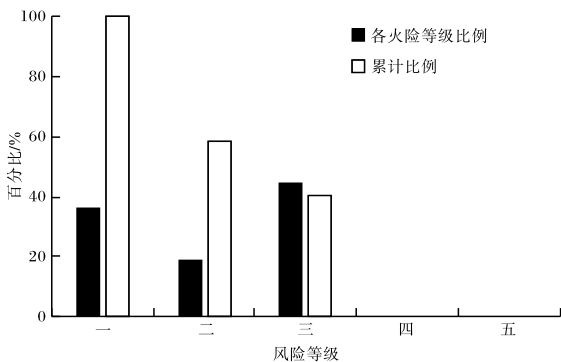


图8 西安市森林火险气象等级预报精度验证

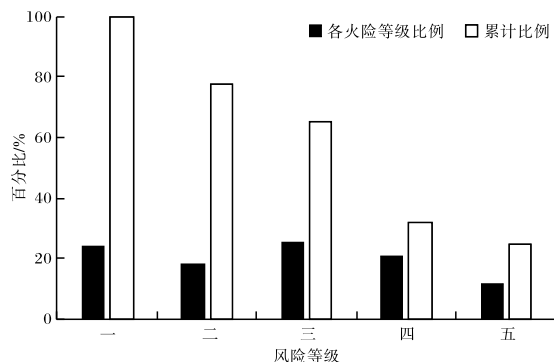


图9 西安市森林火险风险综合预报精度验证

3 结论

(1)西安森林火灾呈现出明显的季节性特征,每年的11月至次年4月是火灾最易发生的时期,尤其在4月。2014—2021年火灾发生最频繁的为2016年,降水量仅为456 mm,火灾数量有279次。降水量和火灾之间关系密切。

(2)森林火灾的发生除受到天气因素的影响,与地理环境、人为因素密切相关。森林火灾分别在距离居民点3 000 m、距离道路400~600 m、海拔0~500 m、坡度0~5°最多。

(3)西安市森林火险风险综合预报模型的预报结果比西安市森林火险气象等级预报模型的精度更高,预测结果在空间分布上精细程度较高,以超过3级为森林火灾危险性预警标准,采取措施,进行管控,可以有效控制约65%的火点。

参考文献:

- [1] 赵璠. 云南松林火险与火行为模型研究 [D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2017.
- [2] COHEN J D, DEEMING J E. The national fire-danger rating system: basic equations[M]. US Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station, 1985.
- [3] 舒立福, 张小罗, 戴兴安, 等. 林火研究综述(II): 林火预测预报 [J]. 世界林业研究, 2003, 16(4): 34-37.
- [4] 段秀英, 胡明臣, 周微. 中期森林火险等级预报方法 [J]. 森林防火, 1990(1): 22-26.
- [5] 田晓瑞, DOUGLAS J M, 张有慧. 森林火险等级预报系统评述 [J]. 世界林业研究, 2006(2): 39-46.
- [6] 森林火险气象等级: QX/T 77—2007 [S].
- [7] 森林火险气象等级: GB/T 36743—2018 [S].
- [8] 韩焱红, 苗蕾, 郝淑会, 等. 基于林区智能网格的精细化森林火险气象预报模型及应用 [J]. 贵州气象, 2019(2): 1-7.
- [9] 付桂琴, 张文宗, 赵春雷, 等. 河北省森林火险预报模式的改进及应用 [J]. 干旱气象, 2013, 31(3): 579-583.
- [10] 郑忠, 高阳华, 杨庆媛, 等. 西南山地区域森林火险综合预报模型研究: 以重庆市为例 [J]. 自然灾害学报, 2020, 29(1): 152-161.