

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, doi:10.11755/j.issn.1006-7639 (2013)-03-0579

河北省森林火险预报模式的改进及应用

付桂琴^{1,3}, 张文宗^{2,3}, 赵春雷^{2,3}, 张金满¹, 郭蕊¹

(1. 河北省气象服务中心, 河北 石家庄 050021; 2. 河北省气象科学研究所, 河北 石家庄 050021; 3. 河北省气象与生态环境实验室, 河北 石家庄 050021)

摘 要:采用数理统计的方法,增加了MODIS卫星遥感监测的土壤湿度和热源点预报因子,对河北省气象局原有的森林火险预报模式进行了改进,针对不同区域分别建立了森林火险预报模式,并对2012年河北省森林火灾实际发生情况进行了分析和应用效果检验。结果表明,2012年防火期,实况出现火灾,改进的火险模式预报森林火险气象等级5级为预报完全正确比率达66.3%;预报火险气象等级为4级(高度火险)及以上的正确率达83.1%;预报火险气象等级为3级(中度火险)及以上的正确率达98.8%;在所有的预报样本中,森林火险气象等级预报5级,但实况没有出现火灾的空报率为6.8%。检验结果显示,改进后的森林火险预报模式的应用效果更接近实际情况。

关键词:森林火险预报模式;改进和应用;效果检验;河北省

文章编号:1006-7639(2013)-03-0579-05 doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2013)-03-0579

中图分类号:S762.2

文献标识码:A

引 言

森林火灾的发生、蔓延与气象因素有着紧密的联系。利用气象因子进行森林火险监测预警,国内许多学者都进行了比较深刻的研究^[1-3],其中大多数是采用对森林火险有影响的气象因子与火灾发生的频数建立的统计预报模式来进行火险预报^[4-7],由于林区内的气象资料较难获得,森林火险预报模式存在一定的局限性。目前国内利用模式在提高林区火险气象要素分辨率方面取得了一些进展^[8-10]。高歌^[8]、张洪涛^[9]等利用考虑了森林植被效应的中- γ 尺度三维准静力平衡大气-土壤耦合模式,分别对北京市、神农架各气象要素场进行了数值模拟实验,并在此基础上计算林区高分辨率的森林火险等级分布状态。王加义等^[10]利用福建省67个气象台站1971~2006年的气象资料,结合福建森林火险预报模式确定影响森林火险等级的主要气象因子,按行政区划和森林防火期将气象数据进行了归类。利用3S技术加强林区火灾动态监测方面也取得了较好的效果^[11-15],但将遥感反演的林区土壤湿度、监测的热源点信息引入火险预报模型,以加强林区

火险气象预报预警方面的报道尚不多见。若将卫星遥感监测资料对林区火险预报进行补充,这无疑将有助于提高森林火险气象预报能力。

根据多年从事森林火险预报工作的经验和在原有研究成果的基础上,本文对近年来河北省森林火灾发生情况进行了统计分析,并利用概率分级与权重加权技术对森林火灾资料与气象条件进行分析,将卫星遥感反演的土壤湿度、热源点信息作为森林火险预报因子,对原有的森林火险预报方法进行改进和完善,以期进一步提高森林火险预报能力,不仅为政府和林业部门提供预报决策参考,同时对森林防火和防灾减灾具有着重要的意义。

1 资料及处理方法

森林火灾资料是由河北省森林防火指挥部办公室提供的2007~2011年河北省各林区火灾记录资料,包括起火地点、时间、起火原因和燃烧面积等。河北省气候中心提供的林区覆盖的53个县气象站同期逐日地面气象观测数据(包括最高温度、最小相对湿度、最大风速、降水量和连续无降水日数)。

收稿日期:2013-02-04;改回日期:2013-05-14

基金项目:中国科技部农业科技成果转化资金项目:京津冀森林火灾遥感监测与精细化火险等级预报预警推广应用(2011GB24160003)资助

作者简介:付桂琴(1968-),女,河北蔚县人,高级工程师,主要从事气象服务与应用气象研究。E-mail:fgq84@tom.com

通讯作者:张文宗(1956-),男,北京人,研究员,主要从事卫星遥感应用和环境气象研究。E-mail:hbqxzwz@sina.com

林区卫星遥感反演的土壤湿度及监测到的热源点,该数据由河北省气象科学研究所提供。

由于各气象要素单位不一致,数值量级差别较大,因此就各气象要素对火险的贡献进行标准化处理。其处理步骤:根据各单要素对森林火灾的影响赋予权重,结合概率分级技术,给出各因子不同范围对应的森林火险气象指数分量。按照森林火险气象等级标准^[16],将火险气象指数综合值划分为5个等级。

2 河北省森林火灾时间特征及成因

2.1 时间分布特征

经统计,2007~2011年河北省各林区共发生火灾340起。其中,2011年最多,高达110起,2007年次之,2008年最少,仅有27起,森林火灾年变化显著。近5a来,森林火灾最早出现在9月15日(2009年),最晚结束于5月31日(2011年)。其中,3~5月发生的火灾占年总数的87.1%。

图1是河北省森林火灾起火时间日变化。可以看出,森林火灾主要发生在白天时段。从08:00起,森林火灾发生次数开始增多,到13:00达到最高峰,此后迅速下降,夜间22:00至次日07:00,很少有火灾发生。从各时段发生火灾的情况看:白天08:00~18:00发生森林火灾次数占总数的91.4%,19:00~22:00发生林火次数占总数的6.4%。可见森林

火灾的发生主要与人们白天活动时间相对应。

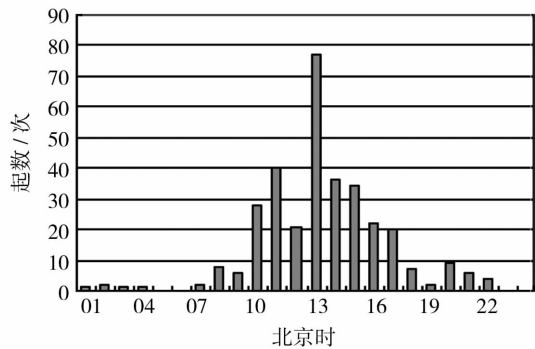


图1 河北省森林火灾起火时间日变化

Fig. 1 Daily variation of forest fire in Hebei Province

2.2 起火原因

表1是河北省森林火灾起因、对应起数及所占比率的统计。在各类火灾起因中,春季农民燎地边引起火灾所占比率最多,为32.1%;其次是上坟烧纸、野外吸烟引起火灾所占比率都在10%以上;纯粹的非人为因素如电线老化起火仅占2.1%;另外原因不明正在调查的占23.3%。经分析,73.4%的火灾都是由人为因素造成的。可见,加强防火宣传教育,注意行为习惯,谨慎用火,可最大限度减少火灾的发生。

表1 河北省2007~2011年森林火灾起因统计

Tab. 1 Causes statistics of forest fires from 2007 to 2011 in Hebei Province

火灾起因	燎地边	上坟烧纸	野外吸烟	烧秸秆	痴呆弄火	故意纵火	烤火取暖	放鞭炮	野外用火	电线老化起火	外省烧入	正在调查	合计
起数/次	109	50	40	13	12	10	8	4	4	7	4	78	340
百分比/%	32.1	14.7	11.8	3.8	3.5	2.9	2.4	1.2	1.2	2.1	1.2	23.3	100

3 森林火险预报模式改进及应用

3.1 原有的火险预报模式

目前业务使用的森林火险预报模型是2003年基于业务需求自行研究的。该模型主要考虑了气温、相对湿度(露点)、风速、日降水量对火险的贡献率及逐日累计过程。其表达式为:

$$\begin{cases} W = W_0 + 6.11 e^{24.7 | (T - 273.16) |} \\ | e^{(273.16 \times 20 \div T)} - e^{(273.16 \times 20 \div T_d)} | F \quad (R < 2 \text{ mm}) \\ W = 0 \quad (R \geq 2 \text{ mm}) \end{cases}$$

(1)

式中: W 、 W_0 分别为当日、前一日森林火险累计值, T 、 T_d 和 F 分别为14:00的气温、露点和风速, R 为日降水量。森林火险气象等级划分见表2。该模式在近年来的森林火险预报服务中得到了较好的应用,然而由于模型是基于实况资料的,往往预报结果仍存在着一些问题。随着预报服务需求的提高,以及卫星遥感监测信息的应用,急需对森林火险预报模式进行改进和完善。

3.2 森林火险预报方法改进

通常森林火灾的发生需具备3个条件:可燃物、天气条件和火源。因此,在森林火险预报模型中,不仅要考虑天气条件,还需考虑可燃物(包括树木、草

表2 原有模式下的森林火险气象等级划分

Tab.2 The meteorology classification in original model of forest fire forecast

级别	危险程度	火险累计值范围	等级名称
1级	最低	≤150	最低火险
2级	较低	150~300	低度火险
3级	中度	300~500	中等火险
4级	高度	500~1 000	高度火险
5级	极度	≥1 000	极度火险

灌等植物)和火源。单位可燃载量即地面的可燃物是火灾发生的物质基础,其干湿状况对能否触发火灾有直接的影响。因此,本文将MODIS卫星遥感反演的林区地面土壤湿度,作为反映地面可燃物干湿状况因子,以及遥感监测到的热源地,一同引入预报方程中,对森林火险预报模型进行改进。改进后的模型不仅可以较好地解释气象条件对火灾发生、发展的影响性质和程度,还充分考虑了火灾发生的3个必备条件。

由于河北省北部林区和南部太行山林区冬春季气温差异较大,于是将日最高气温因子分成北部林

区(张家口、承德、唐山、秦皇岛林区)、太行山林区(保定、石家庄、邢台、邯郸林区)(图2),采暖期和非采暖期分别进行研究^[17]。另外,由于各因子对火灾的影响程度不同,故对其赋予权重,权重的设定依据河北省森林火灾与气象实况统计概率,借鉴陈正洪等^[18]的标准“城市火险气象等级”,进行实验调试。各气象要素对应的森林火险气象分量值见表3。



图2 河北省北部林区和太行山林区

Fig.2 Forest area at the northern part and the Taihang Mountain region of Hebei Province

表3 气象因子对应的森林火险气象指数分量

Tab.3 Forest fire index corresponding to meteorological factor

气象因子			火险气象分量值								
			- 10	- 5	0	5	10	15	20	25	30
日最小相对湿度/%			/	/	≥50	50 ~ 40	40 ~ 30	/	30 ~ 20	20 ~ 10	< 10
日降水量/mm			> 1.0	0.3 ~ 1.0	0.0 ~ 0.2	0	/	/	/	/	/
连续无降水日数/d			/	/	0 ~ 1	2 ~ 3	4 ~ 5	6 ~ 7	8 ~ 14	15 ~ 21	≥22
遥感数据 <i>TVDI</i> /%			/	/	< 0.4	0.4 ~ 0.6	0.6 ~ 0.8	≥0.8	/	/	/
					- 4	0	4	8	12	16	20
日最大风速/(m/s)						0 ~ 1.5	1.6 ~ 3.2	3.3 ~ 5.4	5.5 ~ 7.9	8.0 ~ 10.7	10.8
日最高 气温 /℃	北部 林区	采暖期 (11 月 1 日至 3 月 31 日)	< - 4	- 4 ~ 0	0 ~ 4	4 ~ 8	8 ~ 12	12 ~ 16	≥16		
		非采暖期 (4 月 1 日至 10 月 31 日)	< - 4	- 4 ~ 0	0 ~ 8	8 ~ 12	12 ~ 16	16 ~ 20	≥20		
	太行山 林区	采暖期 (11 月 15 日至 3 月 15 日)	< - 4	- 4 ~ 0	0 ~ 5	5 ~ 10	10 ~ 15	15 ~ 20	≥20		
		非采暖期 (3 月 16 日至 11 月 14 日)	< - 4	- 4 ~ 0	0 ~ 10	10 ~ 15	15 ~ 20	20 ~ 25	≥25		

注:“/”代表无对应的数据值

将上述所有单项因子对火险的贡献分量值相加,即为改进后的森林火险预报模型:

$$W_z = (T_i + RH_i + F_i + R_i + A_i) \times 0.85 + TVDI \times 0.15 \tag{2}$$

其中: W_z 为当日森林火险综合值, T_i 为日最高气温对火险的分量, RH_i 为日最小相对湿度对火险的贡

献分量, F_i 为日最大风速对火险的贡献分量, R_i 为日降水量对火险的贡献分量, A_i 为连续无降雨日对火险的贡献分量, $TVDI$ 为遥感监测的土壤湿度对火险的贡献分量。火险综合值范围 -10 ~ 120,参照文献[8],划分火险气象等级见表 4。在实际业务应用中,当卫星遥感监测到热源点信息,热源点所在县森林火险预报将自动调整到五级,极高火险级别,需特别引起关注。

表 4 改进后的河北省森林火险气象等级划分表

Tab. 4 The imoroved meteorology classification for forest fire - danger forecast in Hebei Province

级别	名称	危险程度	火险综合值范围	预防措施和预报服务用语
1 级	最低火险	最低	≤35	等级低,注意人为火灾。
2 级	低度火险	较低	35 ~ 55	等级较低,适当采取防护措施。
3 级	中等火险	中度	55 ~ 85	等级中等,须加强防范。
4 级	高度火险	高度	85 ~ 100	等级较高,须严密防范,加大森林巡查力度,林区须控制火种。
5 级	极高火险	极度	≥100	等级极高,须严密防范,加大森林巡查力度,林区禁火种。

3.3 预报模式应用效果对比检验

2012 年 1 月 1 日至 12 月 31 日期间,该森林火险预报模式在实际业务中应用。冬春季森林防火期(除夏季 6 ~ 10 月),共计 213 d。原火险模式按林区覆盖地区预报,改进的模式按林区所覆盖的县预报,相应地在检验时,按照两模式火险预报等级百分比进行应用对比检验。模式改进前后各级森林火险气象等级预报所占总数的百分比见图 3。可见,改进的预报模式 1 级、5 级火险所占比率最少,分别为 7.8% 和 2.1%,3 级中度火险所占比例最多,达 48.9%。各级火险预报的变化符合天气条件及火灾发生的客观实际。原森林火险预报模式 1 级火险预报比率只有 0.2%,2 级森林火险预报也只有 9.3%,4 级及以上火险预报比率高达 41.4%。众所周知,森林火灾的发生是小概率事件。2011 年是近年来发生森林火灾较多的年份,其火灾发生起数占整个样本的百分比也只有 1.37%。2012 年防火期各站有效降水日数占总日数的 7%,原模式 1 级火险预报等级只占总数的 0.2%,可见原模式火险预报等级总体偏高。

当森林火险气象条件等级达到 4 级及以上时,相关部门须加强值班巡视。原模式预报 4 级以上火险占到总样本的 41.4%,远远超过森林火灾发生的实际可能概率。这样高的空报率将加大相关部门的人力物力,长时间的空报降低了对气象预报的信任。而改进后的模式 4 级及以上火险预报比率为 15.

0%,较原模式预报有明显下降。可见,改进后的森林火险预报模式在各级火险气象等级预报的正态分布上更接近客观实际。

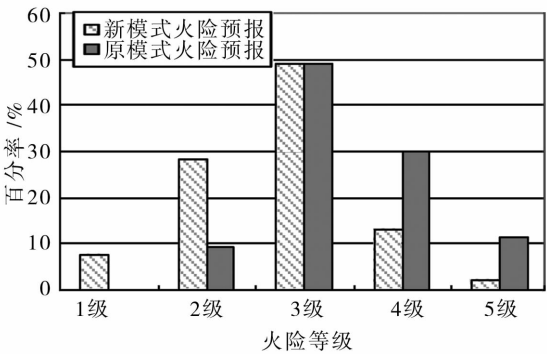


图 3 2012 年防火期新旧模式火险气象等级预报比率

Fig. 3 The meteorological grade forecast percentage of forest fire - danger with the old and the new model in 2012 in Hebei Province

河北省森林防火指挥部办公室提供的信息显示,2012 年防火期河北省各林区县共发生森林火灾 83 起。由于森林火灾的发生是多个因素综合作用的结果,它即与气象条件有关,但又不完全取决于气象条件。因此,采用如下方法进行实际与模式预报对比检验:发生火灾时,当天森林火险气象等级预报为 5 级,即为完全正确;预报为 4 级及以上,则记为 4 级及以上正确率,预报为 3 级及以上,则记为 3 级

及以上正确率,预报为2级或1级,低度以下火险时记为错误(漏报)。空报率检验方法:在所有的预报样本中,预报5级极高火险,但没发生火灾就算空报。模式预报效果检验见表5。可见,发生火灾时,新改进的火险预报模式预报极高火险正确率为66.3%,高度及以上火险正确率达83.1%,错误(漏报)为1.2%。预报错误的一天为2012年3月28日,宣化由于上坟烧纸引起火灾,当天出现0.4 mm降水,森林火险气象等级预报为2级。

表5 2012年森林防火期火险预报模式应用检验

Tab. 5 Forest fire - danger forecasting model application inspection in 2012

检验	火险气象等级	预报准确率/%
完全正确	5级	66.3
4级及以上正确	4级、5级	83.1
3级及以上正确	3级、4级、5级	98.8
错误(漏报)	2级	1.2
空报	5级	6.8%

4 结语与讨论

(1)2007~2011年河北省森林火灾记录资料分析显示,森林火灾的发生具有显著的季节变化,每年3~5月是河北省森林火灾最集中的时段,占总火灾起数的87.1%,尤其3、4月是春季防火关键中的关键,要特别引起注意。

(2)森林火灾的发生除气象因素外,还与人类活动密切相关。在各类起火因素中,农民燎地边、上坟烧纸、野外吸烟等人为因素引起的森林火灾占总数的73.4%。另外,火灾发生在白天08~18时占总数的91.4%。因此,加强防火宣传教育,注意行为习惯、谨慎用火,可最大限度减少火灾的发生。

(3)在原有火险预报服务的基础上,引入遥感反演的土壤湿度,以及监测到的热源点作为森林火险预报因子,对河北省气象局林区火险预报方法进行改进。通过对2012年河北省森林火灾发生情况进行实际应用检验得出,4级以上火险预报正确率达83.1%,5级空报率控制在6.8%,漏报率为1.2%。表明改进后的火险预报方法在预报正确率以及空漏报比率上更接近实际。

森林火灾的发生是多个因素综合作用的结果,它即与气象条件有关,但又不完全取决于气象条件。火险气象条件等级再高,若防范得当,甚至采取封山措施,也不易发生火灾;相反火险气象条件较低,但人类不注意自己的行为规范,也容易引起森林火灾。因此,在气象条件预报的基础上,配合一些有效措施,可最大限度降低森林火灾的发生。

参考文献:

- [1] 孙智辉, 李生袖, 苏长年, 等. 延安市森林火险分级预报方法[J]. 气象, 2005, 31(6): 80-83.
- [2] 郑海清, 陈敬平, 张星, 等. 福建省森林火险天气等级预报系统[J]. 气象, 2001, 27(4): 30-34.
- [3] 于文颖, 周广胜, 赵先丽, 等. 黑龙江省大兴安岭林区森林气象火险指数的适用性研究[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(26): 14496-14501.
- [4] 毛贤敏, 刘桂芬, 刘素洁. 城乡火险预报模式探讨[J]. 应用气象学报, 1996, 7(1): 76-81.
- [5] 陈正洪, 杨宏青. 武汉市火险天气等级标准[J]. 应用气象学报, 1998, 9(3): 376-380.
- [6] 高永刚, 张广英, 韩俊杰, 等. 3种森林火险气象指数在黑龙江省北部林区应用效果的对比分析[J]. 东北林业大学学报, 2008, 36(11): 41-44.
- [7] 牛若芸, 翟盘茂, 孙明华. 森林火险气象指数及其构建方法回顾[J]. 气象, 2006, 32(12): 3-9.
- [8] 高歌, 祝昌汉, 张洪涛. 北京市火险气象等级预警数值模拟研究[J]. 应用气象学报, 2005, 13(5): 513-524.
- [9] 张洪涛, 祝昌汉, 张尚印, 等. 森林火险等级分布模拟—中小尺度动力学模式[J]. 自然灾害学报, 2003, 12(1): 56-62.
- [10] 王加义, 王春阳, 赵慧芳. 福建省森林火险等级主要气象影响因子的分布规律[J]. 中国农学通报, 2009, 25(23): 166-169.
- [11] 王彩云, 扎西顿珠, 陈涛. EOS/MODIS数据在西藏森林火灾中的应用[J]. 高原山地气象研究, 2010, 30(3): 66-69.
- [12] 张雪芬, 邹春辉, 陈怀亮. 基于遥感和地理信息系统的河南省森林防火系统[J]. 气象科技, 2006, 34(1): 107-111.
- [13] 杨兰芳, 韩涛. 用NOAA卫星监测甘肃森林草原火灾[J]. 甘肃气象, 1997(2).
- [14] 李明轩, 杨兰芳, 韩涛. 甘肃省森林、草原火灾的成因分析[J]. 甘肃气象, 1999(4).
- [15] 梁芸. 甘肃省森林、草原火灾定量判识方法研究[J]. 干旱气象, 2004, 22(4): 60-63.
- [16] 王怀清, 刘春生, 熊家宇, 等. 森林火险气象等级[M]. 中国气象局, QX/T 77-2007.
- [17] 傅泽强, 戴尔阜. 大兴安岭森林火险季节动态特征及其气候条件分析[J]. 自然灾害学报, 2001, 10(4): 113-116.
- [18] 陈正洪, 杨宏青, 张强. 国家标准“城市火险气象等级”的研制[J]. 地理科学, 2007, 27(3): 440-444.

(下转至601页)

Thunderstorm Potential Prediction Based on Back Propagation Neural Network

CHEN Yongwei¹, ZHENG Tao¹, WANG Hankun², WANG Qi¹, LIANG Yaodan³

(1. *Lightning Protection Center of Gansu Province, Lanzhou 730020, China;*

2. *Inner Mongolia Linhtning Early Warning Protection Center, Huhehaote 010051, China;*

3. *Guigang Meteorological Bureau of Guangxi, Guigang 537100, China)*

Abstract: In order to use neural networks to solve common nonlinear problem in lightning potential trend prediction, the correlation coefficients were calculated between forty – six convective parameters and thunderstorms occurring from June to August in 2008 in Nanjing. In these convective parameters, seven convective factors among them had better relationship with thunderstorms occurrence, including TT, SI, SWEAT, Tlfc, CIN, DCI and PW indexes, then these seven convective parameters were selected as the input factors of the neural network model which contained seven input layers, twelve hidden layers and one output layer. On the basis of back propagation neural network model built by the data of 2008, the thunderstorm potential trend from June to August in 2009 in Nanjing were predicted including the thunderstorm days and non – thunderstorm days. According to the score standard, the POD, FAR, CSI, PDFD and FOM of the model were 74.5%, 9.5%, 74.5%, 2.9% and 19.1%, respectively, which indicated that this back propagation neural network model had better forecast accuracy and its performance was steady, it can be well applied in thunderstorm potential trend prediction.

Key words: convective parameters; factor combination; thunderstorm potential trend prediction; back propagation neural network model

~~~~~

(上接第 583 页)

## Improvement and Application of Forest Fire – danger Forecast Model in Hebei Province

FU Guiqin<sup>1,3</sup>, ZHANG Wenzong<sup>2,3</sup>, ZHAO Chunlei<sup>2,3</sup>, ZHANG Jinman<sup>1</sup>, GUO Rui<sup>1</sup>

(1. *Meteorological Service Center of Hebei Province, Shijiazhuang 050021, China;*

2. *Institute of Meteorological Science of Hebei Province, Shijiazhuang 050021, China;*

3. *Key Laboratory for Meteorology and Ecological Environment of Hebei Province, Shijiazhuang 050021, China)*

**Abstract:** The forecast model of forest fire – danger developed by Hebei Provincial Meteorological Bureau in 2003 has been well applied in forecasting forest fire in Hebei Province for years. However, some problems still existed about the outputs of the model when they were compared with the meteorological observation data. With the improvement of service requirements and the application of information monitored by remote sensing, the model was needed to be improved and perfected. This paper addresses the improvement by adding more forecast factors including soil moisture and heat source information monitored by MODIS satellite to the model. Firstly, by using mathematical statistics method, the forecasting models of forest fire were built separately for the north forest and the southern Taihang mountains forest of Hebei Province. Then, the forest fires occurred from January to May and from November to December of 2012 in Hebei were simulated by the improved and original forecast models of forest fire – danger, respectively. Finally, combined with observations, the outputs obtained with the improved and original models were compared and analyzed. The results are as follows: The original model exaggerated wildly the level of fire – danger compared with the improved model; The probability of the fire – danger with the level 4 or above obtained with the original model accounted for 41.4%, which was much more than that of the improved model (15.0%). The forecasting precision obtained from the improved model was 66.3% at the level 5 and 83.1% at the level 4 or above, and 98.6% at the level 3 or above. In all samples, the rate of false alarm at the level 5 was only 6.8%. Consequently, the improved model has a good application effect on forecasting forest fire.

**Key words:** forest fire – danger forecast model; improvement and application; effect test; Hebei Province