

# 内蒙古干草原春季火险预报模型的研究\*

傅泽强

王玉彬

(北京大学城市与环境学系,北京100871) (北京市气象局,北京100089)

王长根

(内蒙古气象局,呼和浩特010051)

## 提 要

该文利用内蒙古锡盟地区1986~1997年的草原火灾及同期气象资料,采用数学模拟的建模方法,研制了该地区重点火险区域(包括4个旗、市)的春季草原火险天气预报模型。该预报模型综合考虑了火灾发生当日及前期气象要素对草原火险的影响,试报检验结果可靠,可用于当地的火险预报,为防火部门制定防火决策提供依据和指导,并可产生较大的社会效益。

关键词:内蒙古 干草原 火险天气 预报模型

## 引 言

内蒙古锡林郭勒盟位于 $41^{\circ}35' \sim 46^{\circ}46' N, 111^{\circ}09' \sim 119^{\circ}58' E$ ,其境内的地带性草原植被由耐寒的旱生多年生草本植物(主要是丛生禾草、根茎禾草、杂类草和小半灌木)组成,70%以上属于干草原。在春秋季节,适度的地上可燃物储量和连续分布状况,并配合干旱少雨及大风的天气气候条件,构成了该地区高火险的特征。据不完全统计,从1986~1997年间,该地区平均每年发生草原火灾24.5次,过火面积达 $312450.44 \text{ hm}^2$ ;火灾主要发生在春季,占全年总次数的60%以上;每年因火灾造成的损失(包括直接和间接损失)高达300~400万元。实践证明,草原防火重于救火。只有加强防火宣传工作,完善适合当地的火险预报系统,才能防患于未然,减少火灾发生次数和损失,保障畜牧业持续稳定的发展<sup>[1]</sup>。

草原火灾的发生受多种因素的制约,其中,气象条件是火灾发生的基本因素之一。在有利于火灾发生的高温、干旱、大风的条件下,草地就处于潜在高火险状态,伴之以火源的出现就会发生火灾。从这个意义上讲,天气气候条件决定了草地的火险趋势,通过研究它们的相关关系并建立数学模型,可预测未来的火险状态。正因为如此,无论是早期的单纯火险预报方法,还是近期的综合预报系统,尽管研究方法各异,类型有别,但皆以气象学为基础,始终把气象要素作为主要的预报参数,且预报精度在很大程度上取决于所选的气象因子及其与火险的相互关系的研究方面<sup>[2]</sup>。

\* 由内蒙古科委980125项目“内蒙古草地主要气象灾害减灾技术研究”课题资助。

1999-12-08收到,2000-03-14收到修改稿。

火险预报历来是防火研究的重要内容。到目前为止,火险预报研究大多集中在林火方面,只有少数国家开展了此项工作,如澳大利亚、美国等。我国目前还没有系统完善的草原火险预报方法,杜秀贤等<sup>[3]</sup>依据可燃物含水率对火灾发生影响的原理,研制了呼伦贝尔盟地区森林草原火险预报系统,其中包括短、中、长期3个类型;个别地区在防火季节仅根据天气预报作一些简单的火险预报,而缺乏完善的火险预报方法或系统,防火部门迫切需要研究开发火险预报系统。本文利用锡盟地区4旗(市)逐日火情资料及同期气候资料,建立了该地区火险天气预报模型,实践证明,它不仅能够为当地防火部门制订科学合理的防火决策提供辅助信息,提高草原火管理水平,而且还可为其他地区的同类研究提供范型。

## 1 资料处理及预报站点的选择

### 1.1 预报站点的选择

根据火险气候区划的研究结果,该地区可分为3个火险气候区:(1)锡盟东部草原高火险气候区;(2)锡盟中部干草原一般火险气候区;(3)锡盟西部荒漠草原无火险气候区。其中,西部荒漠草原无火险气候区由于可燃物储量小且分布连续性差、潜在火源密度低,几乎无火情发生,因此建模时将该区排除在外。在中部干草原火险气候区,80%以上的火灾发生在该区北部的锡林浩特市和阿巴嘎旗,建模时仅考虑了这两个地点,该区内的其它旗(县)可参照此。东部的东乌旗和西乌旗是重点考虑的站点。这样,在建模时我们选择了两个火险气候区的4个站点,即东乌旗、西乌旗、锡林浩特市和阿巴嘎旗。

### 1.2 资料及处理方法

选取了锡盟地区上述4个旗(市)1986~1997年春季3~6月逐日火情资料及同期气象资料,分别建立了数据库。其中,火灾资料包括火灾发生时间、地点、过火面积等,气象要素包括日平均气温、日最高气温、日最低气温、日平均风速、日降水量、日平均相对湿度,另有一个计算因子即气温日较差。将气象资料库作为基本库,然后通过数据库操作技术将火灾资料输入,以形成一个完整的草原火灾气象资料数据库。总计样本数为5856个,其中着火样本173个,不着火样本5683个;东乌旗、西乌旗、锡林浩特市和阿巴嘎旗各站点的着火样本数分别为73、38、34、18。

## 2 草原火险预报原理及模型的建立

### 2.1 火险等级的划分

火险可理解为某一地区某一时段内着火危险程度,或者说着火的可能性。有关火险的定义有数种<sup>[3]</sup>,布朗和戴维斯(Brown and Davis,1973)在《林火控制与利用》一书中将火险定义为“火险是由稳定因子和变化因子综合作用的结果。它直接左右林火的发生、蔓延,对林火控制的难易程度以及林火可能造成的损失”。麦利尔和亚利桑大(Merrill and Alexander,1987)在林火管理专业词典中定义为“火险是一个一般性词汇,它所表达的是对影响着火、蔓延速度、难控程度和火后影响的火环境中所有变化因子和固定因子的综合评价”。

从上述的定义中可以看出,火险是对影响火灾孕育、发生的所有因子的综合评价,反映了这些因子的变化对火灾发生的可能影响。在这里,我们须区别“火险”与“火灾”这两个既相互联系又不完全相同的概念。火险反映了林地或草地在所有因子作用下的火成熟状态,即可燃性,它可分为潜在火险和现实火险。前者反映了在不考虑火源的情况下林地或草地的自然火险状态,而后者则表示在高火险状态下加上火源时的火险状态,也即火灾。火源是形成火灾的必备条件之一,只有在火源出现的情况下,潜在火险才转变为现实火灾。火险预报就是通过某些对火险有显著作用的气象因子的预报值来确定未来的火险状态。实践中一般采用等级划分的方法鉴定火险状态。

火险等级是将火险预报模型计算所得的火险指标,依据一定的规则划分为若干区间及相应的等级,以表示实际火险状态。火险等级的划分有利于防火部门依据预报的等级来部署防火力量,制定扑救对策。火险指标区间的划分具有不确定性,同样是5个等级,但不同预报区的每个等级具有不同的指标区间,主要原因是所采用的数学模型不同,计算所得的火险指标也不同;同时火险指标的划分还必须符合当地的实际火险状况。

目前,国内外大多采用5级制,即将火险划分为5个等级,也有采用3级或其它级制的<sup>[4]</sup>。本项研究采用5级制。

## 2.2 预报因子的选取

火险状态受火环境中的多种因子的影响,其中包括稳定因子(如地形等)、半稳定因子(如可燃物特征等)和变化因子(气象要素等)。如果准确确定了它们与火险的关系,通过对各种因子的测定就可以预测未来的火险状态。就火险天气预报来讲,建立模型时仅考虑气象要素即可。然而,气象要素有多个,全部纳入模型中是不现实的。这不但增加了模型的复杂性,削弱了某些相对重要因子的作用,而且预报的准确率也会降低。因此,建模时既要减少预报因子的入选数量,又要保证模型的预测精度。

本项研究采用分区建模的方法,可免去区域的订正;气象因子的入选原则是依据各个因子与草原火险的相关程度,相关系数大则入选,否则剔除。此外,还综合考虑了各个因子对火险的贡献率,尽量避免重叠因子的入选。据此,选取了如下的气象因子:

$F$ —当日平均风速

$U$ —当日平均相对湿度

$T$ —当日气温日较差

$R$ —当日降水量

$U_{.5}$ —前5日平均相对湿度

$T_{.5}$ —前5日平均气温日较差

$R_{.5}$ —前5日降水量

其中,降水量因子用于模型订正。

建模时采用了来自各站点春季3~6月的资料,由于气象因子的变化内涵了一定的时间信息,因此,不进行模型的时间订正,在春季防火期内采用同一个模型。

## 2.3 预报模型的建立

(1) 气象因子与着火危险度 着火危险度即指某一级气象因子的火灾发生概率<sup>[5][6]</sup>,计算公式如下:

$$I = N^* / M \quad (1)$$

其中,  $M$  为气象因子在某一等级内出现的次数;  $N^*$  为同一级气象因子内火灾发生次数。

基于上述公式,对所选的各个气象因子分别进行统计。即将各因子以不同的组距划分,统计各组内火灾发生次数,代入公式(1),计算出该因子的着火危险度;然后用适当的模型拟合该因子与着火危险度的关系。

统计结果表明,风速  $F$ 、气温日较差  $T$  与着火危险度呈下列指数递增关系:

$$I = ae^{bx} \quad (2)$$

相对湿度与着火危险度呈下列指数递减关系:

$$I = ae^{-bx} \quad (3)$$

其中,  $I$  为着火危险度,  $X$  为某一气象因子,  $a$ 、 $b$  为待定系数。

(2) 火险天气预报的基本模型 按照草原火灾发生原理,草原火灾的发生不仅与当日气象条件的变化有关,而且也受前期一定时段内的天气状况的制约和影响。因此,建模时必须综合考虑前期和当日气象因子的影响。

各区火险预报基本模型如下:

$$Y = K_1 Y_1 + K_2 Y_2 \quad (4)$$

$$Y_1 = I_F + I_U + I_T \quad (5)$$

$$Y_2 = I_{U_{-5}} + I_{T_{-5}} \quad (6)$$

表 1 各预报站点火险预报模型组

预报站点		单因子关系模型	相关系数 $r$
阿巴嘎旗	当日	$I_F = 0.0043e^{0.0263 F}$	0.9264
		$I_U = 0.2293e^{0.08 U}$	0.8850
		$I_T = 0.0013e^{0.0137 T}$	0.9682
	前期	$I_{U_{-5}} = 0.0628e^{-0.0378 U_{-5}}$	0.9473
		$I_{T_{-5}} = 0.0004e^{0.0236 T_{-5}}$	0.8999
东乌旗	当日	$I_F = 0.017e^{0.0304 F}$	0.9641
		$I_U = 0.7472e^{-0.0719 U}$	0.9530
		$I_T = 0.0074e^{0.0117 T}$	0.9281
	前期	$I_{U_{-5}} = 0.3894e^{-0.047 U_{-5}}$	0.9987
		$I_{T_{-5}} = 0.0014e^{0.0242 T_{-5}}$	0.9644
西乌旗	当日	$I_F = 0.0113e^{0.0154 F}$	0.8706
		$I_U = 0.1236e^{-0.0402 U}$	0.9496
		$I_T = 0.0024e^{0.0148 T}$	0.9410
	前期	$I_{U_{-5}} = 0.1452e^{-0.0368 U_{-5}}$	0.9098
		$I_{T_{-5}} = 0.0107e^{0.0069 T_{-5}}$	0.9774
锡林浩特市	当日	$I_F = 0.0183e^{0.006 F}$	0.9835
		$I_U = 0.1574e^{-0.0498 U}$	0.8924
		$I_T = 0.0006e^{0.0243 T}$	0.9496
	前期	$I_{U_{-5}} = 0.1121e^{-0.0295 U_{-5}}$	0.9411
		$I_{T_{-5}} = 0.00004e^{0.0427 T_{-5}}$	0.9797

\* 火灾发生次数也即火灾发生日数。规定:一日内无论发生几次火灾,都作为 1 个火灾日(下同)。

其中,  $Y$  为综合火险天气指标;  $Y_1$  为当日火险天气指标;  $Y_2$  为前期火险天气指标;  $K_1$ 、 $K_2$  为当日和前期降水订正系数;  $I_F$  为当日平均风速的着火危险度;  $I_U$  为当日平均相对湿度的着火危险度;  $I_T$  为当日气温日较差的着火危险度;  $I_{U_{.5}}$  为前 5 日平均相对湿度的着火危险度;  $I_{T_{.5}}$  为前 5 日平均日较差的着火危险度。

依据公式(2)和(3)计算各预报站点着火危险度与前期和当日单因子关系模型。各站点当日和前 5 日的各预报因子与着火危险度的指数模型见表 1。

降水因子对火险具有抑制作用,是影响火险状态的一个十分重要的因子。由于分区建模时样本分散,单因子建模效果差,因此,仅把它作为预报模型的订正系数。降水订正系数的计算方法是:将降水量分为两个等级(等于 0 和大于 0),分别统计各等级内的火灾次数,然后计算其占总次数的比率(见表 2)。

各预报单因子模型及降水订正系数  $K_1$  和  $K_2$  确定后,代入公式(4)、(5)、(6),从而得到各站点的火险预报综合模型。

表 2 各预报站点降水订正系数 ( $K$ )

	当日 $K_1$		前期 $K_2$	
	降水量 $R=0$	降水量 $R>0$	降水量 $R=0$	降水量 $R>0$
阿巴嘎旗	0.8889	0.1111	0.4444	0.5556
东乌旗	0.9452	0.0548	0.6849	0.3151
西乌旗	0.9474	0.0526	0.4737	0.5263
锡林浩特市	0.8824	0.1176	0.6765	0.3235

(3) 草原火险等级预报方法 火险等级预报就是将预报日的日平均风速、相对湿度、气温日较差和前 5 日的平均相对湿度、气温日较差代入综合预报模型,并进行降水订正,计算出未来一日的火险天气综合指标,查算火险等级表即可得到具体的火险等级值。草原火险预报流程见图 1。

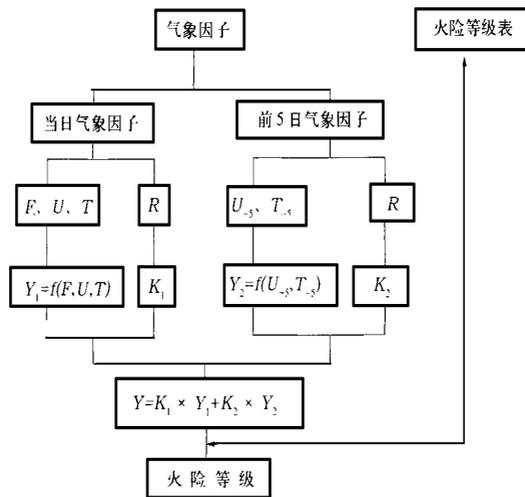


图 1 草原火险等级预报计算流程图

火险等级表是根据计算的火险天气指标值编制的。在本项研究中,各预报站点采用了相同的综合预报模型及 5 级火险制,但各站点每个等级的火险天气指标不同。因此,在编制火险等级表时,为便于计算和实际操作,首先将计算的火险指标值均扩大 1000 倍,然后,遵循火灾发生率与火险等级呈指数递增规律,将各站点的火险指标值均划分为 5 个等级并使得各等级的火险指标值与计算的火灾发生概率具有较大的相关系数。防火部门依据所预报的火险等级来部署日常的防火工作,不同的火险等级采取不同的防火对策(见表 3.4)。

表 3 各预报站点火险等级查算表<sup>\*</sup>

预报站点	一级	二级	三级	四级	五级
阿巴嘎旗	0 ~ 30	30 ~ 60	60 ~ 90	90 ~ 120	120 ~ 210
东乌旗	0 ~ 186	186 ~ 372	372 ~ 558	558 ~ 744	744 ~ 1200
西乌旗	0 ~ 46	46 ~ 92	92 ~ 138	138 ~ 184	184 ~ 250
锡林浩特市	0 ~ 86	86 ~ 172	172 ~ 258	258 ~ 344	344 ~ 620

<sup>\*</sup>表中火险指标值 = 1000 Y。

表 4 锡盟地区草原火险等级表及火管理对策

火险等级	防火对策
一级	一般不发生火灾,野外可用火。日常防火工作。
二级	较少发生火灾,注意用火安全。日常防火工作。
三级	较易发生火灾,进行防火宣传和用火审批,正常巡护了望。
四级	易发生火灾,禁止野外用火,加强巡护,做好扑救准备工作。
五级	极易发生火灾,发布火险警报,禁绝一切火源,扑火队伍待命出发。

### 3 试报检验

为了检验模型的准确性,我们对各预报站点 1986 ~ 1997 年间 3 ~ 6 月逐日的实况火险进行了拟合预报。具体方法是:将预报日当日和前 5 日的实况资料输入火险预报综合模型中,从而计算出每日的火险综合指标,再查火险等级表,确定每日的实况火险等级,同时统计计算出各火险等级的火灾发生相对概率。计算方法:

$$\text{火灾发生相对概率} = \text{各火险等级内火灾次(日)数} / \text{各火险等级的总日数} \times 100\%$$

表 5 各预报站点火险预报拟合检验<sup>\*</sup>

	各火险等级的火灾发生相对概率(%) / 火灾次数					相关系数
	一级	二级	三级	四级	五级	
阿巴嘎旗	1.98/2	5.45/6	5.94/3	22.28/4	64.36/3	0.9815
东乌旗	2.73/18	9.67/35	18.84/17	27.51/2	41.26/1	0.9346
西乌旗	2.58/2	66.01/7	21.03/20	31.33/7	39.06/2	0.9620
锡林浩特市	0.55/4	4.04/18	4.26/4	18.25/4	72.90/4	0.9702

<sup>\*</sup>分子项为火灾发生相对概率,分母项为实际火灾发生次(日)数。

由表 5 可见,各预报站点随火险等级增大,火灾发生相对概率也增大,说明在高火险天气条件下比在低火险天气条件下火灾发生的可能性大,而且,火灾发生的相对概率与火险综合指标或火险等级具有较高的相关系数。这也证实了该模型用于实际火险预报是可行的。

## 4 讨论与结论

### 4.1 讨论

(1) 火险是对影响火灾发生的所有因子的综合评价,即用于评价林地或草地的可燃性。在高火险状态下火灾发生的相对概率大,在低火险状态下火灾发生的相对概率小。但这并非意味着高火险状态下(如4级和5级)火灾发生的绝对次数一定多,统计结果也证实了这一点,见表5。这是因为高火险天气出现的几率小,而一旦出现,就很可能发生火情,也就是说,火灾发生的相对概率大。另外,从防火角度讲,当处于高火险状态时,防火部门也处于高度戒备状态,投入几乎全部的防火力量,从而大大减少了火灾发生的次数。从这个意义上讲,火险等级预报完全可用于综合评价火险天气状态,指导防火实践。但本模型不适合预报火灾发生的绝对次数。

(2) 火险预报模型的精度在很大程度上取决于预报因子的选择。从理论上讲,模型中所选的因子越多,越能够反映各因子对火险的影响,模型精度也应该越高。事实上并非如此,因为所选的预报因子越多,模型越复杂,因子间的重叠作用也越大,反而降低了模型的精度。解决此问题最好采用诸如逐步回归、主成分分析等数理统计方法,以消除因子间的相互作用。该类模型有待于以后进一步研究。

### 4.2 基本结论

(1) 采用相关分析方法确定了锡盟地区草地火险预报因子,该地区与火险关系密切的气象因子包括风速、气温日较差、相对湿度和降水量。着火危险度与促进火险增大的风速、气温日较差呈指数递增关系,与抑制火险的相对湿度呈指数递减关系。

(2) 该地区高火险状态的形成,不但与当日的气象条件有关,而且受前5日的气象条件的影响,因此,建模时综合考虑了当日和前期气象条件的变化对火险的贡献,并根据概率原理建立了火险预报综合模型。

(3) 该火险预报模型的拟合检验结果表明,随火险等级升高,火灾发生相对概率增大,但绝对火灾次数不一定增加。这与当地实际火情状况相符。因此,该模型完全可以用实际火险预报。

致谢: 本文经北京大学蔡运龙教授审阅,特表谢忱。

## 参考文献

- 1 周道玮. 草原防火. 北京: 中国农业出版社, 1996. 1~3.
- 2 邱雪颖, 王宏良. 林火预测预报. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 1993. 1~9.
- 3 杜秀贤, 郭绍存. 呼盟林火及草原火险预报系统的研究. 内蒙古气象, 1997, (4): 20~29.
- 4 宋志杰. 林火原理和林火预报. 北京: 气象出版社, 1991. 101~103.
- 5 杨美和, 高颖仪. 长白山森林火险预报方法的研究. 吉林林业科技, 1983, 42(1): 1~4.
- 6 李兆明, 高兆蔚. 福建森林火险天气等级预测预报方法. 福建林学院学报, 1989, 9(2): 172~176.

## RESEARCH ON THE SPRING FIRE RISK FORECASTING MODEL IN DRY GRASSLANDS IN INNER MONGOLIA

Fu Zeqiang

(*Department of Urban and Environmental Science, Peking University, Beijing 100871*)

Wang Yubin

(*Beijing Meteorological Bureau, Beijing 100089*)

Wang Changen

(*Inner Mongolia Meteorological Bureau, Hohhot 010051*)

### Abstract

Using grassland fire data and meteorological data of the same period from 1986 to 1997 in Xilin Gol Meng, the grassland spring fire-risk weather forecast model for the high fire-risk districts is presented. The forecast model synthetically considers the influences of meteorological components on grassland fire-risk at the time of fire-risk occurring and the days before. Trial forecast model results are reliable. The model can be used to local grassland fire-risk forecasting, provide a basis and instruction for the fireproof departments in formulating the fireproof policies and bring about social, economic and ecological benefits.

**Key words:** Inner Mongolia Dry grassland Fire-risk weather Forecast model