

甘肃省林区气候特征及其与森林火险的关系

许东蓓^{1,2},蒲肃¹,黄玉霞¹,王小勇¹,何金梅¹

(1 兰州中心气象台,甘肃 兰州 730020;2 中国气象局 兰州干旱气象研究所 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室,甘肃 兰州 730020)

【摘 要】 【目的】为保护和发展甘肃省现有森林,改善自然资源匮乏、生态环境脆弱的局面提供参考依据。【方法】利用甘肃林区 1971~2003 年气象要素、1988~2003 年森林火灾及 1990~2001 年植被指数资料,采用统计分析方法对甘肃 11 个主要林区的气候特征及变化进行了分析,并对林区气象条件与火险的关系进行了研究。【结果】甘肃林区气温自东南向西北、由盆地向高山逐渐递减,各林区气温在 1971~2003 年总体呈上升趋势;林区降水量自东南向西北递减,且逐年呈下降的趋势。各林区相对湿度的年变化有春低秋高和冬低秋高 2 种类型,蒸发量具有明显的季节变化特征;在 3~10 月植物生长期,干旱现象明显,近十几年来干旱状况较严重。气象要素及干旱指数与森林火险密切相关。【结论】在气温高、湿度大、降水量多、干旱指数高的季节,火灾发生率较低,而在天气寒冷、空气干燥、降水量稀少、干旱指数低的季节,火灾发生率较高。相对湿度、平均气温、最低气温、最高气温、降水量等气象要素及干旱指数,可用于甘肃森林火险的预警工作。

【关键词】 森林;气候特征;森林火险;甘肃省
【中图分类号】 P463.22;S716 【文献标识码】 A 【文章编号】 1671-9387(2008)02-0097-07

Study on climatic characteristics of forest in Gansu and the its connection with forest fire danger

XU Dong-bei^{1,2},PU Su¹,HUANG Yu-xia¹,WANG Xiao-yong¹,HE Jin-mei¹

(1 Lanzhou Central Meteorological Observatory,Lanzhou,Gansu 730020,China;2 Key Laboratory of Arid Climate Change and Disaster Reducing of Gansu Province, Institute of Arid Meteorology,China Meteorological Administration,Lanzhou,Gansu 730020,China)

Abstract:【Objective】Reference is provided in order to protect the forest in Gansu,and to improve natural resources and environment.【Method】Using the data of forest meteorological factors from 1971 to 2003,forest fire from 1988 to 2003 and NDVI from 1990 to 2001 in Gansu province,the characteristics and changes of forest climate were analyzed,and the connections between meteorological condition and fire danger were studied too.【Result】The result shows that the forest temperature in Gansu decreases gradually from southeast to northwest and from basin to mountain,and tends to increase from 1971 to 2003. The forest precipitation also decreases from southeast to northwest,and tends to decrease year after year. The relative humidity is lowest in spring and highest in autumn,or lowest in winter and highest in autumn, and the evaporation changes clearly within a year. The drought is severe from March to October every year,which becomes more and more serious in the latest ten years. The meteorological factors and drought index are in close connection to forest fire danger.【Conciusion】The forest fire frequency is lower when the temperature and humidity are higher,and precipitation is abundant,whereas is higher when it is colder and drier. It is feasible to apply humidity,temperature,precipitation and drought index to the fire danger forecast model of

* [收稿日期] 2007-03-08
[基金项目] 科技部科研院所社会公益研究专项(2004DIB5J192)
[作者简介] 许东蓓(1968—),女,浙江东阳人,高级工程师,硕士,主要从事资源气象与环境气象研究。

Gansu.

Key words: forest; climatic characteristics; forest fire danger; Gansu

甘肃省是我国大陆的地理中心,地处黄土高原、内蒙古高原和青藏高原的交汇地带,同时又是我国东部季风区、西北干旱区和青藏高原气候区三大自然区的交汇地。特殊的地理位置导致其自然特征与气候特征的复杂性和特殊性,使之兼具三大自然区及其过渡带的特点。甘肃境内分布有白龙江、洮河、小陇山、子午岭、太子山、大夏河、岷江、康南、关山、祁连山、马衔山等 11 个主要林区。据第 5 次森林资源清查结果显示,至 2001 年,甘肃省森林覆盖率为 9.90%,仅居全国第 25 位^[1]。因此,做好森林火险预报及研究工作,保护和发展森林资源,在该地区显得尤为重要。

随着我国林业的逐步发展,有关森林生态与森林火险预报的研究也取得了丰硕成果。如傅泽强等^[2]利用内蒙古大兴安岭林区近 30 年的林火资料和临近火点的气象资料,分析了火险的时空分布特征及其与气候条件的关系;吕晋文等^[3]分析了广东省森林火险与多种要素的关系,并用统计方法建立了广东省森林火险天气预报系统;李佩萍等^[4]研究发现,降水量、相对湿度、气温和风等因素直接影响近期火灾的发生和发展,并提出预防和扑救森林火灾,应采取森林火险等级预报、人工增雨防火灭火等措施,充分利用气象因子的变化进行防火灭火;施望芝^[5]通过对湖北省森林火灾进行分析,建立了一套较客观的火险天气环流形势预报指标。但是,综观相关研究成果可以发现,有关林区气候特征的研究较为缺乏。同时,针对三大高原交汇地带森林气象条件对火险影响的研究尚属空白。另外在干旱地区森林火险的研究中,尚未见到分析干旱指数与森林火险相关性的内容。本研究分析了近几十年来甘肃林区的降水量、气温以及干旱指数等气候条件及其变化,探讨了森林气象条件与森林火险的关系,旨在为保护和发展甘肃省现有森林,改善自然资源匮乏、生态环境脆弱的局面提供参考依据。

1 资料来源与分析方法

1.1 资料来源

1.1.1 气象要素资料 来自 1971~2003 年甘肃省白龙江、洮河、小陇山、子午岭、太子山、大夏河、岷江、康南、关山、祁连山、马衔山等 11 个主要林区及其周边共 47 个气象站所观测的逐日降水量、气温、

最高气温、最低气温、平均相对湿度、蒸发量等。经计算得到各林区气象要素的日、旬、月平均值。

1.1.2 火灾资料 来自甘肃省林业厅森林防火办 1988~2003 年甘肃省林区森林火灾统计结果。

1.1.3 卫星遥感资料 来自国家卫星气象中心 1990~2001 年 NOAA 卫星逐旬归一化植被指数统计结果,格距为 $0.072^{\circ} \times 0.072^{\circ}$ 。分别对甘肃各林区所在经纬度范围的旬植被指数格点资料进行平均,得到该林区的逐旬平均植被指数,进而求得逐月平均植被指数。

1.2 分析方法

基本方法采用统计分析法,另外引进中国气象局气候中心气候影响评价业务化的干旱指数,其计算公式如下:

单站干旱指数:

$$I_k = Z - \alpha \times \frac{T - \bar{T}}{\sigma_T}; \quad (1)$$

区域干旱指数:

$$D_k = \frac{2}{m_j} \sum_{j=1}^m I_k. \quad (2)$$

式中: Z 为某时段标准化降水指数, α 为气温权重系数(取 0.2), T 为某时段平均气温, $\bar{T}$ 为 1971~2000 年气温多年平均值, σ_T 为气温标准差, m 为区域内观测站总数。

2 结果与分析

2.1 甘肃省林区的气候特点

2.1.1 气温 位于甘肃东南部的白龙江、康南、岷江和小陇山等林区,高山、河川、盆地相间,气候温暖,年平均气温为 $10.9 \sim 12.4^{\circ}\text{C}$;位于陇东的关山和子午岭等林区,地处黄土高原,冬无严寒,夏无酷热,气候温和,年平均气温为 $8.4 \sim 9.0^{\circ}\text{C}$;位于陇中的马衔山林区,地处黄土高原,温度宜人,年平均气温为 8.3°C ;位于青藏高原东部边缘的洮河、大夏河、太子山等林区,山地起伏,气候严寒,年平均气温为 $2.9 \sim 6.1^{\circ}\text{C}$;位于河西地区与青海交界地的祁连山林区,地形复杂,气温垂直变化较大,气温等值线大致与地形等高线平行,海拔 3 000 m 以下地区的年平均气温为 $0 \sim 6.5^{\circ}\text{C}$;海拔 3 000 m 以上地区的年平均气温在 0°C 以下。由此可见,甘肃各林区气温空间分布差异较大,气温分布趋势自东南向西北,

由盆地、河谷向高原、高山逐渐递减。

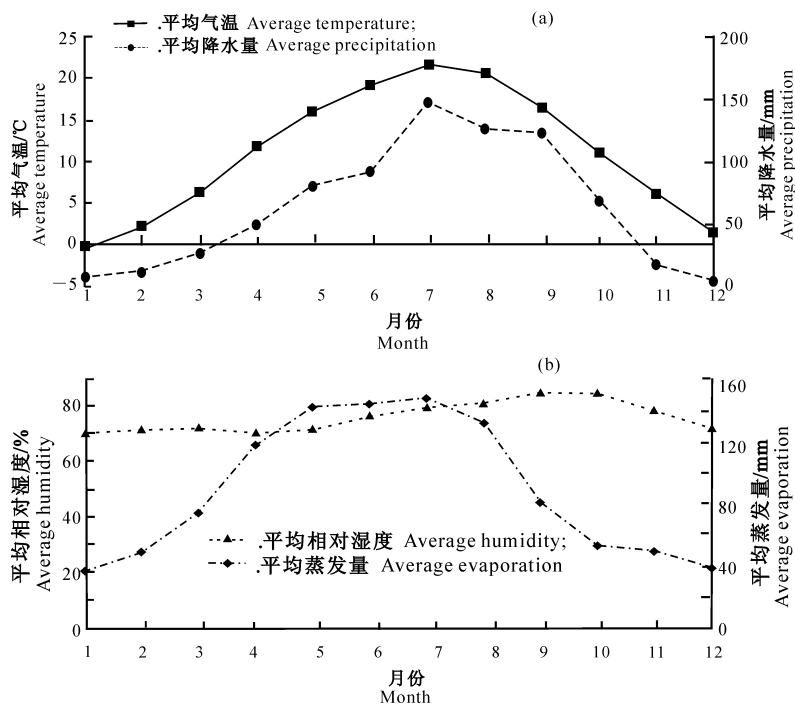


图 1 甘肃康南林区平均气温、降水量、相对湿度和蒸发量的月际变化
(a). 平均气温、降水量;(b). 平均相对湿度、蒸发量

Fig. 1 Changing curve of temperature, precipitation, humidity and evaporation of Kangnan forest in Gansu
(a). Changing curve of temperature and precipitation; (b). Changing curve of humidity and evaporation

甘肃各林区气温的月际变化均为单峰型。以康南林区为例(图 1(a)), 每年夏季(6~8 月)太阳辐射最强, 气温最高, 最热月出现在 7 月; 冬季(11 月~翌年 1 月)太阳辐射最弱, 加之冬季风势强盛, 气温较低, 最冷月为 1 月; 月平均气温在春季(3~5 月)的上升速度与秋季(9~11 月)的下降速度相近。在夏季, 除祁连山、太子山、洮河及大夏河等地势较高的林区外, 其他各林区月平均气温最高均超过 20

℃; 在冬季, 除白龙江和岷江 2 个最偏南的林区外, 其他各林区月平均气温最低在 0℃以下。

1971~2003 年, 甘肃各林区气温总体呈上升的趋势, 尤其自 20 世纪 80 年代以来, 气温增加更加明显, 其中 1998 年为近 30 年来气温最高的年份。大夏河林区自 1997 年开始, 连续多年气温保持正距平, 最高达 1.3℃(1998 年), 是气温明显偏高的林区(图 2)。

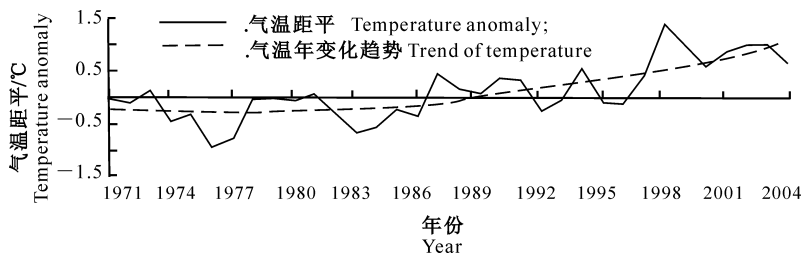


图 2 甘肃大夏河林区气温的年际变化
Fig. 2 Change of annual temperature of Daxiahe forest in Gansu

2.1.2 降 水 甘肃各林区降水量空间分布不均, 大致从东南向西北递减。位于甘肃东南部的白龙江、康南、岷江和小陇山等林区, 年平均降水量为 488.3~757.3 mm; 位于陇东的关山和子午岭等林

区, 年平均降水量为 524.4~538.5 mm; 位于青藏高原东部边缘的洮河、大夏河、太子山等林区, 年平均降水量为 492.9~546.7 mm; 位于中部地区的马衔山林区, 年平均降水量约为 346.7 mm; 位于河西

地区与青海交界地的祁连山林区,年平均降水量约为 178.6 mm,其中东段(约 252.3 mm)多于中段(约 169.6 mm),中段多于西段(约 58.3 mm)。

分析各大林区降水量的月际变化发现,由于每年夏季(6~8 月份)甘肃省上空盛行偏南及偏东气流,地面为低压控制,气候暖湿,降水量较多,因此各林区降水量最多月一般出现在 7 月。其中康南林区 7 月降水量最大,为 147 mm(图 1(a))。每年冬季甘肃上空盛行西北气流,地面为强大的蒙古高压控制,气候干冷,降水量稀少,因此降水量最少月出现在冬

季 12 月。其中马衔山林区 12 月平均降水量仅为 0.4 mm,白龙江林区为 0.7 mm,祁连山林区为 1.4 mm。

分析各大林区降水量的年际变化趋势可以看出,甘肃林区降水量在 70 年代呈现上升趋势,80 年代比较平稳,90 年代开始下降。在 1994~2002 年连续多年干旱期间,甘肃各林区降水量逐年减少,尤其在东南部的白龙江、康南、岷江和小陇山等林区,这种趋势更加明显(图 3)。除少数林区外,降水量最少的年份均为 1997 年。

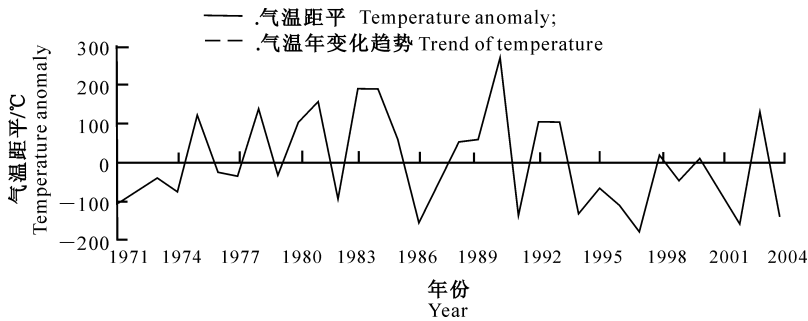


图 3 甘肃小陇山林区降水量的年际变化

Fig. 3 Change of annual precipitation of Xiaolongshan forest in Gansu

2.1.3 相对湿度与蒸发量 年平均相对湿度的分布受温度和空气含水量的共同支配。在甘肃省各林区中,位于东南部的康南林区年平均相对湿度最大,为 76%;祁连山林区最小,为 51%。

相对湿度的年变化主要与气温的年变化和干湿季节更替相关。甘肃省各林区相对湿度的年变化可分为春低秋高和冬低秋高 2 种类型。其中春低秋高型主要分布在康南、关山、马衔山、太子山等林区,相对湿度最高月一般出现在 9 月,最低月出现在 4 月(图 1(b));冬低秋高型主要分布在白龙江、大夏河、岷江、洮河等林区,相对湿度最高月一般出现在 9 月,最低月出现在 1 月。

甘肃省各林区的年蒸发量为 1 095~1 895 mm。其中蒸发量较小的为康南和小陇山等林区,蒸发量较大的为白龙江、祁连山等林区,且蒸发量具有明显的季节变化特征。本研究分析表明,影响年蒸发量的主要因子是气温,二者具有良好的相关关系。在甘肃的 11 个主要林区中,多数林区最大蒸发量出现在 7 月,子午岭、祁连山等少数林区出现在 6 月;多数林区蒸发量最小月出现在 1 月,仅有小陇山林区出现在 12 月(图 1(b))。

2.1.4 干旱 甘肃各地年降水量在多数年份中比多年平均值偏少,少数年份偏多。在降水量正常的年份,对农作物而言水分仍显不足,若遇降水量偏

少年份,则往往造成旱灾。

以甘肃洮河林区为例(图 4),在 3~10 月植物生长期干旱现象明显,主要集中在春(3~5 月)、夏(6~8 月)、秋(9~11 月)几个时间段。少数年份局部地方甚至发生春夏连旱、春夏秋连旱、夏秋连旱现象,严重威胁着植物的生长。

干旱指数年际变化(以甘肃关山林区为例(图 5))清楚地反映出,随着降水量的逐年减少,干旱状况逐年加剧。20 世纪 90 年代以来干旱状况较严重,甘肃多数林区在 1995 年后旱情更为突出。瞿汶等^[6]研究表明,甘肃省在 1994~2001 年连续 8 年出现了大范围极端干旱气候,尤其在 1995,1997,2000 和 2001 年,极端干旱气候持续时间之长、范围之广均为 70 年来所少见。尽管 2003 年降水量较多,干旱状况有所缓和,但干旱指数月变化趋势显示,该年干旱状况依然存在。

2.2 甘肃省林区气象条件与火险的关系

2.2.1 综合火险指数的建立 在多数森林火险预报方法研究中,许多研究者将气象因子、火险相关条件、植被状况划分为若干等级,对应不同的森林火险天气指数,从而建立了火险天气预报的数学模型^[7-8]。但上述方法加入了许多经验因素,在客观定量上均存在着一定不足。

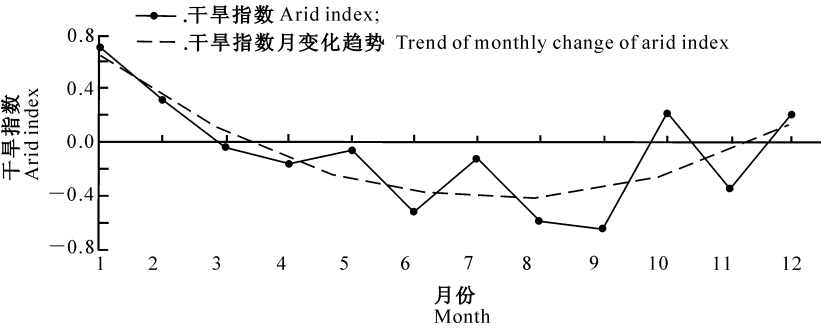


图 4 甘肃洮河林区干旱指数的月际变化
Fig. 4 Changing curve of drought index of Taohe forest in Gansu

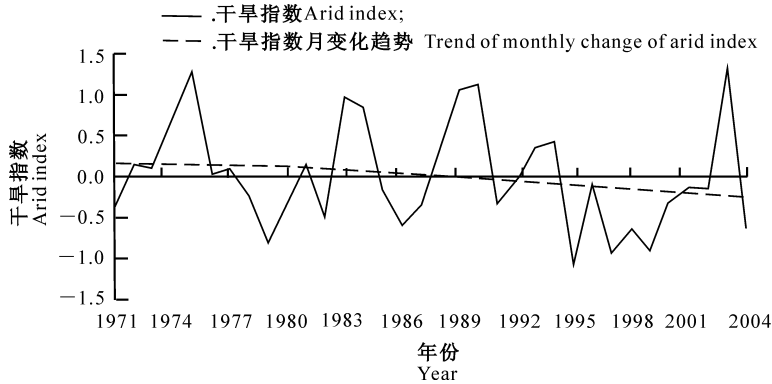


图 5 甘肃关山林区干旱指数的年际变化
Fig. 5 Change of annual drought index of Guanshan forest in Gansu

归一化差分植被指数(NDVI),是 NOAA 气象卫星通道 1(0.58~0.68 μm)与通道 2(0.725~1.1 μm)探测到的地物白天对太阳辐射中可见光和近红外光的反射率组合,是世界上监测植被类型差异、生长状态、生态背景的重要指数。对甘肃省森林火灾发生次数与 NDVI 进行相关分析表明^[9],火灾发生次数与 NDVI 呈显著负相关,即当 NDVI 较低时森林火灾发生率较高,其中火灾发生次数与当月 NDVI 相关系数为-0.71,与前一月的相关系数为-0.69,均可通过 0.01 的置信度检验。

陈天锡等^[10]研究表明,大气相对湿度可直接影响可燃物体的水分蒸发,当相对湿度较小时,可燃物水分蒸发快,林火易发生和蔓延。本研究利用 1988~2003 甘肃省林区火灾发生次数与平均相对湿度进行相关分析表明,火灾发生次数与平均相对湿度呈显著负相关,与当月及前一月平均湿度的相关系数分别为-0.67 及-0.66,均可通过 0.01 的置信度检验。

由此可见,NDVI 与大气相对湿度的变化规律,均能很好地反映火灾发生次数的变化趋势,其与相对温度的相关性和与森林火灾发生次数的相关性基本相同,相关系数相差不大。可见,在缺乏对各林区

实地监测资料的情况下,利用林区 NDVI 反映植物和土壤的含水状况,利用空气相对湿度反映空气的干湿程度,将二者相结合建立综合指标来预报森林火险状况,具有一定的理论意义。考虑二者对火灾的相关性基本相同,构造如下综合火险指数:

$$F=(\text{NDVI}+U)/2。(3)$$

式中: F 为综合火险指数,NDVI 为归一化差分植被指数, U 为空气相对湿度,均是 0,1 化的特征量。 F 越大,表明植被指数与空气相对湿度越大,即植物、大气的含水率以及土壤湿度越大,发生火灾的概率就越小,反之亦然。

我国林业部于 1995-12-01 日颁布实施了中华人民共和国林业行业标准《全国森林火险天气等级》,将森林火险天气等级由低到高划分为 5 级。考虑到与《全国森林火险天气等级》标准的一致性,同时参考中国林业科学研究院资源信息研究所易浩若等^[11]的相关研究结果,按照正态分布及综合火险指数,将甘肃森林火险等级划分为 5 级(表 1)。按照表 1 中甘肃森林综合火险指数的等级,经计算发现,甘肃各林区出现 4 级或 5 级火险的时间主要集中在 1~5 月和 11~12 月,7~9 月以无火险为主,6 月和 10 月往往为低、中度火险。由此可见,甘肃每年的

森林防火期应从 11 月开始到翌年 5 月底结束。

表 1 甘肃省森林火险等级的划分结果
Table 1 Grade of forest fire in Gansu

等级 Grade	综合火险指数 F Fire danger index	危险程度 Dangerousity	燃烧及蔓延程度 Dgree of burning and extension
1	$F \geq 0.748$	没有危险 No danger	不能燃烧和蔓延 Impossible to burn and extend
2	$0.640 \leq F < 0.748$	低度危险 Low dangerousity	难以燃烧和蔓延 Difficult to burn and extend
3	$0.556 \leq F < 0.640$	中度危险 Middle dangerousity	可能燃烧和蔓延 Possible to burn and extend
4	$0.471 \leq F < 0.556$	高度危险 High dangerousity	易燃烧和蔓延 Burn and extend easily
5	$F < 0.471$	极度危险 Highest dangerousity	极易燃烧和蔓延 Burn and extend more easily

2.2.2 气象条件与综合火险指数的相关性 将 1990~2001 年甘肃各林区气象要素资料与对应的逐月、旬综合火险指数资料进行相关性分析,结果表明,综合火险指数与当月(旬)或前月(旬)平均气温、平均相对湿度、最高气温、最低气温、降水量以及前期平均蒸发量呈正相关,相关系数一般均在 0.25 以上,均可通过 0.01 的置信度检验。其中综合火险指数与当月平均相对湿度、前月平均气温、前月最低气温、前月最高气温以及前月降水量的相关性最显著,相关系数分别为 0.84,0.67,0.68,0.66,0.62。由此可见,在气温高、湿度大、降水量多的季节,火灾发生率较低;而在天气寒冷、空气干燥、降水量稀少的季节,火灾发生率较高。另外,综合火险指数与平均气压、平均风速也具有一定的相关性,因此可以将上述气象要素用于甘肃森林火险预报之中。

对甘肃省森林月、旬综合火险指数与干旱指数进行相关分析表明,综合火险指数与干旱指数存在正相关性,其中与同期干旱指数的相关性更显著。多数林区综合火险指数与同期干旱指数的相关系数均大于 0.25($n=141$),可通过 0.01 的置信度检验。这表明干旱指数越大,综合火险指数也越大,火险等级越低,火灾发生的可能性就越小,反之火灾发生的可能性越大。因此,将干旱指数作为预报因子之一来建立甘肃森林火险等级预报模型,既具有科学依据,也是针对干旱地区气候特点对火险预报方法的一种创新尝试。

3 结论与讨论

甘肃林区气温分布趋势自东南向西北,由盆地、河谷向高原、高山逐渐递减。气温最高月为 7 月,最低月为 1 月。在 1971~2003 年各林区气温总体呈上升趋势,尤其是 20 世纪 80 年代以来气温增加趋势明显。

甘肃林区降水量空间分布不均,且自东南向西北递减。各林区降水最多月一般出现在 7 月,降水

最少月出现在 12 月。其中马衔山、白龙江林区、祁连山林区 12 月降水量最少,是火灾的高发区。近几十年来各林区降水量呈逐年下降趋势。

各林区相对湿度的年变化有春低秋高和冬低秋高 2 种类型。蒸发量具有明显的季节变化特征,大多数林区最大蒸发量出现在 7 月,最小蒸发量出现在 1 月。

在 3~10 月植物生长期,甘肃林区干旱现象明显。近十几年来干旱状况较为严重,多数林区在 1995 年后旱情更为严重。

气象要素与森林火险密切相关。在气温高、湿度大、降水量多的季节,火灾发生率较低,而在天气寒冷、空气干燥、降水量稀少的季节发生率较高。各林区干旱指数越大,火险等级越低,火灾发生的可能性越小,反之火灾发生的可能性越大。上述结论为开展甘肃森林火险预警工作提供了依据。

[参考文献]

[1] 甘肃省第五次森林资源清查结果[R]. 兰州:甘肃省林业厅, 2003.
The fifth investigation of forest resource of Gansu [R]. Lanzhou:Gansu Forestry Bureau,2003. (in Chinese)

[2] 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.
Fu Z Q,Dai E F. Seasonal dynamic characteristics and climatic condition analysis of forestry fire risk in Daxinganling mountains[J]. Journal of Natural Disasters,2001,10(4):113-116. (in Chinese)

[3] 吕晋文,卢柏威. 广东省森林火险天气预报系统[J]. 森林防火, 1994(4):29-30.
Lu J W,Lu B W. Weather forecast system of forest fire danger of Guangdong [J]. Forest Fire Prevention,1994(4):29-30. (in Chinese)

[4] 李佩萍,武建林,韩爱梅. 从气象因子谈森林火灾的预防及扑救[J]. 山西气象,2000(3):14-16.
Li P P,Wu J L,Han A M. Discussion about forest fire prevention using meteorological factors [J]. Shanxi Meteorology, 2000(3):14-16. (in Chinese)

[5] 施望芝. 林火多因子综合分析及预报方法[J]. 气象,1997,23

(7):55-57.

Shi W Z. Analysis on multi-factor of weather prediction about forest fire and forecast method[J]. Meteorological Monthly, 1997,23(7):55-57. (in Chinese)

[6] 瞿 汶,刘德祥,杨苏华. 甘肃省 1994~2001 年极端干旱气候特征研究[J]. 甘肃气象,2003,21(1):343-347.

Qu W,Liu D X,Yang S H. A study of extreme arid climate in Gansu province from 1994 to 2001[J]. Gansu Miteorology, 2003,21(1):343-347. (in Chinese)

[7] 李福强,李莹莹,刘忠礼,等. 吉林地区森林火险天气预报的研究[J]. 吉林林业科技,1998(2):5-7.

Li F Q,Li Y Y,Liu Z L,et,al. Analysis on weather forecast of forest fire in Jilin[J]. Jilin forestry Science and Technology, 1998(2):5-7. (in Chinese)

[8] 张尚印,祝昌汉,高 歌,等. 森林火灾天气等级确定及监测预报方法[J]. 气象科技,2001(2):45-48.

Zhang S Y,Zhu C H,Gao G,et,al. The weather grades and forecasting methods of forest fire [J]. Meteorological Science and Technology,2001(2):45-48. (in Chinese)

[9] 黄玉霞,王宝鉴,许东蓓,等. 甘肃森林火灾的分布特征及其与归一化差分植被被指数的关系[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2006,34(5):126-130.

Huang Y X,Wang B J,Xu D B,et al. Distribution fetures of forest fires and relations between forest fires and vegetation index in Gansu province [J]. Journal of Northwest A &. F University:Natural Science Edition,2006,34(5):126-130. (in Chinese)

[10] 陈天锡,陈卫波. 森林火灾与气象条件的关系及其预报和防御[J]. 河南气象,2000(4):25-26.

Chen T X,Chen W B. The relationship between forest fire and meteorological elements and the forecast of forest fire grades and forest fire's defence [J]. Henan Meteorology,2000(4):25-26. (in Chinese)

[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.

Yi H R,ji P,Qin X L. Study on forest fire danger forecast system and its operation in China[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2004,40(3):203-207. (in Chinese)

(上接第 96 页)

[11] 张文玉. 安庆市森林火险等级的确定和中短期预报[J]. 森林防火,1991,12(3):24-27.

Zhang W Y. Establishing and medium-short term forecasting of forest fire grade in Anqing city[J]. Forest Fire Prevention, 1991,12(3):24-27. (in Chinese)

[12] 江风岐. 森林火灾季节和年际变化规律的数学模型[J]. 森林防火,1993,19(2):22-25.

Jiang F Q. Mathematical model of seasonal and annual changing rule of forest fire[J]. Forest Fire Prevention,1993,19(2):22-25. (in Chinese)

[13] 李 勇. 马尔科夫决策规划理论在森林火灾预测中的应用[J]. 森林防火,1992, 15(2):21-24.

Li Y. Application of markov decision programming theory in forest fire forecast[J]. Forest Fire Prevention 1992,15(2):21-24. (in Chinese)