

# 森林火险气象条件及等级预报初探\*

——以重庆市沙坪坝区为例

何泽能<sup>1</sup>, 唐晓萍<sup>2</sup>, 谭炳全<sup>2</sup>

(1. 重庆市气象科学研究所, 重庆 401147; 2. 重庆市沙坪坝区气象局, 重庆 400030)

**摘 要:** 利用沙坪坝区逐日气象资料, 以及 1991 - 2009 年的森林火灾信息, 探讨了森林火灾与气候背景、气温、相对湿度、降水、风速等气象条件的关系; 同时结合沙坪坝区地理、气候特征, 建立了沙坪坝区森林火险气象等级预报模型; 并以森林火灾数据验证了火险的预报结果。结果表明, 森林火灾的发生和气象条件之间存在较好的相关性, 在沙坪坝区, 森林火险气象等级预报可以考虑气候背景、气温、相对湿度、降水、风速等气象因素, 从而得到比较准确的火险气象等级预报结果。建立的沙坪坝区森林火险气象等级预报模型, 可以合理地反映出沙坪坝区森林火险气象等级的主要分布特征和年变化特征, 并达到业务应用的要求。

**关键词:** 森林火险; 气象条件; 等级预报; 重庆沙坪坝区

**中图分类号:** P463.3; X43      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1000 - 811X(2013)02 - 0046 - 05

森林火险即是指森林火灾的危险程度, 是对某一森林区域的起火可能性大小、火灾的蔓延速度以及控制火灾的难易程度等的总体评价, 其量值的高低通常是以森林火险指数来直观地表达<sup>[1-3]</sup>。国内外的相关专家学者对森林火险等级的定量描述方法进行了大量研究, 建立了许多量化的描述指数<sup>[4-8]</sup>。森林火灾的发生, 不仅仅取决于可燃物的自身特性, 而且还受到气象条件、地形、火源等许多外界条件的影响<sup>[9-12]</sup>。在影响森林火灾的危险程度高低诸多因素中, 最主要的因素之一便是气象条件, 它不仅影响到森林中的可燃物易燃特性, 还直接决定着火灾的蔓延和传播<sup>[13-16]</sup>。森林火险的气象条件等级预报就是要根据森林火险和气象条件之间的关系, 预测预报天气背景条件引起森林火灾的可能性大小。森林火险的气象等级越高, 发生火灾的可能性也就越大, 火灾也越容易蔓延, 火情越难以控制。

重庆市幅员辽阔, 辖区内江河纵横, 峰峦叠翠, 各地的气候条件和森林植被情况也存在较大差异, 同一森林火险气象等级预报模型在反映各地的森林火险状况时可能存在差异, 计算结果可能会有明显的地域差别。为了反映精细化的区县级森林火险气象等级, 有必要针对区县的天气气候特点建立森林火险气象等级预报模型, 以提高区县森林火险监测预警业务水平。沙坪坝区位于

重庆市区的西部, 全区的幅员面积为 39 620 hm<sup>2</sup>, 下辖 26 个街镇园区, 其中中部的歌乐山、中梁山以及西部的缙云山脉森林资源非常丰富。白公馆、渣滓洞等著名抗战遗址, 以及其他红色旅游景区都位于歌乐山一带。因此, 该区是重庆市森林火灾重点防范区域之一。

本文以沙坪坝区为例, 利用沙坪坝区 1951 - 2009 年共 59 年的日值气象数据和 1991 - 2009 年共 19 年 63 次的森林火灾信息, 探讨了气象条件对森林火险的影响, 建立了森林火险气象等级的区县级预报模型, 为开发准确、实用的区县级森林火险等级预报平台提供理论支撑, 对于预防沙坪坝区森林火灾的发生、减少火灾损失和保护森林生态系统都具有非常重要的意义。

## 1 气象条件对森林火险的影响

气象条件是影响森林火险的最主要因素之一, 森林火险的气象条件等级不仅受到季节等气候背景的影响, 还与气温、相对湿度、降水和风速等气象条件有着直接的关系。

### 1.1 气候背景与森林火险

森林火灾的发生往往都具有十分明显的季节特征, 特别是重、特大森林火灾通常都发生于长期干旱的气候背景之下。因此, 气候背景也是影响森林火险的一个重要因素。气候背景主要受多

\* 收稿日期: 2012 - 08 - 08      修回日期: 2012 - 09 - 12

基金项目: 国家科技部“西部开发科技行动”重大项目(2005BA901A01); 重庆市自然科学基金项目(CSTC2010BB7335, CSTC2012JJA20015); 重庆市沙坪坝区科技项目(201001); 重庆市气象局青年基金项目(QNJJ - 201109)

作者简介: 何泽能(1980 - ), 男, 四川成都人, 硕士, 高级工程师, 主要从事大气物理与大气环境、城市气象、环境气象等方面的研究。E-mail: hezeneng@163.com

年的月降水量、多年的月平均温度和多年的月平均相对湿度等要素的影响。

以伊万诺夫湿润度来作为火险气候背景指标数据, 可以较好地反映某一地区的气候背景情况。因此, 本文计算了重庆市沙坪坝各月的伊万诺夫湿润度作为火险气候背景分级依据, 为森林火险气象条件等级预报模型的建立提供指标参数。

湿润度(K)计算公式如下:

$$K_{月} = \frac{R_{月}}{0.0018 \times (25 + T_{月})^2 \times (100 - H_{月})} \quad (1)$$

式中:  $K_{月}$  为月湿润度;  $R_{月}$  为多年的月平均降水量;  $T_{月}$  为多年的月平均温度;  $H_{月}$  为多年的月平均相对湿度。

### 1.2 气温与森林火险

环境气温是影响森林火灾的最重要因子之一。气温越高, 森林可燃物中水分的蒸发速度就越快, 可燃物干燥的速度也就越快; 同时, 气温越高, 可燃物的自身温度也就越高, 可燃物的温度也就更接近它的燃点。因此, 气温高时森林火灾发生的频率会增大。

为了了解沙坪坝区森林火灾与气温的关系, 统计了沙坪坝区 1991 - 2009 年期间日最高气温与火灾频率之间的关系(图 1)。从图 1 中可以看到, 当日最高气温低于 10 °C 时, 沙坪坝区没有发生过森林火灾; 日最高气温在 10 °C ~ 30 °C 期间, 相应的火灾频率维持在 5‰ ~ 10‰ 之间; 日最高气温大于 30 °C 以后, 火灾频率明显升高, 特别是大于 35 °C 以后, 火灾频率达到了 23.9‰。由此可见, 森林火灾受日最高气温的影响比较明显, 气温越高, 森林火灾发生的可能性就越大。

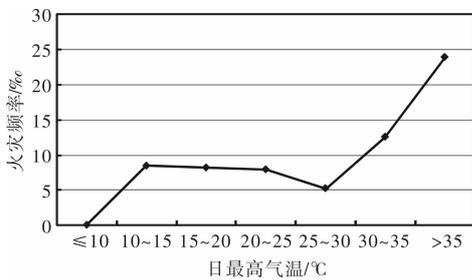


图 1 日最高气温与火灾频率

### 1.3 相对湿度与森林火险

空气相对湿度的变化可以直接影响到森林中可燃物的含水量, 相对湿度越低, 可燃物的含水率就越低, 森林火灾就越容易发生和蔓延。

为了了解空气湿度对沙坪坝区森林火灾的影响, 本文统计了 1991 - 2009 年期间沙坪坝区日最小相对湿度和火灾频率之间的关系(图 2)。从图 2 中可以看出, 日最小相对湿度大于 60% 时火灾频率低, 不容易发生火灾; 50% ~ 60% 时较容易发生火灾; 30% ~ 50% 时很容易发生火灾; 小于 30% 时非常容易发生森林火灾, 火灾频率达到了

59.5‰。由此可见, 相对湿度对森林火灾有非常明显的影响, 日最小相对湿度越低, 沙坪坝区发生森林火灾的频率也越大。

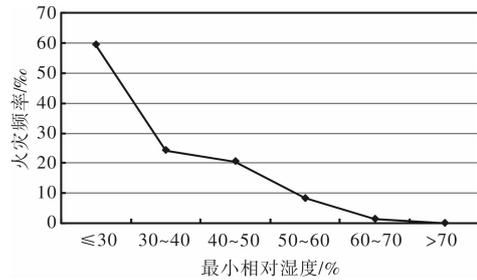


图 2 日最小相对湿度与火灾频率

### 1.4 降水与森林火险

降水量的多少直接决定着森林中可燃物含水量的高低。降水量越少, 森林中的可燃物含水量就越低, 在森林中发生火灾的可能性也就越低。一般来说, 1 mm 的降水量几乎影响不到森林内地面可燃物的湿度, 2 ~ 5 mm 的降水量则能降低森林内可燃物的燃烧性能, 而当降水量大于 5 mm 时, 则能使森林内可燃物吸水达到饱和, 不容易发生火灾, 即使发生了火势也会大大降低。大雨过后, 一般 3 ~ 4 d 之内都难以出现火灾。

据统计, 沙坪坝区在 1991 - 2009 年期间所发生的森林火灾中, 仅 4.8% 的火灾日有降水现象, 并且降水量非常小, 最大的一次也仅为 1.2 mm。由此可见, 降水情况对森林火灾的发生有着决定性的影响。

干旱天气必然会使森林中空气湿度降低, 导致森林内可燃物含水量下降。一般情况下, 连续无降水的日数越长, 森林中空气湿度就越小, 森林中可燃物的含水量也将不断下降, 从而变得越来越干燥, 发生森林火灾的可能性和严重性也就随之增大。为了了解连续无雨日数对沙坪坝区森林火灾的影响情况, 统计了 1991 - 2009 年期间沙坪坝区连续无雨日数与森林火灾频率之间的关系(图 3)。

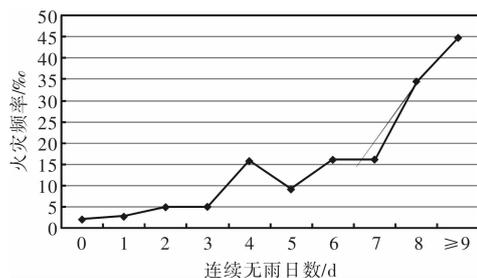


图 3 连续无雨日数与火灾频率

从图 3 中可以看出, 当连续无雨日数小于 4 d 时, 火灾频率较低; 当连续无雨日数大于 4 d 时, 火灾频率明显增大, 特别是连续无雨日数大于 8 d

以上后, 火灾频率非常高, 高达 44.8‰。由此可见, 连续无雨日数对森林火灾有重要影响, 无雨日数越长, 火灾发生的频率就越大。

### 1.5 风速与森林火灾

空气的流通可以降低森林内空气的湿度, 加快森林内可燃物的干燥速度, 并有助于燃烧。森林火灾发生后, 风还能补充氧气, 加快燃烧速度和火的蔓延速度, 并且影响着火灾的传播方向。一般来讲, 风速越大, 森林火灾发生的频次就越高, 火灾的面积也就越大。因此, 风也是影响森林火灾发生和蔓延的重要因子之一。

图 4 是 1991 - 2009 年期间沙坪坝区火灾频率与风速之间的关系图。从图 4 中可以看出, 火灾频率随日平均风速的增大明显增高; 当日平均风速在 0.5 m/s 以内时一次森林火灾都没有发生; 日平均风速大于 0.5 m/s 后, 森林火灾频率明显增高; 特别是风速大于 2.5 m/s 以后, 森林火灾频率达到了 30.7%。总体来说风速有利于森林火灾的发生和蔓延, 风速越低越不利于森林火灾的发生。

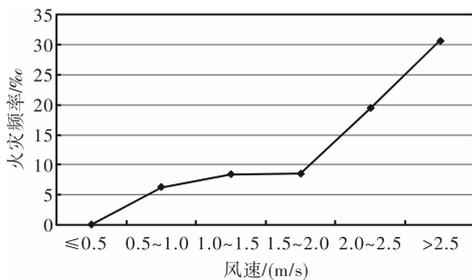


图 4 风速与火灾频率

## 2 区级森林火险气象条件等级预报模型

在分析了沙坪坝区森林火灾与气象条件关系的基础上, 根据沙坪坝区的气候特点和森林火险气象等级的基本分布规律, 建立了沙坪坝区的森林火险气象条件等级预报模型, 其核心方程为:

$$F(WI) = F(K) + F(T) + F(H) + F(R) + F(S). \quad (2)$$

式中:  $F(WI)$  是火险气象指数;  $F(K)$  是气候指数;  $F(T)$  是气温指数;  $F(H)$  是湿度指数;  $F(R)$  是降水指数;  $F(S)$  是风速指数。

根据沙坪坝区森林火灾与气象条件关系的分析结果, 参考相关文献研究, 并考虑到沙坪坝区本地的气候特点, 制作了森林火险的气象条件指数分级分类表(表 1 和表 2), 结合式(2)的沙坪坝区预报模型, 就可以对沙坪坝区森林火险气象指数进行预报计算。

表 1 气象条件分级

气候背景分级	湿润系数	气候指数 $F(K)$
1	$1.4 < K$	0
2	$1.0 < K \le 1.4$	10
3	$0.6 < K \le 1.0$	20
4	$K \le 0.6$	30
气温分级	日最高气温/°C	气温指数 $F(T)$
1	$T \le 10$	0
2	$10 < T \le 15$	6
3	$15 < T \le 20$	12
4	$20 < T \le 25$	18
5	$25 < T \le 30$	24
6	$30 < T$	30
相对湿度分级	最低相对湿度/%	湿度指数 $F(H)$
1	$70 < H$	0
2	$60 < H \le 70$	6
3	$50 < H \le 60$	12
4	$40 < H \le 50$	18
5	$30 < H \le 40$	24
6	$H \le 30$	30
风速分级	日平均风速/(m/s)	风速指数 $F(S)$
0	$S \le 0.5$	0
1	$0.5 < S \le 1.1$	10
2	$1.1 < S \le 1.8$	20
3	$1.8 < S$	30

表 2 降水量分级

降水量/mm	降水指数 $F(R)$								
	雨日	连续无雨日数/d							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$0.3 \le R < 2$	20	30	40	50	60	70	80	80	80
$2 \le R < 5$	10	20	30	40	50	60	70	80	80
$5 \le R < 10$	0	10	20	30	40	50	60	70	80
$10 \le R$	0	0	10	20	30	40	50	60	80

注: 降水量小于 0.5 mm 时作无降水计算。  $F(R)$  值在 80 以上时, 仍以 80 计算。连续多日的降水以上述规则的最小值计算。

在参照林业、气象等行业森林火险等级标准的基础上, 结合已有的研究成果和沙坪坝区自身特点, 将森林火险气象条件等级指数由低到高分五个级别, 并对每一级别的危险程度、可燃性及蔓延性进行简单描述, 制作了沙坪坝区森林火险气象指数分级及描述表(表 3)。

表 3 火险气象指数分级及描述

火险等级	危险程度	可燃性	蔓延性	气象指数
1	没有	不燃烧	不蔓延	$F(WI) < 40$
2	低度	难燃烧	难蔓延	$40 \le F(WI) < 75$
3	中度	能燃烧	能蔓延	$75 \le F(WI) < 115$
4	高度	易燃烧	易蔓延	$115 \le F(WI) < 155$
5	极度	极易燃烧	极易蔓延	$F(WI) \ge 155$

### 3 火险气象等级预报结果及分析

根据市级预报模型和本文建立起来的区级预报模型, 以每日的实况气象监测数据作为预报值, 对沙坪坝区 2002 - 2009 年的森林火险气象条件等级进行了预报, 并统计分析了等级预报结果。

#### 3.1 火险气象等级的出现频率

图 5 所示为沙坪坝区森林火险气象等级的出现频率。由图 5 可以看到, 森林火险气象等级的出现频率, 2 级和 3 级的频率最高, 分别为 33.8% 和 35%; 4 级的出现频率稍低, 为 19.7%; 1 级和 5 级最低, 仅为 5.9% 和 5.6%。重庆市沙坪坝区属于亚热带季风气候, 较为湿润, 因此森林火险气象等级 2 级和 3 级的出现频率较高, 森林火险气象等级各级别的这一分布规律较为合理。

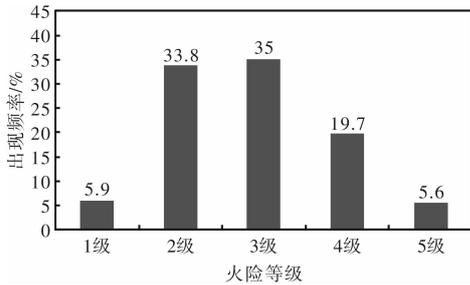


图 5 火险气象等级的出现频率

#### 3.2 火险气象等级的年变化

图 6 所示为沙坪坝区森林火险气象等级的年变化情况。由图 6 可以看到, 7 - 9 月的火险气象等级最高, 2 - 4 月次之。由于重庆市夏、秋季之间容易出现高温伏旱天气, 这种天气状况下, 气温非常高, 森林可燃物也较干燥, 森林火险也就较高。其次, 重庆市冬末春初也容易出现干旱天气, 虽然气温不高, 但森林可燃物干燥, 森林火险同样较高。森林火险气象等级的年变化情况与重庆市沙坪坝区气候背景的年变化情况较为吻合, 因此, 本预报模型可以反映出沙坪坝区森林火险气象等级的年变化特征。

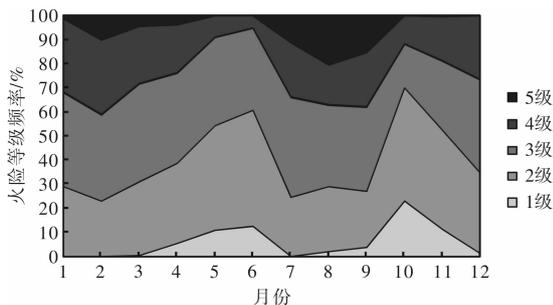


图 6 火险气象等级的年变化

#### 3.3 森林火灾与火险气象等级

为了进一步了解沙坪坝区森林火险气象等级

预报模型的适用性, 本文以沙坪坝区 2000 年以来有详细过火面积的几次森林火灾为例, 统计了其过火面积与相应的火险气象等级(图 7)。从图 7 中可以看到, 面积最大的两次森林火灾均发生在 2006 年的特大高温伏旱期间, 森林火险气象等级的预报结果也是 5 级。8 次森林火灾中, 仅有一次火灾的火险气象等级为 3 级, 其余均是 4 ~ 5 级。总的来说, 火灾期间的火险气象等级预报, 预报等级都比较高, 都反映出了出现灾害的危险性, 因此本预报模型具有一定的实用性。

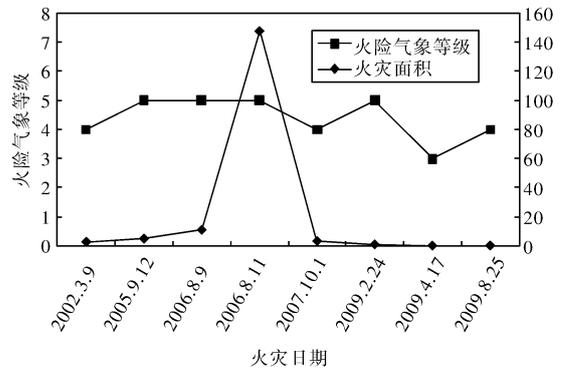


图 7 森林火灾与火险气象等级

### 4 结论

气象条件是引起森林火灾发生的最重要因素之一, 基于重庆市沙坪坝区的气象数据和森林火灾数据, 探讨了主要气象因子对森林火险的影响, 建立了沙坪坝区森林火险气象等级预报模型, 并统计分析了等级预报结果, 得到以下结论:

(1) 气象条件与森林火灾之间的关系非常密切。月湿润度、气温、湿度、降水、风速与森林火灾之间都有密切联系, 是建立森林火险气象等级预报模型的重要指标因子。

(2) 沙坪坝区森林火险气象等级预报模型的预报结果能反映出沙坪坝区森林火险的主要分布特征。整个火险气象等级的频率分布, 2 级和 3 级的频率最高, 4 级次之, 1 级和 5 级最低, 森林火险气象等级各级别的这一分布规律较为合理。

(3) 沙坪坝区森林火险气象等级预报模型可以反映出合理的年变化特征。森林火险气象等级, 7 - 9 月的火险气象等级最高, 2 - 4 月次之, 其余月份较低, 与重庆市沙坪坝区气候背景的年变化情况较为吻合。

(4) 建立的沙坪坝区森林火险气象等级预报模型能达到业务应用的要求。该预报模型, 预报参数容易获取, 等级分布合理, 能较准确地反映出森林火灾气象条件的危险程度, 对于提高沙坪坝区森林火险气象服务水平、减少减轻森林火灾造成的损失都有重要意义。

## 参考文献:

- [1] 狄丽颖, 孙仁义. 中国森林火灾研究综述[J]. 灾害学, 2007, 22(4): 118-123.
- [2] 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.
- [3] 田晓瑞, Douglas J McRae, Jin Jizhong, 等. 大兴安岭地区森林火险变化及 FWI 适用性评估[J]. 林业科学, 2010, 46(5): 127-132.
- [4] Castro F X, Tudela A, Sebastia M T. Modeling moisture content in shrubs to predict fire risk in Catalonia (Spain) [J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2003, 116(1/2): 49-59.
- [5] Nicole M. Comparison of Canadian forest fire danger rating system and national fire danger rating system fire indices derived from weather research and forecasting (WRF) model data for the June 2005 interior Alaska wildfires [J]. Atmospheric Research, 2010, 95(2/3): 290-306.
- [6] 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.
- [7] 牛若芸, 翟盘茂, 余万明. 森林火险气象指数的应用研究[J]. 应用气象学报, 2007, 18(4): 447-449.
- [8] 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.
- [9] Thomas Z, Gianni B P, Patricia M, et al. Weather and human impacts on forest fires: 100 years of fire history in two climatic regions of Switzerland. [J] Forest Ecology and Management, 2011, 261(12): 2188-2199.
- [10] 于文颖, 周广胜, 赵先丽, 等. 大兴安岭林区火灾特征及影响因素[J]. 气象与环境学报, 2009, 25(4): 1-5.
- [11] 易浩若, 纪平, 覃先林. 全国森林火险预报系统的研究与运行[J]. 林业科学, 2004, 40(3): 203-207.
- [12] 戴有学, 代淑媚, 郑峰燕, 等. 临汾市森林火险等级预报系统及其应用[J]. 气象科技, 2008, 36(6): 826-829.
- [13] 鲁韦坤, 李湘, 余凌翔, 等. 云南省森林火险气象等级区划研究[J]. 大气科学学报, 2011, 34(3): 322-328.
- [14] 刘星光, 张健. 高森林火险天气形势及其前期气候特征与预报[J]. 自然灾害学报, 2010, 19(1): 192-198.
- [15] 傅泽强, 陈动. 大兴安岭森林火灾与气象条件的相互关系[J]. 东北林业大学学报, 2011, 29(1): 12-15.
- [16] 田晓瑞, 赵凤君, 舒立福, 等. 西南林区卫星监测热点及森林火险天气指数分析[J]. 林业科学研究, 2010, 23(4): 523-529.

## Study on Meteorological Condition and Forecast of Forest Fire Danger Grading

### —A Case Study in Shapingba District of Chongqing

He Zeneng<sup>1</sup>, Tang Xiaoping<sup>2</sup> and Tan Bingquan<sup>2</sup>

(1. Chongqing Institute of Meteorological Sciences, Chongqing 401147, China;

2. Shapingba Meteorological Bureau, Chongqing 400030, China)

**Abstract:** Based on everyday meteorological data of Shapingba meteorological station and forest fire data from 1991 to 2009, the connection of forest fire and meteorological conditions such as climate background, air temperature, humidity, precipitation and wind speed is analyzed. Combined with geographical and climate character, the forecast model of forest fire danger weather grading for Shapingba is established. The forecast results were validated with the forest fire data. It showed that there is good relativity between forest fire and weather condition. Climate background, air temperature, humidity, precipitation and wind speed could be used as the forecast factor of forest fire danger weather grading for Shapingba. Accordingly, better forecast results could be gained. The results of forecast model for Shapingba could represent the character of forest fire danger grading distribution and annual change, and gain the request of service operation.

**Key words:** forest fire danger; meteorological condition; grades forecast; Shapingba District of Chongqing