

浙江省防火期内森林火险天气指标动态

石晶晶¹, 张超¹, 余树全^{1,2}, 茅史亮³, 李修鹏⁴

(1. 浙江农林大学 林业与生物技术学院, 浙江 临安 311300; 2. 浙江农林大学 亚热带森林培育国家重点实验室培育基地, 浙江 临安 311300; 3. 浙江林火监测信息中心, 浙江 杭州 310020; 4. 浙江省宁波市林业技术推广中心, 浙江 宁波 315000)

摘要: 基于森林火灾统计资料, 采用加拿大森林火险天气指标系统(Canadian Forest Fire Weather Index System, CF-FWIS)分析了浙江省森林火险期内森林火险天气指标动态变化趋势。结果表明: 研究区火险期内森林火灾发生次数呈递减趋势, 但每场火灾的平均过火面积呈显著增加趋势($P < 0.01$); 细小可燃物湿度码(C_{FFM})和初始蔓延指标(I_{IS})达到显著水平($P < 0.05$), 可作为浙江省森林火险期火险状况的良好指标; 1991-2011年, 研究区森林防火期内可燃物湿度指标、火行为指标及火灾控制难易度指标总体呈增加趋势。其中, 春季火险期可燃物干燥状况增加趋势较秋、冬季火险期幅度大, 且已达到显著水平($P < 0.05$)。因此, 加大该区的森林火灾防控工作, 尤其是春季火险期的防控工作刻不容缓。图3表1参15

关键词: 森林保护学; 防火期; 森林火险; 火险天气指标; 浙江省

中图分类号: S762 文献标志码: A 文章编号: 2095-0756(2014)02-231-07

Forest fire weather indexes for the fire danger period in Zhejiang Province

SHI Jingjing¹, ZHANG Chao¹, YU Shuquan^{1,2}, MAO Shiliang³, LI Xiupeng⁴

(1. School of Forestry and Biotechnology, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 2. The Nurturing Station for the State Key Laboratory of Subtropical Silviculture, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 3. Forest Fire Monitorial Center of Zhejiang Province, Hangzhou 310020, Zhejiang, China; 4. Forest Technology Extension Station of Ningbo City, Ningbo 315000, Zhejiang, China)

Abstract: Based on forest fire statistics of Zhejiang Province, the Canadian Forest Fire Weather Index (CF-FWIS) System was used to analyze the changes of forest fire weather indices during the forest fire danger period. Results showed that forest fire frequency of the study area would decrease, but the average area burned per fire would increase during the fire danger period ($P < 0.01$). The Fine Fuels Moisture Code (FFMC) and the initial spread index (ISI) reached a high level and could be used as strong indicators of fire danger in Zhejiang forests ($P < 0.05$). During the fire danger period of the study area, fuel moisture codes, fire behavior indices, and fire severity indices from 1991-2011 increased overall. Combustible dry conditions of the spring fire season had reached a dangerous level and had a higher rate than autumn and winter fire seasons ($P < 0.05$). Therefore, forest fire prevention and control work in the region, especially in spring, is urgently needed. [Ch, 3 fig. 1 tab. 15 ref.]

Key words: forest protection; fire danger period; forest fire danger; fire weather index; Zhejiang Province

收稿日期: 2013-04-06; 修回日期: 2013-05-14

基金项目: 浙江省科学技术重大项目(2006C12060)

作者简介: 石晶晶, 从事森林生态学研究。E-mail: crystal2013sjj@126.com。通信作者: 余树全, 教授, 博士, 博士生导师, 从事森林生态、恢复生态学研究。E-mail: yushq@zafu.edu.cn

森林火险是对影响林火的发生、蔓延、难控程度以及火环境中所有因子的综合评价。火险指数 (fire danger index) 为一个相对数字, 用以指示森林火险的严峻程度^[1]。在火灾发生的环境条件中, 气象条件在其中起着至关重要的作用, 有利的气象条件可使林火很快得到控制, 不利的气象条件则会加快火势的蔓延, 造成重大的经济损失^[2]。森林火险天气指标是常被用来指示受气象因子变化影响的标准可燃物类型林地上火灾发生危险程度的量化指标^[3]。加拿大森林火险天气指标系统 (Canadian forest fire weather index system, CFFWIS) 是世界各地广泛应用的相对完善的系统。早在 20 世纪 80 年代 CFFWIS 就引入到中国东北林区并应用于森林火灾的控制和管理, 并取得了显著成效^[4]。随后, 一些学者在中国的其他地区也相继运用加拿大森林火险天气指标系统开展了对林火天气动态变化的研究, 如赵凤君等^[5]利用每日气象数据和加拿大火险天气指数系统 (FWI), 分析了气候变暖背景下林区可燃物干燥状况的变化及对林火的影响; 田晓瑞等^[6]对 1987–2006 年大兴安岭的森林火险进行了分析, 并重新对火险天气指数系统进行适应性评估; 邸雪颖等^[3]利用加拿大火险等级预报系统输出的火险天气指标, 定性和定量相结合地分析了气候变化下森林火险天气年际及各火险期动态变化趋势。信晓颖^[7]曾对该系统在浙江省的适用性进行了初步研究, 从火险天气指数系统角度研究了气候条件变化对森林火灾的影响, 得到了该系统在浙江省有很好的适应性的结论。森林可燃物是森林燃烧的基本条件, 天气异常与森林可燃物变化相结合, 森林火灾发生危险性有增加的趋势^[8]。近年来, 全球气候变化造成极端天气发生频繁, 加之浙江省林业发展与生态建设力度不断加大, 森林覆盖率不断提高, 森林火燃料不断积累, 森林火灾成高发态势。国内针对浙江省森林火灾的研究文献比较少, 而且主要涉及森林火灾的时空分布分析和火险等级区划研究^[9–11]。笔者分析了 1991–2011 年气候变化对浙江省森林火灾的影响, 并利用加拿大森林火险天气指标系统输出的火险指标分析全球气候变暖背景下浙江省森林火险期火灾的动态变化趋势, 可为浙江省未来的森林火灾的防控和监测工作提供理论依据。

1 研究区概况

浙江省 ($27^{\circ}12' \sim 31^{\circ}31'N$, $118^{\circ}01' \sim 123^{\circ}10'E$) 地处中国东南沿海、长江三角洲南翼, 陆域面积为 10.41 万 km^2 。浙江省地形复杂, 全省以分割破碎的低山和丘陵为主, 西南部略高, 平均海拔为 800 m。该区气候类型为典型的亚热带季风气候, 气温适中, 光照较强, 湿润多雨, 雨热同期, 四季分明, 年日照时数为 1 800~2 300 h, 年平均降水量为 1 000~2 000 mm。植被属于亚热带常绿阔叶林区域—东部(湿润)常绿阔叶林亚区域—中亚热带常绿阔叶林地带^[12]。森林覆盖率达 60.5%, 森林群落结构比较完整, 具有乔木林、灌木林、草本等 3 层完整结构, 森林植被类型、森林类型、乔木林龄组成类型较丰富。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

1991–2011 年每日气象数据来源于国家气象局气象要素共享中心 (<http://new-cdc.cma.gov.cn>)。本研究选取浙江省 16 个气象站点, 选取的气象要素包括: 日最高气温、平均相对湿度、平均风速、24 h 降水量。1991–2011 年浙江省森林火灾数据 (包括林火发生时间、扑灭时间、火点地理坐标、过火面积、火因和火灾损失等) 来源于浙江省林业厅林火监测中心。

2.2 火险天气指标

加拿大森林火险天气指标体系 (CFFWIS) 作为 CFFDRS 的一个重要子系统, 提供了通过可燃物含水率及潜在火行为评价的火灾危险评价体系。该系统的输出仅依赖于日常的气象参数 (每天中午测量空气温度, 相对湿度, 风速和 24 h 降水量), 并不考虑燃料类型或地形的差异, 当天的湿度码值由当天测量的气象数据值和前 1 天的湿度码计算得到^[13]。

输出的前 3 个指标是可燃物湿度指标, 包括细小可燃物湿度码 (C_{FFM}), 半腐层湿度码 (C_{DM}) 和干旱码 (C_{D}), 它们分别反映森林凋落物中不同层的湿度。 C_{FFM} 代表了地表上部厚度为 1.2 cm 的枯枝落叶和其他细小可燃物的含水率, 反映森林植被可燃物的引燃程度, 其值越大表明当天林火火险等级越高; C_{DM} 表示了半分解较松散的腐殖质上层地表可燃物的含水率, 它决定了林火的强度, 其值越高表明林地

中等下层落叶层可燃物越干燥； C_D 代表了森林地被物中深层的细密有机物的含水率，它决定了地下深层燃烧。这 3 个指数与森林不同层次可燃物的含水率有着直接的联系， C_{FFM} 影响着森林火灾的开始和蔓延，而 C_{DM} 和 C_D 与中下层可燃物的干燥程度有关，从而影响火燃料的潜在消耗。

输出的后 3 个指标是火行为指标，即初始蔓延指标 (I_{IS})，有效可燃物指标 (I_{BU}) 和火险天气指标 (I_{FW})。 I_{IS} 由 C_{FFM} 和风速决定，是反映不同森林类型火灾蔓延等级的一个很好指标； I_{BU} 由 C_{DM} 和 C_D 决定，反映了森林可燃物对燃烧蔓延的有效性，代表可燃物的潜在燃烧量； I_{FW} 是由 I_{IS} 和 I_{BU} 所决定的最终指标，表示火线强度，即单位火线长度的能量释放率，也可说明森林火险等级。这 3 个指标代表了火行为的不同方面，在防火管理应用中至关重要。

不同地点的火险严重程度可以通过日严重指标 (daily severity rating, R_{DS}) 进行比较，它可用来描述某时段内 1 个气象站平均火险或某区域一些气象站观测的平均森林火险，用 $R_{DS} = 0.0272(I_{FW})^{1.77}$ 计算。防火期内 R_{DS} 的平均值为火险期严峻度 (seasonal severity rating, R_{SS})，它是防火期平均控制火灾难易度的指标^[14]。

2.3 数据处理

本研究使用的火险天气指数系统计算机程序是由 Wagner 等^[15]在 1985 年重新研究制定的，通过批量输入 1991–2011 年日常气候观测数据 (日最高气温、平均相对湿度、平均风速、日降水量) 计算各气象站每天的 I_{FW} 各指数的值，包括 3 个可燃物指标值 (C_{FFM} , C_{DM} , C_D)，3 个火行为指标值 (I_{IS} , I_{BU} , I_{FW}) 和 1 个火险严重程度指标值 (R_{DS})。可燃物湿度码初始值设定为 $C_{FFM}=85$, $C_{DM}=6$, $C_D=15$ 。

3 结果与分析

3.1 火险期

把某一地区 1 a 内容易发生且发生森林火灾较多的时期定为当地的森林火险期。火险期内发生的火灾几乎集中了某一地区整个年份发生的所有火灾，因此，以火险期为时间单位可以更好地反映当地火险天气状况的变化，了解了当地火险期火险状况也能更好的把握整个地区火灾的动态变化。

从图 1 可以看出：浙江省所有的森林火灾几乎都集中在 10–12 月，以及次年的 1–4 月，这 7 个月发生森林火灾的数量与过火面积就占全年总量的 93.2% 和 93.1%。因此，把上年 10 月至当年 4 月确定为浙江省的森林火险期，持续期为 7 个月。结合林区森林火灾的年发生规律及当前火灾发生状况，笔者以春季火险期 (3–4 月)、秋季火险期 (10–11 月)、冬季火险期 (12–2 月) 3 个时段分别计算各湿度码的季节性平均值，进而研究浙江省森林火险天气指数及火灾的动态变化。

3.2 火险期内森林火灾动态

1991–2011 年，火险期内浙江省共发生森林火灾 9 946 次，平均每年发生 473 次。其中 2004 年的森林火灾呈爆发式增长，发生次数是年平均次数的 2.3 倍，这主要是因为 2004 年是中国的气候异常年，当年全国气候总体趋势表现为温度较常年偏高，东部大部地区降水偏少。从图 2 可以看出，火险期内森林火灾发生次数年际波动较大，但总体呈递减趋势。将火险期内所有森林火灾按年份统计每场火灾的平均过火面积，结果显示：1991–2011 年，单位森林火灾的平均过火面积呈显著增加的趋势 ($P < 0.01$)。这可能是近年来浙江省加大了生态公益林的建设，随着森林植被的恢复，林内可燃物载量不断积累的缘故，这说明了虽然火灾次数没有增加，但是其对森林造成的伤害却是逐年增大的。因此，森林防火部门应有针对性地加强森林防火工作。

3.3 火险期内火险天气指数动态

以火险期为时间单位，计算火险期内火险天气指数 (C_{FFM} , C_{DM} , C_D , I_{IS} , I_{BU} , I_{FW} , R_{DS}) 的均值，并统

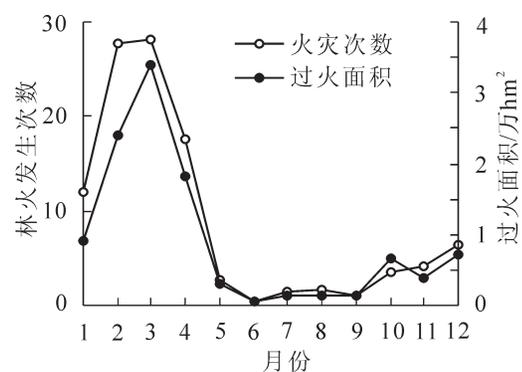


图 1 浙江省 1991–2011 年森林火灾月变化规律

Figure 1 Monthly change law of forest fires during 1991–2011 in Zhejiang Province

计火险期内各火险天气指数均值与林火发生数量、过火面积的相关系数(表1)。结果显示:细小可燃物湿度码 C_{FFM} 和初始蔓延指标 I_{IS} 与林火次数和过火面积的相关系数在 0.05 水平上都显著, 其中 C_{FFM} 与林火次数在 0.01 水平上也达到了显著水平。所以它们可作为表征火险期火险状况的良好指标。

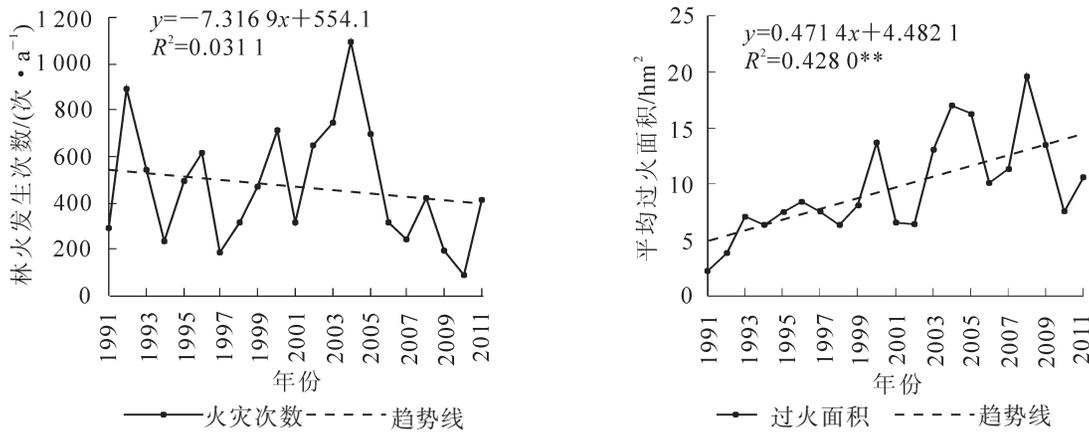


图2 1991–2011年浙江省火险期内森林火灾次数与单位森林火灾平均过火面积的动态变化
Figure 2 Dynamic changes of fire times and average area burned of forest fires during 1991–2011 in Zhejiang Province

表1 火险期林火次数、过火面积与火险天气指数的相关系数

Table 1 Correlation coefficient of forest fire frequency, area burned and fire weather index in fire danger period

	C_{FFM}	C_{DM}	C_D	I_{IS}	I_{BU}	I_{FW}	R_{SS}
次数	0.894**	0.795*	0.853*	0.848*	0.817*	0.805*	0.773
过火面积	0.841*	0.682	0.750	0.758*	0.706	0.693	0.656

说明: ** $P < 0.01$, * $P < 0.05$, $n = 7$ 。

3.3.1 可燃物湿度指标动态 如图3a所示: 1991–2011年, 研究区火险期细小可燃物湿度码 C_{FFM} 年均值呈显著增加趋势($P < 0.05$), 2001–2011年 C_{FFM} 年均值比1991–2000年增加7.8%, 这将导致浙江省火险期内林火的增加。研究期间, 秋季火险期与冬季火险期 C_{FFM} 均值增加趋势并不明显, 春季火险期的增幅较大, 2001–2011年的春季火险期 C_{FFM} 均值比1991–2000年增加26.6%, 且达到极显著水平($P < 0.01$)。

图3b中, 1991–2011年, C_{DM} 年均值呈增加趋势, 但增加趋势未达到显著水平($P > 0.05$)。2001–2011年 C_{DM} 年均值比1991–2000年增加29.2%。研究期间, 仅春季防火期 C_{DM} 均值呈显著增加趋势($P < 0.01$), 2001–2011年春季防火期 C_{DM} 均值比1991–2000年增加81.8%。这说明近些年来林区春季火险期半腐层可燃物干燥状况大大增加, 干燥状况的增加程度大于秋季和冬季。从图2可看出, 近些年来, C_{DM} 均值年际间波动性明显增大, 也会导致林区某些区域半腐层可燃物干燥状况严峻, 进而促使大面积火灾发生的概率大大增加。干旱码 C_D 反映了地下深层可燃物的含水率, 决定了地下深层燃烧。如图3c所示: 1991–2011年, 研究区干旱码 C_D 年均值呈缓慢递减趋势, 2001–2011年 C_D 均值比1991–2000年减少了1.2%。这是由于 C_D 是温度和降水量的函数, 浙江省冬季温度和降水量均逐年递减的缘故, 也说明了研究区森林火烧类型是以地表火为主。研究期间, 春季火险期 C_D 均值呈显著增加趋势($P < 0.05$), 且增幅较大, 2001–2011年春季火险期的 C_D 均值比1991–2000年增加了41.2%。而冬季火险期 C_D 均值却呈递减的趋势, 2001–2011年冬季火险期的 C_D 均值比1991–2000年减少了13.2%。

3.3.2 火行为指标动态 如图3d所示: 1991–2011年, 研究区初始蔓延指标 I_{IS} 年均值呈显著增加的趋势($P > 0.05$), 2001–2011年 I_{IS} 年均值比1991–2000年增加了24.4%。研究期间, 各火险期 I_{IS} 均值都呈增加趋势, 其中, 春季火险期的增幅明显, 2001–2011年春季火险期的 I_{IS} 均值比1991–2000年增加了79.7%。如图3e所示: 1991–2011年, 研究区有效可燃物指标(I_{BU})呈缓慢增加趋势, 2001–2011年 I_{BU} 年均值比1991–2000年增加了21.2%。研究期间, 仅春季火险期的 I_{BU} 均值呈显著增加趋势($P < 0.05$), 2001–2011年春季防火期的 I_{BU} 均值比1991–2000年增加69.6%, 这说明了春季火险期可参与燃烧的可

燃物越来越多，火强度也越来越大。

如图 3f 所示：1991-2011 年，研究区火险天气指标 (I_{FW}) 呈缓慢增加的趋势，2001-2011 年 I_{FW} 年均值比 1991-2000 年增加了 25.8%。研究期间，春季、秋季、冬季 3 个火险期的 I_{FW} 均值呈增加趋势，2001-2011 年 I_{FW} 均值比 1991-2000 年分别增长了 108.0%，23.6%，1.3%。其中，春季火险期的增幅特别大，达冬季火险期增幅 80 倍。

3.3.3 火灾控制难易度指标动态 1991-2011 年，研究区防火期平均控制火灾难易度指标 (R_{SS}) 呈缓慢增加趋势，如图 3g 所示，2001-2011 年 I_{BU} 年均值比 1991-2000 年增加了 62.8%。研究期间，各火险期 R_{SS} 均值都呈增加趋势，其中，春季、秋季火险期的 R_{SS} 均值增幅较大，2001-2011 年春、秋季防火期的 R_{SS} 均值比 1991-2000 年分别增加了 221% 和 64.2%。这说明了春、秋季火险期的火险状况日益严重。

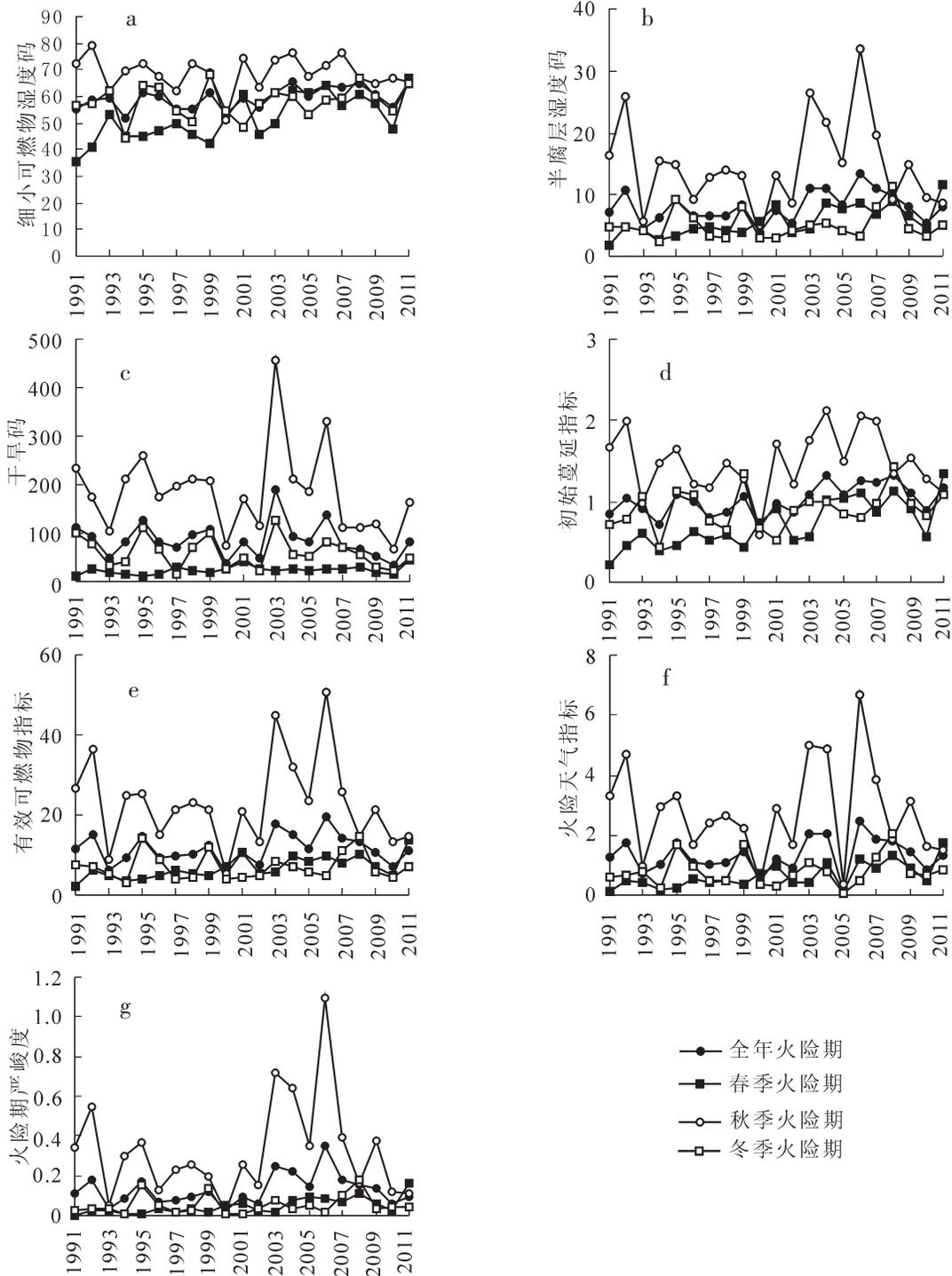


图 3 1991-2011 年浙江省森林火险天气指标的均值

Figure 3 Annual average value of the forest fire weather indices during 1991-2011 in Zhejiang Province

3.4 结论与讨论

浙江省的森林火险期为当年10月至翌年的4月,持续期为7个月。其火险期内森林火灾发生次数年际波动较大,总体呈递减趋势,但每场火灾的平均过火面积呈显著增加的趋势($P < 0.01$)。

利用加拿大火险天气系统对浙江省1991–2011年火险期内森林火险指数进行计算,并对火险期内各火险天气指数均值与林火发生数量和过火面积进行分析,结果显示:它们之间有很好的相关性,其中,细小可燃物湿度码(C_{FFM})和初始蔓延指标(I_{IS})达到显著水平($P < 0.05$),可以很好地指示浙江省森林火险期的火险状况。鉴于本研究仅分析了浙江省森林火险期的数据,因此得出的结论可能会有一定的局限性,在今后的研究中还需根据实际火灾状况做进一步考证。

1991–2011年,研究区森林防火期内可燃物湿度指标、火行为指标及火灾控制难易度指标总体呈增加趋势。如研究区2001–2011年 C_{FFM} , C_{DM} , I_{IS} , I_{BU} , I_{FW} , R_{SS} 年均值比1991–2000年分别增加了7.8%, 29.2%, 24.4%, 21.2%, 25.8%, 62.8%。说明近年来随着气候逐渐变暖,森林可燃物变得越来越干燥,尤其是表层可燃物的干燥状况加剧,加大了林火被引燃的概率,也增加了林火的强度。其中,春季火险期可燃物干燥状况增加趋势较秋、冬季火险期幅度大,且已达到显著水平($P < 0.05$)。这一趋势恰好印证了当地林火发生的情况。

根据森林燃烧圈学说,森林植被是森林燃烧的物质基础。在全球气候不断变暖的背景下,可燃物干燥状况不断加剧,成为该区森林火灾高发的潜在因素,森林防火管理部门应充分认识这一现象,并结合当地实际情况,加大对浙江省森林火灾的防控工作,尤其是春季火险期的防控。当然本研究所分析的仅仅是一个方面,要全面的了解当地森林火灾发生情况还应综合考虑各种因素,才能更好地对森林火险进行评估与预测。

参考文献:

- [1] 赵凤君,舒立福,田晓瑞,等. 1957–2007年云南省森林火险变化[J]. 生态学杂志, 2009, **28**(11): 2333 – 2338.
ZHAO Fengjun, SHU Lifu, TIAN Xiaorui, et al. Change trends of forest fire danger in Yunnan Province in 1957–2007 [J]. *Chin J Ecol*, 2009, **28**(11): 2333 – 2338.
- [2] 李建辉,栾青,马雅丽,等. 基于卫星遥感的森林火险等级预警研究[J]. 林业资源管理, 2012(1): 91 – 119.
LI Jianhui, LUAN Qing, MA Yali, et al. Study on forest fire danger level warning based on satellite remote sensing [J]. *For Resour Manage*, 2012(1): 91 – 119.
- [3] 邸雪颖,李永福,孙建,等. 黑龙江省大兴安岭地区塔河县森林火险天气指标动态[J]. 应用生态学报, 2011, **22**(5): 1240 – 1246.
DI Xueying, LI Yongfu, SUN Jian, et al. Dynamics of forest fire weather indices in Tahe County of Great Xing'an Mountains region' Heilongjiang Province [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2011, **22**(5): 1240 – 1246.
- [4] LYNHAM T J, STOCKS B J. Suitability of the Canadian forest fire danger rating system for use in the Daxing'anling forestry management bureau, Heilongjiang Province, China[C]//MACIVER D C, AULD H, WHITE R. *10th Conference on Fire and Forest Meteorology*. Ottawa: Forestry Canada and Environment Canada, 1989: 232 – 246.
- [5] 赵凤君,舒立福,田晓瑞,等. 气候变暖背景下内蒙古大兴安岭林区森林可燃物干燥状况的变化[J]. 生态学报, 2009, **29**(4): 1914 – 1920.
ZHAO Fengjun, SHU Lifu, TIAN Xiaorui, et al. The changes of forest fuel dryness conditions under global warming in Inner Mongolia Daxing'anling forest region [J]. *Acta Ecol Sin*, 2009, **29**(4): 1914 – 1920.
- [6] 田晓瑞, DOUGLAS J M, 舒立福, 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.
TIAN Xiaorui, DOUGLAS J M, SHU Lifu, et al. Changes of forest fire danger and the evaluation of the FWI system application in the Daxing'anling region [J]. *Sci Silv Sin*, 2010, **46**(5): 127 – 132.
- [7] 信晓颖. 气候变化对浙江省森林火灾的影响及 FWI 适用性研究[D]. 临安: 浙江农林大学, 2011.
XIN Xiaoying. *Study on the Impacts of Climate Change on Forest Fires and the Evaluation of the FWI System Application in the Zhejiang Province* [D]. Lin'an: Zhejiang A & F University, 2011.
- [8] 王明玉,舒立福,赵凤君,等. 北京西山可燃物特点及潜在火行为[J]. 林业科学, 2010, **46**(1): 84 – 90.
WANG Mingyu, SHU Lifu, ZHAO Fengjun, et al. Characteristics of forest fuel and potential fire behavior in Xishan

- Mountain of Beijing [J]. *Sci Silv Sin*, 2010, **46**(1): 84 – 90.
- [9] 茅史亮, 杨幼平, 贾伟江, 等. 浙江森林火灾发生规律与发展趋势研究[J]. 浙江林业科技, 2004, **24**(1): 16 – 20.
MAO Shiliang, YANG Youping, JIA Weijiang, *et al.* Study on regularity and trend of forest fire in Zhejiang Province [J]. *J Zhejiang For Sci Technol*, 2004, **24**(1): 16 – 20.
- [10] 田小龙. 浙江省火气候指数与火燃料耦合关系的时空动态分析预警[D]. 临安: 浙江农林大学, 2012.
TIAN Xiaolong. *The Relationship between FWI, Climate Conditions and Forest Fuel Fires in Zhejiang* [D]. Lin'an: Zhejiang A & F University, 2012.
- [11] 徐爱俊, 黄小银, 姜广宇, 等. 南方林区森林火险精准区划方法[J]. 浙江农林大学学报, 2012, **29**(1): 65 – 71.
XU Aijun, HUANG Xiaoying, JIANG Guangyu, *et al.* Precision fire hazard divisions for collective forest in southern China [J]. *J Zhejiang A & F Univ*, 2012, **29**(1): 65 – 71.
- [12] 刘其霞, 常杰, 江波, 等. 浙江省常绿阔叶生态公益林生物量[J]. 生态学报, 2005, **25**(9): 2139 – 2144.
LIU Qixia, CHANG Jie, JIANG Bo, *et al.* The biomass of the evergreen broad-leaved ecological public-welfare forests in Zhejiang, East China [J]. *Acta Ecol Sin*, 2005, **25**(9): 2139 – 2144.
- [13] 信晓颖, 江洪, 周国模, 等. 加拿大森林火险气候指数系统(FWI)的原理及应用[J]. 浙江农林大学学报, 2011, **28**(2): 314 – 318
XIN Xiaoying, JIANG Hong, ZHOU Guomo, *et al.* Canadian forest fire weather index (FWI) system: a review[J]. *J Zhejiang A & F Univ*, 2011, **28**(2): 314 – 318.
- [14] van WAGNER C E. *Development and Structure of the Canadian Forest Fire Weather Index System* [M]. Ottawa: Canadian Forest Service, 1987.
- [15] van WAGNER C E, PICKETT T L. *Equations and FORTRAN Program for the Canadian Forest Fire Weather Index System* [M]. Ottawa: Canadian Forest Service, 1985.