

气候变化对云南省森林火灾的影响

陈 锋¹ 林向东² 牛树奎¹ 王 叁¹ 李 德¹

(1 北京林业大学林学院 2 云南省森林防火指挥部办公室)

摘要: 火灾是森林生态系统最重要的自然干扰因子,森林火灾的发生与气候变化有着十分密切的关系,对森林和人类造成了严重危害。本文在将云南省划分为5个生态区的基础上,选取了年均风速、年均气温日较差、年均湿润系数作为气象要素指标,年森林受害率作为火灾指标,对1982—2008年云南省各生态区气象因子与森林火灾之间的关系进行了研究。结果表明:1) 1982—2008年各生态区气候因子变化趋势明显,年均湿润系数、年均风速变化较为同步,整体上呈显著下降趋势,年气温日较差变化存在非同步性。2) 1982—2008年各生态区年森林受害率均呈现出反曲线式的显著下降趋势,年森林受害率随时间变化且呈显著的S函数关系。3) 不同生态区气象因子对森林受害率的影响不同,年均风速和年均气温日较差对年森林受害率的影响较大,而年均湿润系数对年森林受害率的影响较小,应用逻辑斯蒂回归模型可以很好地解释年森林受害率与气象因子之间的关系。4) 由于植被类型、地形地貌等下垫面性质的差异,不同生态区森林火灾受到气候因素的影响程度不同,在生态I区,植被类型为热带雨林、海拔较低、人为干扰因素较大,气候变化对森林火灾的影响相对较小,在生态V区,植被类型为寒温带针叶林、海拔较高、人口干扰因素较小,气象因子对森林火灾的影响相对较大。森林火灾的发生应是各影响因子协同作用的结果,因此,在进行森林防火区划时,按照生态区划分更为合理,可以为防火部门提供科学的防火决策和管理依据。

关键词: 云南省;生态区;气候变化;森林火灾

中图分类号: S762.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-1522(2012)06-0007-09

CHEN Feng¹; LIN Xiang-dong²; NIU Shu-kui¹; WANG San¹; LI De¹. **Influence of climate change on forest fire in Yunnan Province, southwestern China.** *Journal of Beijing Forestry University* (2012) 34 (6) 7-15 [Ch,27 ref.]

1 College of Forestry, Beijing Forestry University, 100083, P. R. China;

2 Forest Fire Prevention Headquarters Office of Yunnan Province, Kunming, 650000, P. R. China.

In order to study the relationship between meteorological factors of different ecotopes and forest fire during 1982-2008, the annual mean wind speed, daily temperature range and wet coefficient were selected as indicators of meteorological elements, forest suffer rate as indicator of forest fire based on dividing Yunnan Province into five ecotopes. The results showed that: 1) meteorological factor of each ecotope changed obviously, annual mean wet coefficient and wind speed changed relatively synchronous, showing a whole significantly down trend, but the annual mean daily temperature range changed asynchronous. 2) Annual forest suffer rate of each ecotope presented a significant downward trend and showed inverse curve from 1982 to 2008, and the changing pattern of annual forest suffer rate varied with time series and showed a significant "S" function. 3) Different meteorological factors of different ecotopes had distinct influence on forest suffer rate, which was affected by annual mean wind speed and the annual mean daily temperature range more heavily than by the annual mean wet coefficient. Using logistic regression model can well explain the relationship between meteorological factor and forest suffer rate. 4) Due to the difference of vegetation type, topography and other factors, forest fire of each ecotope were affected differently by meteorological factors. In the area of ecotope I, which was covered by non-

收稿日期: 2012-08-18

基金项目: 林业公益性行业科研专项(200804001)。

第一作者: 陈锋, 博士生。主要研究方向: 林火生态学。电话: 13426214022 Email: chenfang566@yahoo.cn 地址: 100083 北京市清华大学 35 号北京林业大学 120 信箱。

责任作者: 牛树奎, 教授, 博士生导师。主要研究方向: 林火生态和景观生态学。电话: 010-62338100 Email: niushukui@bjfu.edu.cn 地址: 同上。

本刊网址: <http://journal.bjfu.edu.cn>

flammable fuels (evergreen broadleaved forest) , lower elevation , and dense population , meteorological factors had limited impact on forest fires. While in the area of ecotope V , which was covered by flammable fuels (coniferous forest) , higher elevation and sparse population , meteorological factors had larger impact on forest fires. Forest fire was the result of various influencing factors together. Therefore , in the forest fire prevention division , dividing by ecotope is more reasonable , which can provide scientific basis for decision making and management of fire prevention for fire department.

Key words Yunnan Province; ecotope; climate change; forest fire

在诸多危害森林的因素中,森林火灾的破坏性最大^[1]。气候与森林火灾的关系密切,是影响林火动态的重要因子,气候变化会引起森林植被类型、可燃物载量及干湿程度的变化,从而影响林火行为和火灾的危害程度。降水、温度和风速是对林火发生有明显影响的3个主要气象因子^[2-4]。干旱、高温、大风是发生重大森林火灾的重要条件。

国内外学者在气候变化与森林火灾发生的关系方面进行了大量研究。Homnann等^[5]对亚马逊和印度尼西亚森林的分析结果表明,森林面积的减小,提高了气温、风速,减少了降水和相对湿度,从而增大了森林火灾的风险。高温天气增加了火灾频率,增大了树木损失;森林的破坏使温度、风速增大,降水量和相对湿度降低,进而增大了火灾频率^[6-7]。Mouillot等^[8]对地中海生态系统火频率和植被动态的影响研究发现,气候变化将导致火灾间隔缩短,火频率增加。Cardoso等^[9]的研究结果表明,在预期气候情景下,亚马逊河流域的火频率将增大。田晓瑞等^[10]认为,气候变暖引起的异常天气频率的增加及森林群落结构的变化,将使火险增加,森林火灾发生的可能性增加。赵凤君等^[11-12]认为,气温的升高,使火险期提前和延长,增加了引燃的可能性;降水的区域间差异加大,增加了某些地区森林火灾发生的可能性。

云南地形复杂,森林资源丰富,森林火灾发生较为频繁,是我国的重点火险区之一^[13]。本文通过对云南省各生态区近30年气候变化规律和森林火灾变化规律的分析,旨在找出各生态区影响森林火灾发生的主要气象因素,探究气象因子与森林火灾之间的真实关系,正确评价该林区气候变化对林火动态的影响,为今后云南地区林火管理策略的制定和中长期预报提供科学依据。

1 研究区概况

云南地处我国西南边陲,位于 $21^{\circ}09' \sim 29^{\circ}15' N$ 、 $97^{\circ}30' \sim 106^{\circ}00' E$ 之间。地势西北高东南低,呈明显的阶梯状下降趋势。云南属于高原型的热带季风气候,夏半年受热带季风暖湿气团控制,冬半年受热带大陆干热气团控制,雨热同季。具有全年热量

充足,夏季温度不高,冬季温暖,气温年较差小,日温差大,雨量充沛的气候特征。全省平均气温为 $24^{\circ}C$,年平均降雨量 $1\,100\,mm$,冬春季降水仅占年降水的20%左右,因此,冬春干旱是云南诱发森林火灾的主要自然条件。

云南火灾主要发生在2月中旬至5月中旬,每年11月份起至次年5月雨季前为森林防火期^[14],森林火灾以地表火最多,占全省森林火灾的95%以上。云南森林类型众多,分布着热带和亚热带常绿阔叶森林以及高寒山地的温带型针叶森林。全省除滇西南系阔叶林为主外,大部分地区主要优势树种是针叶林,面积为 $453\,万\,hm^2$,占全省有林地面积的48.6%。这些针叶纯林均由易燃树种组成,近年人工种植的用材林、飞播林、长江防护林多是松(*Pinus*)、杉(*Picea*)和桉(*Eucalyptus*)树林,也是易燃树种。由于易燃树种占优势的林分面积大,范围广,全省森林火灾发生频繁,火灾损失严重,森林防火工作十分艰巨,是我国重点火险区之一。

2 研究方法

2.1 数据来源

2.1.1 气象数据

气象数据来自中国气象数据共享网,共包括云南36个气象观测站点,站点的分布见图1。气象数据为1980—2008年的逐日平均气温、最高温、最低温、平均相对湿度、平均风速、降雨量资料,统计计算各气象要素的年均值。

2.1.2 森林火灾数据

森林火灾数据来自云南省森林防火指挥部办公室提供的1982—2008年间的森林火灾统计数据,包括火灾的起灭时间、火点位置、受害面积等。

2.1.3 森林面积数据

云南省各地的森林面积数据来自云南省1978、1992、2002年的3次森林资源清查,资料来源于《云南森林》^[15]、《中国森林火险调查与区划》^[16]以及云南省森林资源连续清查第4次复查成果^[17-18]。

2.2 火灾指标与气象因子的选择

森林火灾发生的气象约束条件是气温、空气湿度、风速和降水。本文选取年均湿润系数、年均风



图 1 云南省各生态区气象站点分布

Fig.1 Distribution of meteorological sites for each ecotope of Yunnan Province

速、年均气温日较差(年均日最高温－年均日最低气温)3个因子为气象指标,年森林受害率(某一地区某年森林受害面积/该地区的森林面积×1 000‰)为火灾指标。年均湿润系数根据伊凡诺夫公式求得,计算公式为:

$$D = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} D_i$$
$$D_i = P_i/E_i$$

$E_i = 0.0018(100 - R_i)(25 + T_i)^2$
式中: D 为年均湿润系数; D_i 为第*i*月湿润系数; P_i 为第*i*月降水量,mm; E_i 为第*i*月潜在蒸发量,mm; R_i 为第*i*月平均相对湿度,%; T_i 为第*i*月平均气温,℃。

2.3 生态区划分

基于气候、植被类型、地形地貌等因素,将云南省划分为5个生态区^[9],划分结果见图1和表1。

表 1 云南省各生态区的地貌、气候、植被特征

Tab.1 Characteristics of landform, climate and vegetation for each ecotope of Yunnan Province

生态分区	地貌	年降水量/mm	植被类型
季风热带北缘热带雨林生态区(Ⅰ区)	山间盆地、河谷和低中山交错,海拔1 000~1 800 m	1 250~2 000	热带季节雨林和半常绿季雨林、山地雨林
高原亚热带南部常绿阔叶林生态区(Ⅱ区)	中山山原与峡谷海拔1 500~2 000 m	800~1 600	季风常绿阔叶林
高原亚热带北部常绿阔叶林生态区(Ⅲ区)	丘陵状高原,海拔1 500~3 600 m	800~1 500	常绿阔叶林和云南松(<i>P. yunnanensis</i>)林
亚热带(东部)湿润常绿阔叶林生态区(Ⅳ区)	中山与河谷交错,海拔200~800 m	760	常绿阔叶林
青藏高原东南缘寒温性针叶林、草甸生态区(Ⅴ区)	雪山与峡谷相间,海拔4 000 m左右	600~700	寒温针叶林、草甸

2.4 分析方法

2.4.1 气象数据分析

利用各气象要素的资料,计算各生态区1980—2008年间各年平均值。针对各个气候特征要素,建立云南省各生态区的年均特征序列,即以时间为自

变量,气象要素为因变量,进行线性方程的拟合,根据时间与气候特征的相关系数的大小,讨论各序列的线性变化趋势,并对拟合参数进行显著性检验。

$$\hat{x} = a + bt$$

式中: $\hat{x}$ 为气象要素拟合值; t 为年份; a 、 b 由最小二

乘法确定; b 表示气象要素上升或下降的倾向程度, 用于定量描述气候序列的趋势变化特征。

2.4.2 森林火灾数据分析

以时间为自变量, 年森林受害率为因变量, 利用 S 函数对年森林受害率与时间序列进行拟合, 并对拟合参数进行显著性检验, 探讨各生态区年森林受害率随时间的变化规律。S 函数的表达式为

$$r = \frac{1\ 000}{1 + \exp\left(\frac{t - c}{d}\right)}$$

式中: r 为年森林受害率, %; c 、 d 为参数。

2.4.3 气候因子与年森林受害率关系分析

假设森林受害率随气候因子的变化规律符合逻辑斯蒂曲线, 根据逻辑斯蒂回归模型 $r = 1 / (1 + \exp(-mx + n))$ (x 为气候因子, m 、 n 为参数), 对森林受害率 r 作以下变换: 令 $y = \ln((1 - r) / r)$, 则森林受害率转换值 $y = mx - n$ 。

运用 Pearson 相关分析对 y 与气候因子序列进行互相关性分析, 显著性水平设定为 $\alpha = 0.05$, 找出各生态区与年森林受害率显著相关的年份的气候因子。

对于年森林受害率有显著滞后性影响的气候因子, 若年森林受害率与当年气候因子也显著相关, 取当年和滞后年份的滑动平均值; 若年森林受害率与当年气候因子不相关, 取滞后年份的值。

对选取的气候因子与森林受害率转换值进行多元回归分析, 建立气候因子与森林受害率之间的关系模型。

3 结果与分析

3.1 云南各生态区森林受害率的年际变化规律

森林受害率反映一个地区的森林火灾严重程度。由图 2 可以看出: 近 30 年各生态区森林受害率的变化趋势相似, 总体均呈反曲线式的下降趋势, 各

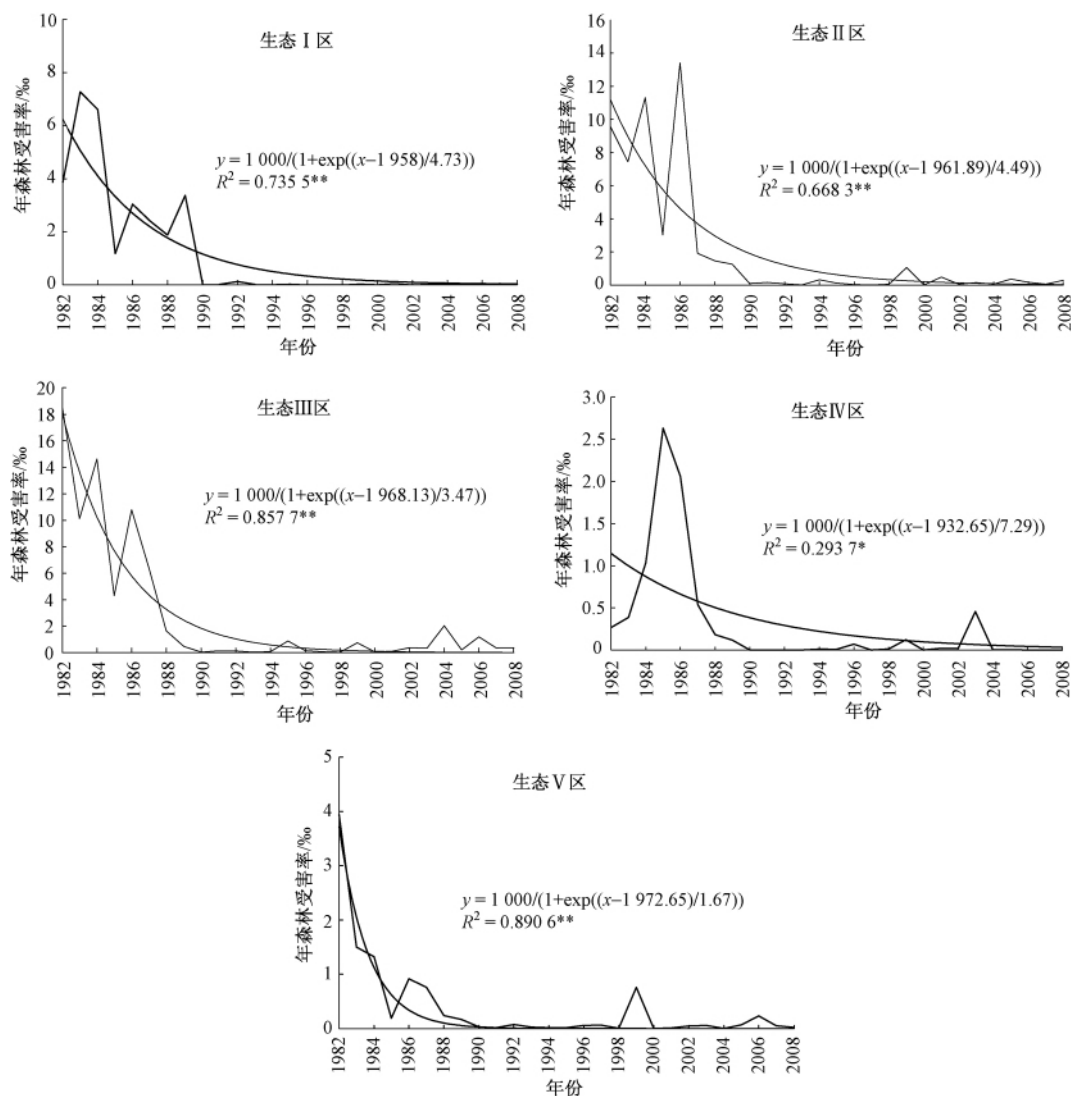


图2 云南省各生态区森林受害率年际变化规律

Fig. 2 Changing pattern of annual forest suffer rate for each ecotope of Yunnan Province

注: ** 表示极显著, * 表示显著。

生态区年森林受害率与时间序列均呈显著 S 函数关系。生态 I 区森林受害率在 80 年代波动较大,出现了 3 次波峰,分别为 1983、1986 和 1989 年;进入 90 年代,森林受害率开始急剧减少,之后一直稳定地维持在较低水平。生态 II 区森林受害率在 1982—1987 年间波动较大,在 1984 和 1986 年出现了 2 次波峰,之后一直保持平稳,森林受害率变化幅度大于 I 区。生态 III 区森林受害率在 1982 年最大,随后在 1984 和 1986 年出现过 2 次波峰,之后开始锐减,1988 年以后表现较为平稳,森林受害率总体变化幅度较大,为 5 个区之首。生态 IV 区森林受害率刚开始时随时间变化升高,1985 年到达顶点,之后急剧下降,到了 90 年代,进入平稳期,森林受害率总体变化幅度是 5 个区中最小的。生态 V 区森林受害率最大值出现在 1982 年,总体波动较小,只在 1986 和 1999 年分别出现了小波峰,1988 年以后较为平稳,森林受害率总体变化幅度较小。总的来说,近 30 年来云南省各生态区森林受害率随时间的变化规律表现为:刚开始时随着时间的推移各生态区森林受害率呈急剧减小趋势,到达一定程度后趋于稳定,各生态区年森林受害率随时间的变化规律呈显著“S”曲线关系;但由于年森林受害率值的范围较小,数据解释的信息有限,仅从图上无法完整地反映出年森林受害率随时间的“S”曲线变化规律,而通过 S 函数对年森林受害率与时间序列的较好拟合及拟合参数的显著性检验,可以说明用“S”曲线能够很好地解释近 30 年来云南省各生态区年森林受害率随时间的变化规律。

3.2 云南省各生态区气候因子与森林受害率的关系

3.2.1 年均湿润系数的年际变化

湿润系数反映气候的干湿状况和森林的火险程度。湿润系数越大,气候越湿润,森林火险程度越低,反之,气候就越干燥,森林火灾发生的危险性越大^[20]。

由图 3 可以看出,各生态区年际湿润系数变化同步,总体均呈下降趋势,生态 I 区至生态 IV 区年际湿润系数下降趋势显著,而生态 V 区波动性较大,变化趋势不显著;5 个区的年际湿润系数下降幅度: I 区 > II 区 > IV 区 > III 区 > V 区。这说明各区森林火险均降低,但生态 I 区至 IV 区趋势明显,生态 V 区趋势不明显。总的来看,近 30 年来云南省气候有变干的趋势,森林火险增加。

3.2.2 年均风速的年际变化

风速对森林火灾的蔓延和发展起着重要的作用,风能加速水分蒸发,促使地被物干燥,着火后还能充分供氧,加速火势蔓延,因此风速是影响林火发

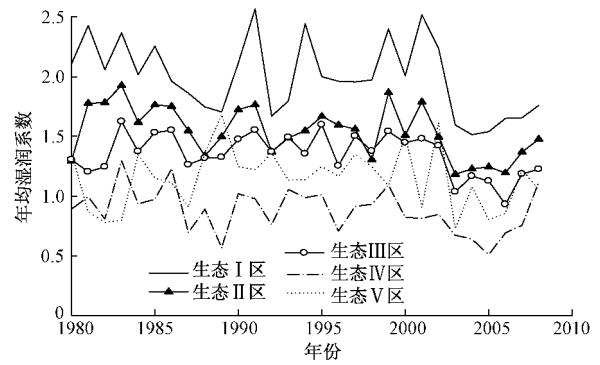


图 3 云南省各生态区年均湿润系数的年际变化

Fig. 3 Inter-annual changes of annual mean moisture coefficient for each ecotype of Yunnan Province

生与蔓延的重要因子^[21]。

由图 4 可以看出,除了生态 I 区变化趋势不明显外,其他生态区的风速年际变化总体均呈显著下降趋势,4 个区的年均风速下降幅度: V 区 > IV 区 > II 区 > III 区,80 年代下降幅度明显,90 年代以后变化不明显,这表明 80 年代生态 II 区至 V 区森林火险明显降低,90 年代森林火险变化趋势不明显。总的来看,近 30 年来云南省年均风速呈显著下降趋势,森林火险明显降低。

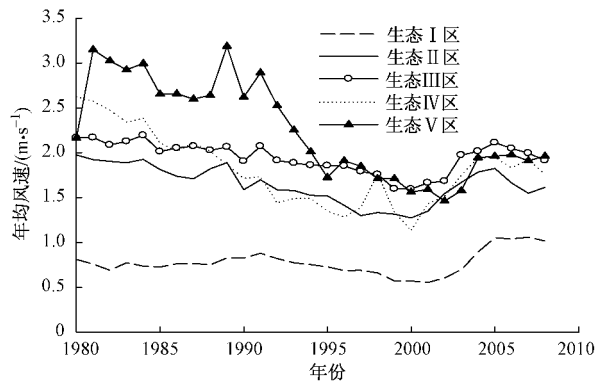


图 4 云南省各生态区年均风速的年际变化

Fig. 4 Inter-annual changes of annual mean wind speed for each ecotype of Yunnan Province

3.2.3 年均气温日较差的年际变化

日较差的大小反应了一个地区的气候特点,日较差越大,大陆性气候越强,气候越干燥。晴天日较差较大,阴天日较差较小。一般来说,一天中日较差越大,气候越干燥,森林火险增加^[22]。

由图 5 可以看出,各生态区气温日较差的年际变化存在非同步性,生态 I 区至 III 区的年气温日较差呈显著的下降趋势,下降幅度: II 区 > III 区 > I 区,生态 IV 区和 V 区年气温日较差整体呈升高的趋势,变化趋势不显著。这说明生态 I 区至 III 区森林火险显著降低,生态 IV 区和 V 区森林火险升高,但趋

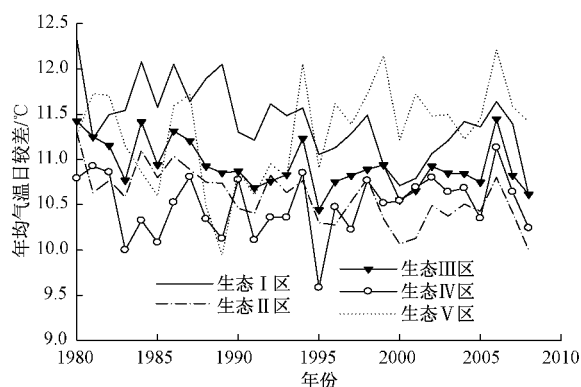


图5 云南省各生态区年均气温日较差的年度变化

Fig. 5 Inter-annual changes of annual mean daily temperature range for each ecotope of Yunnan Province

势不明显。总的来看,近30年来云南省的气温日较差呈下降趋势,森林火险降低。

3.2.4 气候因子与森林受害率的互相关性分析

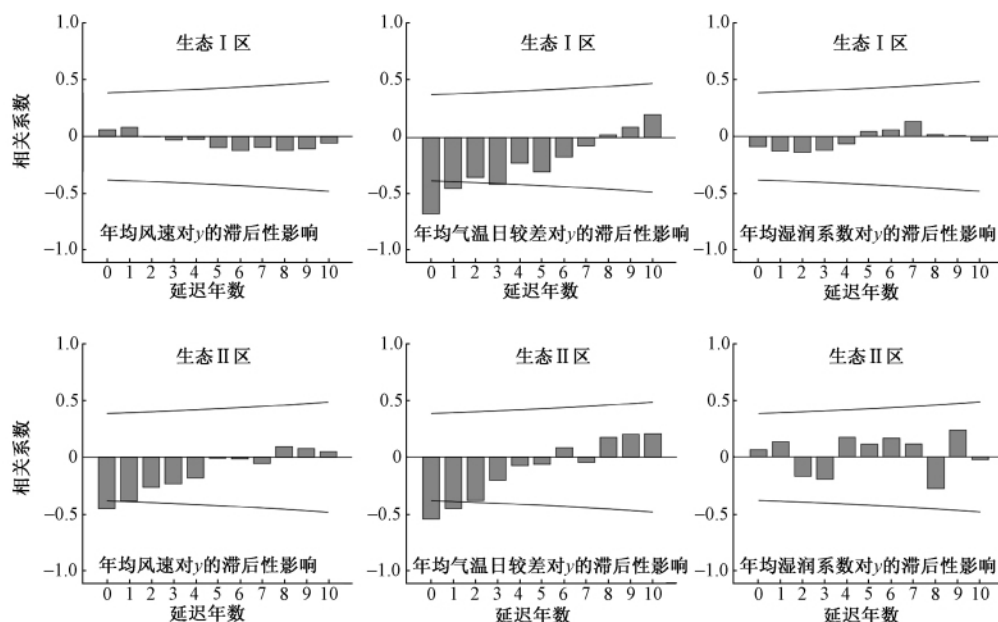
气候因子对森林火灾发生的影响存在滞后性,森林火灾的发生与前期的气象条件密切相关^[23],本研究基于时间序列对气候因子与森林火灾进行互相关性分析,以探究各生态区气候因子对森林火灾的滞后性影响,旨在找出显著影响森林火灾发生的年份的气候因子。

由图6可知,生态I区年均气温日较差与年森林受害率转换值 y 呈显著负相关,即年均气温日较差与年森林受害率呈显著正相关,滞后期为1年,而年均风速和年均湿润系数与年森林受害率关系不显著。生态II区年均风速、年均气温日较差与年森林受害率均呈显著正相关,滞后期为1年。生态III区

年均风速和年均气温日较差与年森林受害率均呈显著正相关,滞后期为1年,而年均湿润系数与年受害率的关系不显著。生态IV区年均风速与年森林受害率呈显著正相关,滞后期为1年;年均气温日较差和年均湿润系数与年森林受害率关系不显著。生态V区年均风速、年均气温日较差与年均森林受害率均呈显著正相关,年均湿润系数与年森林受害率呈显著负相关,均存在1年的滞后期。总的来说,不同生态区的气候因子对森林受害率的影响不同,年森林受害率受年均风速的影响主要体现在当年,这是因为森林受害率主要反映的是森林受害面积,而火灾面积的蔓延主要受当年风速大小的影响,所以,风速对森林受害率的影响不存在滞后性。年森林受害率不仅与当年的年均气温日较差显著相关,而且还受前一年年均气温日较差的影响,原因是气温日较差主要反映了气候的干燥度,前一年的气候干燥状况可以通过影响地表或可燃物的干湿度来影响当年森林火灾的发生。年森林受害率主要与前一年湿润系数显著相关,这是由于在云南省,一般来说,12月至次年4月为干季,6—10月为雨季,而一年的火灾主要集中在干季,因此,当年的森林受害率的大小,主要受前一年降雨量的影响,而湿润系数的大小主要取决于降雨量。

3.2.5 气候因子与森林受害率的回归分析

根据前面互相关性分析的结果,以与森林受害率转换值 y 显著相关的气象因子为自变量, y 为因变量,对各生态区气候因子与 y 进行多元回归分析,并利用公式 $y = \ln((1-r)/r)$ 把 r 还原,结果见表2。



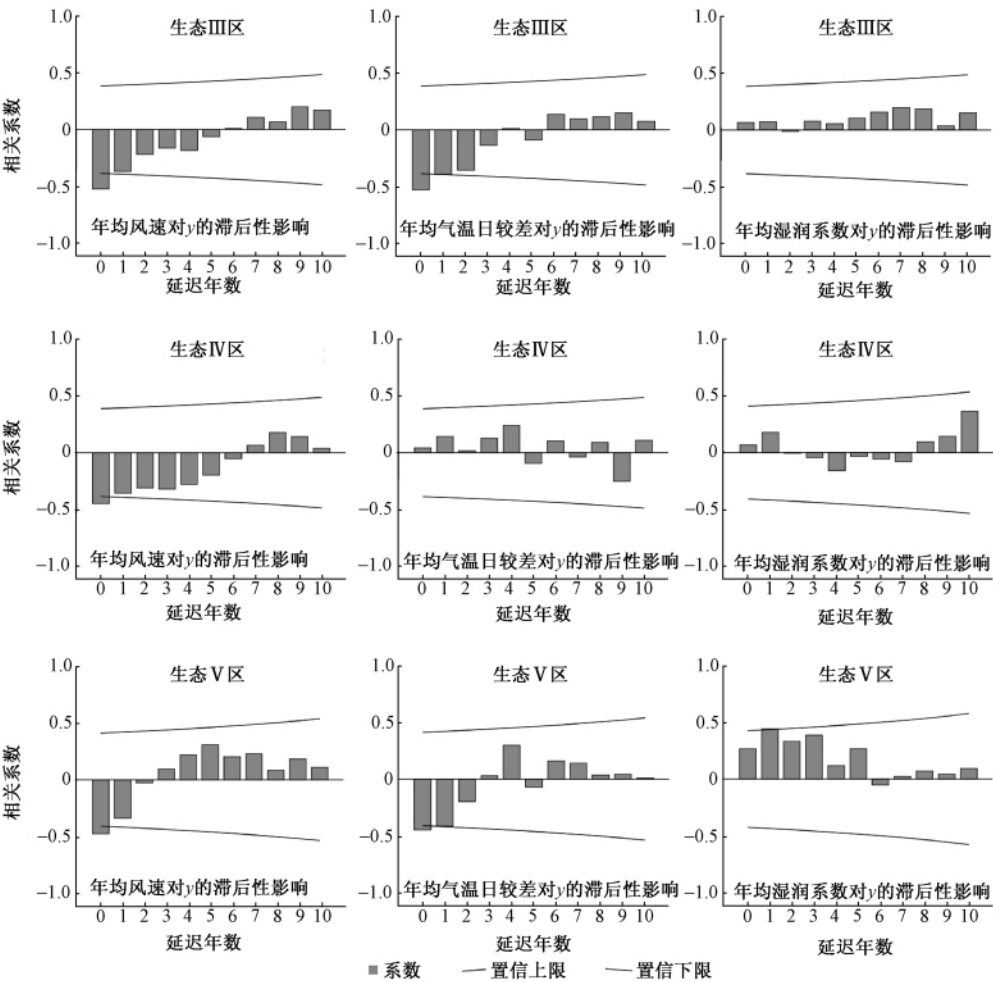


图 6 云南省各生态区气候因子与不同滞后年份的年森林受害率转换值(y)的相关图

Fig.6 Cross correlation analysis of climatic factor and y for each ecotope

注：横坐标为森林受害率滞后的年份；纵坐标为当年气候因子与不同滞后年份森林受害率的相关系数； y 为年森林受害率转换值， $y = \ln(1/r - 1)$ ， r 为年森林受害率；
“—”表示相关系数在 $\alpha = 0.05$ 水平上的显著性检验。

表 2 云南省各生态区森林受害率与气候因子的回归分析

Tab.2 Regression analysis of forest suffer rate and climatic factor of each ecotope

区名	回归方程	拟合度	P
生态 I 区	$r = 1\,000 / (1 + \exp\{-6.782T + 87.222\})$	0.453	< 0.000
生态 II 区	$r = 1\,000 / (1 + \exp\{-6.219W - 2.542T + 45.332\})$	0.555	< 0.000
生态 III 区	$r = 1\,000 / (1 + \exp\{-2.419T - 5.699W + 44.925\})$	0.514	< 0.000
生态 IV 区	$r = 1\,000 / (1 + \exp\{-4.006W + 17.985\})$	0.288	0.015
生态 V 区	$r = 1\,000 / (1 + \exp\{-2.883T - 3.79W + 3.176R + 46.862\})$	0.596	< 0.000

注： T 为火灾发生年和前一年的年均气温日较差的滑动平均值($^{\circ}\text{C}$)； W 为火灾发生年的年均风速(m/s)； R 为火灾发生前一年的年均湿润系数； r 为年森林受害率($\%$)。

由表 2 可知,生态 I 区年森林受害率主要与年气温日较差有关,II 区、III 区主要与年均风速和年均气温日较差有关,IV 区主要与年均风速有关,V 区与 3 个气候因子均显著相关。这说明生态 V 区受气候因素的影响最大,II 区、III 区次之,I 区、IV 区受气候因素的影响较小,这是由于 V 区植被为寒温带针叶林,森林可燃物较易燃,可燃物对气候变化的响应比较敏感,再加上此区为高山峡谷,海拔较高,人口密度较小,人为干扰因素相对较小,因此气候因素对该

区森林火灾的影响相对较大。而 I 区、IV 区分别为热带雨林和常绿阔叶林,森林可燃物较难燃,可燃物对气候变化的响应不敏感,且这 2 个区为低中山区,人口密度较大,人为干扰因素相对较大,因此气候因素对这 2 个区森林火灾的影响相对较小。

从表 2 可以看出,5 个区的拟合模型参数均通过了显著性检验,具有统计学意义,除了 IV 区拟合度稍小外,其他区都拟合较好,这说明应用逻辑斯蒂回归模型能够很好地解释云南省各生态区年森林受害

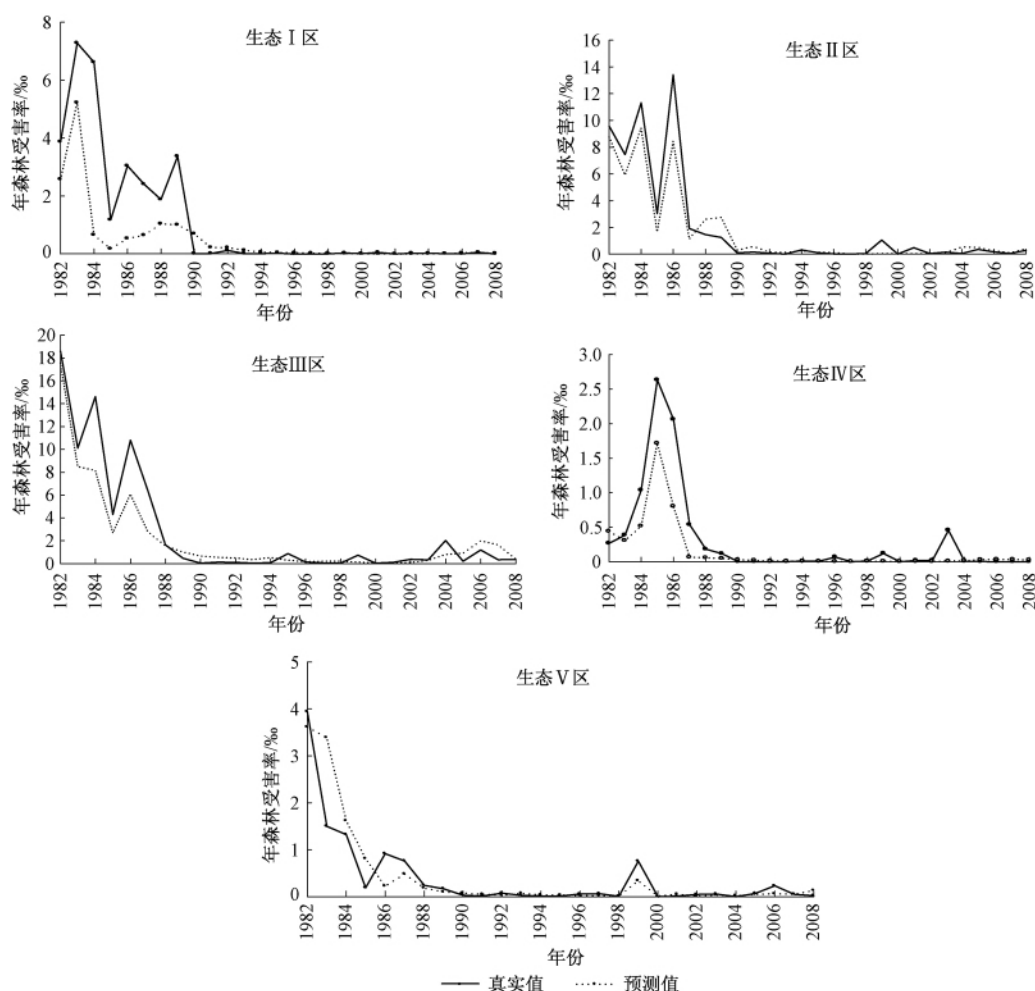


图7 云南省各生态区年森林受害率模型预测值与真实值比较

Fig. 7 Comparison of predicted and true values of annual forest suffer rate for each ecotope

率与气候因子之间的关系。图7为各生态区模型预测值与真实值之间的比较,由图可以看出,模型预测值与真实值的变化趋势基本一致,能够较好地反映出气候变化背景下近30年来云南省森林受害率的变化趋势。

4 结论与讨论

本文通过分析近30年来云南省各生态区气候因子和森林受害率的变化规律,对各个生态区气候因子与森林火灾之间的关系进行了研究,得出如下结论:1)近30年云南省各生态区气候因子变化趋势明显,各区年均湿润系数、年均风速变化同步,整体上呈显著下降趋势,年气温日较差各区变化存在非同步性。2)年均湿润系数和年均气温日较差对年森林受害率的影响存在1年左右的滞后性,年均风速滞后性不显著;各生态区气候因子与年森林受害率之间非线性关系显著,应用逻辑斯蒂回归模型能够很好地解释各生态区气候因子与年森林受害率之间的关系。3)气候因子对不同生态区森林火灾的影响不同,I区年森林受害率主要与年气温日较

差有关,II区、III区主要与年均风速和年均气温日较差有关,IV区主要与年均风速有关,V区与3个气候因子均显著相关。气候因子对生态V区森林受害率的影响较大,而对生态I区和生态IV区森林受害率的影响较小,这主要与各生态区下垫面性质的差异有关。

王利溥等^[24]在对云南省森林火灾与气象条件的关系的研究中发现,云南省的森林火灾主要与年平均湿度有关。本研究结果表明,除了生态V区外,其他区年森林受害率均与年均湿润系数关系不显著,主要与年均气温日较差、年均风速显著相关,这说明云南省大部分地区森林火灾与年平均湿度的变化关系不大,而与气温日较差和风速密切相关。这是因为王利溥等采用火灾次数作为火灾指标,而本研究中的年森林受害率主要反映的是火灾受害面积。

本研究从气象因子和森林受害率随时间序列变化的规律出发,得出森林受害率与气象因子呈非线性相关关系,这一点与前人的研究结论一致,但是这种非线性关系具体指什么关系,结论各有不同。

Wotton 等^[23]在对加拿大安大略省雷击火的研究中,在把安大略省划分为 11 个生态区的基础上,应用逻辑斯蒂概率模型对每个生态区的雷击火概率与气象因子的关系进行了预测,取得了较好的结果。Viegas 等^[24]对葡萄牙 1975—1992 年每年的森林火灾面积与某段时间内降雨量的关系进行了分析,得出 2—4 月份的降雨量和年火灾面积呈非线性相关关系;Westerling 等^[27]对美国西部地区气候变化对森林火灾的影响进行了研究,得出过火面积与干旱指数呈指数关系。

本文对于生态区的划分是在植被类型的基础上进行的,一个生态区内的森林类型间可能有差异,但对生态区之间的影响不大,今后可以在植被类型的基础上,以森林类型为参考,按生态亚区进行划分,使之更科学、准确地为防火部门的决策和管理提供依据。

参 考 文 献

- [1] 舒立福,田晓瑞,寇晓军. 林火研究综述(I): 研究热点与进展 [J]. 世界林业研究,2003,16(3): 37—40.
- [2] 王淑华,孙鹏飞,程春香. 伊春市气象因子与森林火灾相关性研究 [J]. 林业科技,2008,33(2): 24—26.
- [3] 杜毓龙,雷崇典. 陕北春季森林火灾气象条件分析 [J]. 气象科学,2006,26(3): 341—345.
- [4] 刘元春. 气候变化对我国森林火灾时空分布格局的影响 [D]. 哈尔滨: 东北林业大学,2007: 5—8.
- [5] HOFFMANN W A, SCHROEDER W, JACKSON R B. Regional feedbacks among fire, climate, and tropical deforestation [J]. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*,2003,108(23): 21.
- [6] HOFFMANN W A, SCHROEDER W, JACKSON R B. Positive feedbacks of fire, climate, and vegetation and the conversion of tropical savanna [J]. *Geophysical Research Letters*,2002,29(22): 52.
- [7] NEPSTAD D, LEFEBVRE P. Amazon drought and its implications for forest flammability and tree growth: A basin-wide analysis [J]. *Global Change Biology*,2004,10(5): 704—717.
- [8] MOUILLOT F, RAMBAL S, JOFFRE R. Simulating climate change impacts on fire frequency and vegetation dynamics in a mediterranean-type ecosystem [J]. *Global Change Biology*,2002,8(5): 423—437.
- [9] CARDOS M F, HURTT G C. Projecting future fire activity in Amazonia [J]. *Global Change Biology*,2003,9(5): 656—669.
- [10] 田晓瑞,舒立福,阿力甫江. 林火研究综述(III): ENSO 对森林火灾的影响 [J]. 世界林业研究,2003,16(5): 22—25.
- [11] 赵凤君,舒立福. 气候异常对森林火灾发生的影响研究 [J]. 森林防火,2007(1): 21—23.
- [12] 韩建军,曾前. 我国气候异常对森林火灾发生的影响 [J]. 森林防火,2003(1): 15—16.
- [13] 徐裕华. 西南气候 [M]. 北京: 气象出版社,1991.
- [14] 《云南森林》编写委员会. 云南森林 [M]. 北京: 中国林业出版社,1984.
- [15] 霍增,刘鸿若. 云南省森林火灾的特点 [J]. 森林防火,1987(1): 12—14.
- [16] 王栋. 中国森林火险调查与区划 [M]. 北京: 中国林业出版社,2000.
- [17] 云南省环境保护厅. 云南生态功能区划报告书 [R]. 昆明: 云南省环境保护厅,2008: 30—33.
- [18] 杨美和,高颖仪,孙文举. 森林火灾与湿润系数的关系研究 [J]. 吉林林学院学报,1997,13(1): 10—14.
- [19] 杨茂. 云南省森林资源分布概况 [J]. 云南林业调查规划设计,1995(4): 12—14.
- [20] 艾建林,赵元藩,温庆忠. 云南省 30 年森林资源变化研究 [J]. 林业资源管理,2010(4): 12—16.
- [21] 韩志刚,田大伦,张赉. 气候变化对林火时空动态的影响研究综述 [J]. 中南林业科技大学学报,2010,30(5): 44—49.
- [22] 宋志杰. 林火原理和林火预报 [M]. 北京: 气象出版社,1991.
- [23] JULI G, PAUSAS. Changes in fire and climate in the Eastern Iberian Peninsula [J]. *Climatic Change*,2004, 63(3): 337—350.
- [24] 王利涛,唐顺芳. 云南森林火灾与气象条件初探 [J]. 农业气象,1984(4): 48—51.
- [25] WOTTON B M, DAVID L, MARTEL L. A lightning fire occurrence model for Ontario [J]. *Canadian Journal Forest Research*,2005,35(6): 1389—1401.
- [26] VIEGAS D X, VIEGAS M T, FERREIRA A D. Moisture content of fine forest fuels and fire [J]. *International Journal of Wildland Fire*,1992,2(2): 69—87.
- [27] WESTERLING A L, CAYAN D R, GERSHUNOV A, et al. Statistical forecast of the 2001 western wildfire season using principal components regression [J]. *Experimental Long-Lead Forecast Bulletin*,2001,10(3): 71—75.

(责任编辑 冯秀兰)