应用生态学报 2020年5月 第31卷 第5期 http://www.cjae.net
Chinese Journal of Applied Ecology, May 2020, 31(5): 1487-1495 DOI: 10.13287/j.1001-9332.202005.015

ENSO事件对中国森林火险天气的影响

田晓瑞* 宗学政 舒立福 王明玉 赵凤君
(中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所/国家林业和草原局森林保护学重点实验室, 北京 100091)

摘 要 ENSO事件影响中国的气候和森林火险天气,研究ENSO事件对中国各植被区火险天气的影响对于提高森林火险预报准确性有科学和实践意义。利用1951—2016年中国地面国际交换站气候资料的日值数据集(V3.0)数据计算每日的森林火险天气指数(FWI),根据MODIS过火区产品计算各植被区2001—2016年的森林过火面积,分别按事件情景(弱、中、强和超强厄尔尼诺事件以及弱、中和强拉尼娜事件)统计各植被区对应的火险期气温、降水、FWI和过火面积。结果表明:1950—2016年,共发生19次厄尔尼诺事件和14次拉尼娜事件。受强或超强厄尔尼诺事件影响,西北地区春季火险期的日均最高气温明显升高,而中温带半干旱草原区春季火险期的日均最高气温在中厄尔尼诺年显著降低。厄尔尼诺年,南方和西南林区火险期的降水量一般会增加,中、低强度的拉尼娜事件会减少大部分区域的火险期降水量,但强拉尼娜事件导致大部分林区火险期的降水量增加。弱厄尔尼诺事件导致南方林区FWI降低;强或超强厄尔尼诺事件导致南方和西南林区的FWI有所降低,而北方林区的FWI有所升高。ENSO事件对各植被区FWI的影响存在显著的空间差异性。2001—2016年,当火险期的季节火险严重程度(SSR)显著变化时,暖温带湿润/半湿润地区落叶阔叶林区、中北亚热带湿润地区阔叶林区和热带南亚热带湿润地区阔叶林区的过火面积与SSR的变化一致,其他区域的过火面积受ENSO事件的影响不明显。

关键词 厄尔尼诺;拉尼娜;森林火险天气

Impacts of ENSO events on forest fire weather of China. TIAN Xiao-rui*, ZONG Xue-zheng, SHU Li-fu, WANG Ming-yu, ZHAO Feng-jun (*Research Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry/Key Laboratory of Forest Protection of National Forestry and Grassland Administration, Beijing* 100091, *China*).

Abstract: The ENSO events affect climate and fire danger of China. It would be helpful for improving fire danger forecast to understand the impacts of ENSO events on fire weather for various ecological zones in the country. We calculated the fire weather index (FWI) using the daily climatic dataset (V3.0) of international exchange weather stations in China during 1951-2016. The burned areas in forests for each ecological zone in 2001-2016 were derived from MODIS fire products. Temperature, precipitation, FWI and burned areas in fire season were estimated for each ecological zone by ENSO events (weak, medium, strong, and super strong El Niño events and weak, medium, and strong La Niña events). The results showed that there were 19 El Niño events and 14 La Niña events during 1950-2016. The average daily maximum temperature of the spring fire season increased significantly in the northwestern region with the influence of strong or super strong El Niño event, while the temperature reduced significantly in the medium El Niño event for mid-temperate semi-arid grassland. Precipitation in fire season generally increased in El Niño events in southern and southwestern forest regions. It would be reduced in most areas affected by the low and medium intensity La Niña event, but be increased during the strong La Nina event. The fire weather indices of southern forest regions decreased due to the weak El Niño event. The FWI of the northern forest regions increased with the strong or super strong El Niño event, and reduced in the southern and

本文由国家重点研发计划项目(2017YFD0600106)和中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(CAFYBB2016SY014)资助 This work was supported by the National Key Research and Development Project (2017YFD0600106) and the Central Public-interest Scientific Institution Basal Research Fund (CAFYBB2016SY014).
2019-11-11 Received, 2020-03-06 Accepted.
* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: tianxr@caf.ac.cn

southwestern forest areas. There was a significant spatial difference on the FWI for some ecological zones with the impacts of the El Niño/La Niña events. The burned areas showed a consistent change trend with seasonal severity rating (SSR) during 2001-2016 when the SSR changed significantly for the regions of deciduous broad-leaved forest in humid/semihumid areas of warm temperate zone, broad-leaved forest in the middle north subtropical humid areas, and broad-leaved forest in tropical and subtropical humid areas. The burned areas in the rest regions were not affected by the ENSO events.

Key words: El Niño; La Niña; forest fire weather.

厄尔尼诺-南方涛动现象(ENSO)作为热带海洋和大气异常现象以及全球尺度气候振荡的强烈信号,导致不同的大气环流遥相关型[1],对中国气候有重要影响。Trenberth[2]认为,1950 年以来,在 Niño 3.4 区域(5° N—5° S,120°—170° W),海表面温度(SST)的 5 个月滑动平均异常超过 0.4 ℃、且持续 6 个月以上就可以认为发生了厄尔尼诺事件。根据这一定义,发生厄尔尼诺和拉尼娜的年份分别占 31%和 23%,也就是说大部分年份都受到 ENSO 事件的影响。大多数厄尔尼诺开始于北方春季或夏季,海洋表面温度高峰出现在 11 月至次年 1 月。从全球范围来看,厄尔尼诺年,全球气温偏高,陆地年均降水量减少,导致气候干燥;拉尼娜年,全球气温偏低,陆地年均降水量增加[3]。ENSO 影响全球的季节性天气,从澳大利亚的干旱到印度夏季风和全球热带气旋活动的变化[4]。全球非常干燥(PDSI 23)的区域面积自 20 世纪 70 年代至今增加了 1 倍,20 世纪 80 年代初由于 ENSO 引起的降水减少和随后的地表变暖的区域增大导致干燥区域面积迅速增加[5]。Fasullo 等[6]认为,在年到年代的时间尺度上,ENSO 是具有最强烈社会影响的气候模式,许多陆地区域的气候变化与 ENSO 遥相关,从而导致这些区域的极端温度和野火频率的年际变率增加。

森林大火的发生与干旱显著相关[7]。2017 和 2018 年美国西部的野火和 2019—2020 年火险期澳大利亚的野火引起了全球的持续关注。厄尔尼诺会减少泛热带森林中的降雨和蓄水,有利于火的发生与蔓延,导致泛热带森林中的火灾次数和林火排放碳量平均增加 133%[8]。厄尔尼诺事件会引起澳大利亚、南亚和巴西东北部等区域发生严重干旱,容易发生森林大火。1997—1998 年,澳大利亚过火面积超过 200 万 hm^2,印度尼西亚过火面积达 456 万 hm^2[9],东南亚、中南美洲、非洲、欧洲、俄罗斯、中国和美国也发生大规模森林火灾,这些广泛发生的火灾均由 1997 年厄尔尼诺引起的极端干旱所致[10]。美国西南部的野火常与 ENSO 相关,Kitzberger 等[11]发现,ENSO 和太平洋十年振荡(PDO)是火烧高频变化的主要驱动因子(从年际到年代际)。ENSO 情景与美国佛罗里达州每年的野火发生存在统计上的显著相关,特别是过火面积、平均火灾面积与 ENSO 类型显著相关[12]。强拉尼娜对佛罗里达州的干旱和野火影响更大[13]。墨西哥大多数森林火灾是由 ENSO 事件引起的天气条件异常而引起[14]。Mariani 等[15]认为,ENSO 对澳大利亚东南部的火活动有持续和显著影响,澳大利亚的火天气在厄尔尼诺事件中通常比拉尼娜事件更严重[1]。

我国气候复杂多样,ENSO 对不同区域的气候影响有明显差异。厄尔尼诺年,中国东北地区夏、秋季降水偏少,江南地区降水偏多,中国常出现暖冬凉夏;拉尼娜年则情况相反[16-17]。厄尔尼诺年,我国降水以偏少为主[18]。中国气候干湿变化与 ENSO 之间有很好的相关性[19]。西南地区在厄尔尼诺年爆发旱灾的概率比拉尼娜年高[20]。

厄尔尼诺引起的气候变化对中国的林火也有间接影响。ENSO 事件显著影响东北林区的林火发生,在厄尔尼诺年,火灾面积和火灾次数通常会异常增高;在拉尼娜年,火灾面积和火灾次数与南方涛动(SOI)指数变化趋势大体一致[21]。Yao 等[22]对火疤木的研究发现,中国东北地区的区域性野火主要发生在干旱年,与 ENSO、PDO 的正相位和北大西洋涛动(NAO)负相位相关。以往有关 ENSO 事件对森林火灾的影响研究主要集中在东北林区[23],对于其他区域的研究很少,特别是缺乏相关的定量描述。因此,本研究在全国尺度上研究 ENSO 对中国不同植被分布区的气候和森林火险天气的影响,分析厄尔尼诺和拉尼娜事件对我国森林火灾的影响,以期为林火发生预报和林火管理提供重要的科学依据。

1 数据来源与研究方法

1.1 数据来源

1951—2016 年中国的地面观测数据采用中国地面国际交换站气候资料的日值数据集(V3.0),数

据来源于中国气象数据网(http://data.cma.cn/)，包括中国 194 个国际交换站的日最高气温、最小相对湿度、平均风速和 24 h 降水量。过火区数据(2000—2016 年)来源于 2017 年发布的 MODIS 全球过火区产品 (Collection 6)(http://modis fire.umd.edu/ba.html)[24]。

1.2　气象数据的补差

中国地面国际交换站气候资料的日值数据集(V3.0)的有效数据达到 99.9%以上，对于个别缺失数据采用以下方法进行补缺。

对于缺失的日最高气温、风速和最小相对湿度数据，如果缺失数据“前后”5 d 波动不大，采用前 5 d 的滑动平均值代替这一天的数值。如果缺失数据“前后”5 d 波动较大，则采用“前后 5 d”的平均值代替。微量降水采用 0.1 mm 替代(不是有效降水，对于森林火险天气指数的计算没有影响)，缺失的降水值则不进行补差。

1.3　森林火险天气指数的计算

根据 1951—2016 年各气象站每日的气温、相对湿度、风速和 24 h 降水量分别计算每日的森林火险天气指数(FWI)。该指数系统包括 6 个组分指数，3 个可燃物湿度码和 3 个火行为指数。可燃物湿度码包括细小可燃物湿度码(FFMC)、腐殖质湿度码(DMC)和干旱码(DC)。火行为指标包括初始蔓延速度(ISI)、累积指数(BUI)和 FWI[25]。日火险严重程度(DSR)根据当日的 FWI 计算[25]，季节火险严重程度(SSR)是火险期内 DSR 的算术平均值。

1.4　植被分区和火险期

基于中国生态地理区域系统和森林火灾特点，把全国植被划分为寒温带湿润地区落叶针叶林区(R_1)、中温带湿润地区森林区(R_2)、中温带干旱地区荒漠针叶林区(R_3)、中温带半干旱地区草原区(R_4)、暖温带湿润/半湿润地区落叶阔叶林、人工植被区(R_5)、中温带半干旱/干旱地区草原区(R_6)、中北亚热带湿润地区阔叶林、人工植被区(R_7)和热带南亚热带湿润地区阔叶林、人工植被区(R_8)和温带荒漠区(R_0)(图 1)[26]。根据林火发生的时空分布确定各植被区的火险期(表 1)[26]，分别统计各区域对应的火险期平均火险天气指数。

1.5　各植被区过火面积

根据各植被区的火险期和植被信息剔除MODIS火产品中的假过火区，按火险期统计 2000—2016 年各植被区的森林过火面积，再按 ENSO 情景比较不同强度的厄尔尼诺和拉尼娜事件对森林火灾面积的影响。

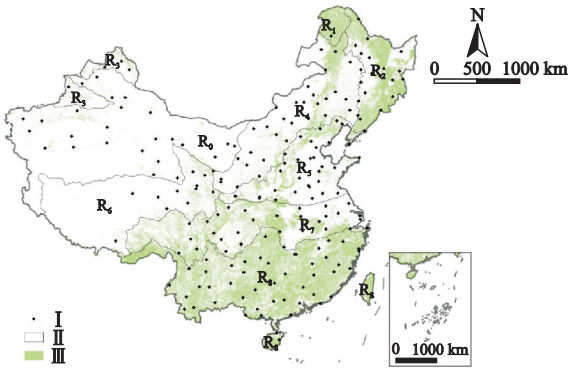


图 1　中国植被区与气象站分布

Fig.1　Ecological zones and weather stations in China.

R_0：温带荒漠区 Temperate desert；R_1：寒温带湿润地区落叶针叶林区 Deciduous coniferous forest in humid area of cold temperate zone；R_2：中温带湿润地区森林区 Forest in humid area of middle temperate zone；R_3：中温带干旱地区荒漠针叶林区 Coniferous forest in arid desert area of middle temperate zone；R_4：中温带半干旱地区草原区 Grassland in semi-arid area of middle temperate zone；R_5：暖温带湿润/半湿润地区落叶阔叶林、人工植被区 Deciduous broad-leaved forest and artificial vegetation area in humid/semi-humid areas of warm temperate zone；R_6：中温带半干旱/干旱地区草原区 Grassland in semi-arid/arid area of middle temperate zone；R_7：中北亚热带湿润地区阔叶林、人工植被区 Broad leaved forest and artificial vegetation in humid area of middle and north subtropical zone；R_8：热带南亚热带湿润地区阔叶林、人工植被区 Broad-leaved forest and artificial vegetation in humid area of tropical and south subtropical zones. 下同 The same below. Ⅰ：气象站 Weather station；Ⅱ：生态地理区 Ecological zone；Ⅲ：森林 Forest.

表 1　各生态地理区的森林火险期[27]

Table 1　Fire season for each ecological zone[27]

植被分布区域 Ecological zone	火险期(月份) Fire season (month)
R_1	3—10
R_2	4—5, 7—10
R_3	3—5, 8—10
R_4	3—6, 8—10
R_5	11—5
R_6	12—5
R_7	12—5
R_8	11—5

R_1：寒温带湿润地区落叶针叶林区 Deciduous coniferous forest in humid area of cold temperate zone；R_2：中温带湿润地区森林区 Forest in humid area of middle temperate zone；R_3：中温带干旱地区荒漠针叶林区 Coniferous forest in arid desert area of middle temperate zone；R_4：中温带半干旱地区草原区 Grassland in semi-arid area of middle temperate zone；R_5：暖温带湿润/半湿润地区落叶阔叶林、人工植被区 Deciduous broad-leaved forest and artificial vegetation area in humid/semi-humid areas of warm temperate zone；R_6：中温带半干旱/干旱地区草原区 Grassland in semi-arid/arid area of middle temperate zone；R_7：中北亚热带湿润地区阔叶林、人工植被区 Broad leaved forest and artificial vegetation in humid area of middle and north subtropical zone；R_8：热带南亚热带湿润地区阔叶林、人工植被区 Broad-leaved forest and artificial vegetation in humid area of tropical and south subtropical zones. 下同 The same below.

1.6　数据处理

对于各植被区不同气候事件情景下的 SSR 空间分布情况，利用 Anusplin 4.36 分别进行空间插

值[27]。采用 Excel 和 SPSS 19.0 软件,统计火险期各指数的平均值,并对不同情景的数据进行多重比较和检验。由于强拉尼娜事件只发生了一次,因此,没有对该情景的比较结果进行显著性检验。

2 结果与分析

2.1 厄尔尼诺/拉尼娜事件

我国对厄尔尼诺和拉尼娜事件的判别采用 ININO 3.4 来判别事件的发生、强度和持续时间等[28]。弱、中等、强和超强事件的判定条件是事件峰值强度绝对值分别达到 0.5~1.3、1.3~2.0、2.0~2.5和≥2.5 ℃(阈值范围都包括低值)。1950—2016 年,共发生厄尔尼诺事件 19 次,其中,弱、中等、强和超强事件分别为 8、7、1 和 3 次;拉尼娜共发生 14 次,其中,弱、中等和强事件分别为 5、8 和 1 次[28]。

各植被区在研究时段内的火险期按照 ENSO 事件分类(超强厄尔尼诺、强厄尔尼诺、中厄尔尼诺、弱厄尔尼诺、强拉尼娜、中拉尼娜和弱拉尼娜等 7 类)和正常年份 8 种情景进行统计分析。如果ENSO 事件结束后 3 个月与某一年度的火险期有重合,我们认为该事件可能对该火险期的气候和火险天气有影响,按照相应的分类情景进行统计。如果一个火险期位于事件发生前或者事件结束 3 个月后,就不考虑 ENSO 事件对该火险期的影响,该火险期作为正常年份进行统计。由于强拉尼娜和强厄尔尼诺事件都只有 1 次,所以,相关火险期的天气和火险指标只与正常年份进行对比,而没有进行显著性检验。

2.2 ENSO 对各植被分布区域气温和降水量的影响

不同强度的厄尔尼诺事件或拉尼娜事件对各植被区的火险期气温影响存在明显差异。与正常年份相比,弱厄尔尼诺事件和弱拉尼娜对所有区域火险期日均最高气温的影响都不显著(表 2);中度厄尔尼诺事件导致 R_4 区春季火险期的日均最高气温显著降低;强厄尔尼诺事件引起 R_3 区春季火险期的日均最高气温升高 1.63 ℃(只有 1 年,未做显著性检验);超强厄尔尼诺事件引起 R_3 区春季火险期的日均最高气温显著升高 2.24 ℃;中度拉尼娜事件导致 R_2 区秋季火险期的日均最高气温显著升高;强拉尼娜事件引起 R_1 区火险期的日均最高气温升高 1.06 ℃,而 R_2 区春季火险期和 R_7 区火险期的日均最高气温均降低 1 ℃以上,R_3 区秋季火险期的日均最高气温降低 2.34 ℃。

拉尼娜事件影响南方大部分区域的气温低于正常年份,北方林区在春季火险期气温低于常年,而秋季火险期的气温偏高。不同强度的厄尔尼诺事件对我国各植被区的气温影响比较复杂。大部分植被区(R_2 和 R_4 区秋季火险期除外)的火险期日均最高气温受强或超强厄尔尼诺事件的影响都高于正常年份。而寒温带湿润地区落叶针叶林区(R_1)在拉尼娜年和强或超强厄尔尼诺年的火险期气温都高于正常年份。

弱厄尔尼诺事件影响 R_5 和 R_7 区的火险期降水量显著增加,其他区域的降水量减少;中厄尔尼诺事件导致 R_2 区秋季火险期的降水量显著增加,而 R_4 区秋季火险期的降水量显著减少;强和超强厄尔尼诺事件导致华北、南方和西南林区(R_5、R_6、R_7 和 R_8)火险期的降水量显著增加(表 3),其中,R_8 区火险期降水量增幅达到极显著水平。

表 2 ENSO 对各植被区火险期日均最高气温的影响

Table 2 Influence of ENSO on the average daily maximum temperature of fire season for each ecological zone (℃)

区域 Region	时段 Period	正常年份 Normal year	与正常年份的差值 Difference from normal year						
			弱厄尔尼诺年 Weak El Niño year	中厄尔尼诺年 Medium El Niño year	强厄尔尼诺 Strong El Niño year	超强厄尔尼诺年 Super El Niño year	弱拉尼娜年 Weak La Niña year	中拉尼娜年 Middle La Niña year	强拉尼娜年 Strong La Niña year
R_1	火险期 Fire season	13.67	−0.22	−0.03	0.13	0.55	0.12	0.21	1.06
R_2	春季火险期 Spring fire season	16.29	−	−0.82	0.35	0.48	−	−0.39	−1.22
R_2	秋季火险期 Autumn fire season	21.06	0.13	−0.30	−0.28	−0.01	0.22	0.44	0.27
R_3	春季火险期 Spring fire season	13.82	−	−0.76	1.63	2.24	−	−1.07	−2.34
R_3	秋季火险期 Autumn fire season	20.80	0.58	0.29	0.29	0.60	0.37	0.37	0.30
R_4	春季火险期 Spring fire season	16.95	−	−0.62	0.67	0.80	−	−0.42	−1.10
R_4	秋季火险期 Autumn fire season	17.13	0.27	−0.07	−0.33	−0.10	−0.17	0.34	0.40
R_5	火险期 Fire season	11.35	−0.44	−0.06	0.58	0.70	−0.17	0.00	0.73
R_6	火险期 Fire season	3.65	0.15	0.46	0.17	0.06	−0.18	−0.09	−0.50
R_7	火险期 Fire season	14.42	−0.15	0.07	0.28	0.38	−0.28	−0.18	−1.09
R_8	火险期 Fire season	20.07	−0.16	0.26	0.07	0.04	−0.32	−0.23	−0.58

−: 没有数据 No data. 下同 The same below.

表 3　ENSO 对各植被区火险期降水量的影响

Table 3　Influence of ENSO on the precipitation of fire season for each ecological zone (mm)

区域 Region	时段 Period	正常年份 Normal year	与正常年份的差值 Difference from normal year						
			弱厄尔尼诺年 Weak El Niño year	中厄尔尼诺年 Medium El Niño year	强厄尔尼诺 Strong El Niño year	超强厄尔尼诺年 Super El Niño year	弱拉尼娜年 Weak La Niña year	中拉尼娜年 Middle La Niña year	强拉尼娜年 Strong La Niña year
R_1	火险期 Fire season	440.70	−17.80	−42.10	64.80	64.75	−23.20	−29.30	17.07
R_2	春季火险期 Spring fire season	75.76	−	6.55	15.87	23.01	−	−0.82	29.36
R_2	秋季火险期 Autumn fire season	362.36	−28.51	42.17	−4.03	−13.96	−32.37	−22.44	−2.84
R_3	春季火险期 Spring fire season	49.97	−	4.09	−8.13	−17.83	−	5.09	6.01
R_3	秋季火险期 Autumn fire season	51.10	−3.51	−6.52	−8.43	−8.00	−1.83	−3.66	−7.40
R_4	春季火险期 Spring fire season	111.94	−	3.87	−3.92	2.20	−	−2.42	−2.40
R_4	秋季火险期 Autumn fire season	62.60	−1.11	−18.87*	−4.91	−6.50	−1.83	−1.26	−9.00
R_5	火险期 Fire season	135.85	12.76	−3.17	41.23	47.93*	−15.18	−23.19	−28.86
R_6	火险期 Fire season	81.96	−1.83	−5.98	13.81	15.71*	7.37	−0.99	17.58
R_7	火险期 Fire season	317.99	37.86	22.73	47.62	35.73	−27.31	−8.91	38.89
R_8	火险期 Fire season	596.74	−9.14	8.21	202.40	183.19**	−6.91	−51.34	5.71

* $P<0.05$；** $P<0.01$. 下同 The same below.

弱和中度拉尼娜事件导致大部分林区的火险期降水量减少，但只有 R_5 和 R_8 区在中拉尼娜事件影响下达到显著水平。而强拉尼娜事件会引起 R_5 区火险期降水量减少，但 R_1、R_6、R_7 和 R_2 区秋季火险期降水量大幅增加。

2.3　ENSO 事件对火险天气的影响

弱厄尔尼诺事件会导致我国大部分林区（除 R_1 和 R_3 区）的火险天气指数降低（表 4），其中，R_5 和 R_7 区的季节火险严重程度显著降低（表 5）；中厄尔尼诺事件导致 R_4 区秋季火险期的火险天气指数显著升高，其他区域的火险天气变化不显著；强厄尔尼诺事件导致大部分植被区（除 R_2 和 R_4 区的春季火险期）的火险天气指数有所降低；超强厄尔尼诺事件导致华北、南方和西南地区（R_4、R_5、R_6、R_7 和 R_8 区）的火险天气指数有所降低，R_8 区的火险天气指数和火险严重程度显著降低，西北和部分东北林区（R_1、R_3 和 R_4 区）的火险天气指数有所升高。

弱拉尼娜事件引起 R_4 区春季火险期的火险天气指数和 SSR 显著降低（表 5）；中度拉尼娜事件对火险天气指数和火险严重程度指数都没有产生显著影响；R_2 和 R_3 区春季火险期的 FWI 在强拉尼娜事件期间大幅降低，FWI 分别降低了 44% 和 35%。强拉尼娜事件期间导致 R_5 区火险期的 FWI 和 SSR 大幅增加。

2.4　ENSO 事件对火险严重程度空间分布的影响

ENSO 事件对中温带半干旱地区草原区（R_4）、暖温带湿润/半湿润地区落叶阔叶林区（R_5）、中北亚热带湿润地区阔叶林区（R_7）和热带南亚热带湿

表 4　ENSO 事件对各植被区火险期火险天气指数（FWI）的影响

Table 4　Influence of ENSO events on FWI of fire season for each ecological zone

区域 Region	时段 Period	正常年份 Normal year	与正常年份的差值 Difference from normal year						
			弱厄尔尼诺年 Weak El Niño year	中厄尔尼诺年 Medium El Niño year	强厄尔尼诺 Strong El Niño year	超强厄尔尼诺年 Super El Niño year	弱拉尼娜年 Weak La Niña year	中拉尼娜年 Middle La Niña year	强拉尼娜年 Strong La Niña year
R_1	火险期 Fire season	10.65	−0.73	0.21	−2.54	0.22	−0.08	0.85	−0.17
R_2	春季火险期 Spring fire season	21.74	−	−2.52	3.99	−0.31	−	−0.97	−9.72
R_2	秋季火险期 Autumn fire season	9.52	1.22	−1.32	−2.82	1.41	1.52	1.29	−0.40
R_3	春季火险期 Spring fire season	23.79	−9.17	1.10	−3.79	3.91	−1.24	−2.38	−8.36
R_3	秋季火险期 Autumn fire season	30.38	−0.02	2.64	−2.81	4.39	1.87	1.09	−0.53
R_4	春季火险期 Spring fire season	33.80	−0.95	0.21	0.48	1.36	−6.77*	−0.63	0.52
R_4	秋季火险期 Autumn fire season	20.32	−1.17	5.21*	−2.79	2.55	−0.07	0.98	1.13
R_5	火险期 Fire season	21.45	−2.29	0.10	−3.42	−1.73	−0.62	0.78	4.32
R_6	火险期 Fire season	20.89	−0.39	2.86	−1.81	−0.70	1.04	−1.47	0.46
R_7	火险期 Fire season	11.05	−1.33	−0.67	−2.64	−0.13	0.09	0.33	−1.04
R_8	火险期 Fire season	10.78	−0.44	−0.37	−3.26	−2.62*	−0.49	0.27	−0.18

表 5 ENSO 对各植被区火险期季节火险严重程度(SSR)的影响

Table 5 Influence of ENSO events on SSR of fire season for each ecological zone

区域 Region	时段 Period	正常年份 Normal year	与正常年份的差值 Difference from normal year						
			弱厄尔尼诺年 Weak El Niño year	中厄尔尼诺年 Medium El Niño year	强厄尔尼诺 Strong El Niño year	超强厄尔尼诺年 Super El Niño year	弱拉尼娜年 Weak La Niña year	中拉尼娜年 Middle La Niña year	强拉尼娜年 Strong La Niña year
R_1	火险期 Fire season	3.05	−0.52	0.05	−0.85	0.01	−0.29	0.33	−0.35
R_2	春季火险期 Spring fire season	9.15	−	−1.63	2.67	−0.47	−	−0.68	−5.61
R_2	秋季火险期 Autumn fire season	2.26	0.57	−0.48	−0.88	0.68	0.63	0.51	−0.25
R_3	春季火险期 Spring fire season	10.92	−5.76	0.90	−2.44	2.91	−0.26	−1.58	−5.31
R_3	秋季火险期 Autumn fire season	13.58	0.31	1.68	−2.48	3.16	1.09	0.52	−0.50
R_4	春季火险期 Spring fire season	18.31	−1.41	0.01	0.24	0.48	−5.53*	−0.63	0.63
R_4	秋季火险期 Autumn fire season	7.65	−0.76	3.25*	−1.61	1.65	0.04	0.54	0.48
R_5	火险期 Fire season	8.51	−1.36	−0.04	−2.11	−1.23	−0.28	0.33	2.53
R_6	火险期 Fire season	8.05	−0.25	1.55	−1.41	−0.61	0.66	−0.97	0.31
R_7	火险期 Fire season	3.41	−0.70*	−0.30	−1.27	−0.02	0.07	0.00	−0.31
R_8	火险期 Fire season	3.35	−0.24	0.07	−1.38	−0.92*	−0.16	−0.05	0.05

润地区阔叶林区(R_8)的火险严重程度有显著影响(表 5),因此,本研究主要分析这几个区域在不同 ENSO 事件影响下的空间差异。

R_4区秋季火险期在正常年份的 SSR 平均值为 7.57(1.8~22.4),呈现由东北到西南方向逐渐降低的趋势,ENSO 事件基本没有影响 SSR 的空间分布趋势。中强厄尔尼诺年的 SSR 高于正常年份(+3.25),正常年份 SSR 高的区域增幅更加明显。强厄尔尼诺年 SSR 低于常年,东部区域降低明显。但超强厄尔尼诺年 SSR 高于正常年份,其变化趋势与中厄尔尼诺年基本一致(图 2)。

R_5和 R_8区的火险期相同(12 月至翌年 5 月),R_7区的火险期为 11 月至翌年 5 月,这 3 个区域相邻且火险期相似,所以这 3 个区域放在一起显示,而空间插值是分区进行的。正常年份,R_5区的 SSR 大致呈现由北向南逐步降低的趋势;除中厄尔尼诺略有升高外,R_5区受厄尔尼诺事件影响导致 SSR 降低,强厄尔尼诺年的降幅最大;R_5区在拉尼娜年 SSR 升高,强拉尼娜年升幅最大(+2.88),北部升幅明显。R_7区的 SSR 呈现西部高、东部低的趋势,除弱拉尼娜年略有增加外(+0.06),其他情景都比正常年份低,强厄尔尼诺年降幅明显。R_8区的 SSR 也是西部高、东部低,除中厄尔尼诺事件和强拉尼娜事件略有升高(+0.06~+0.08),ENSO 事件主要影响是引起 SSR 降低(−1.35~−0.07),强厄尔尼诺年降幅最为明显(图 3)。

2.5 ENSO 事件对森林火灾面积的影响

火险天气指数反映可燃物燃烧和扑救的难易程度。虽然火发生与蔓延受火源、天气、可燃物和林火管理等多种因素的影响,但森林火灾面积仍表现出

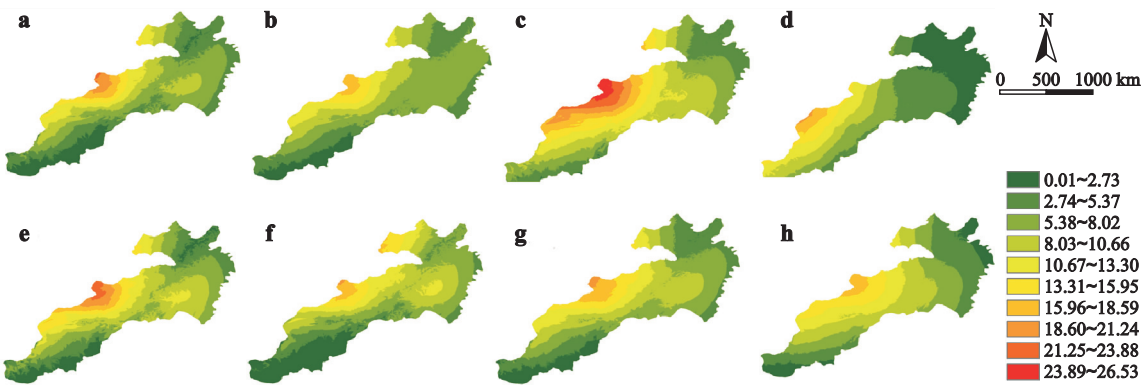


图 2 ENSO 事件对中温带半干旱地区草原区(R_4)秋季火险严重程度(SSR)的影响

Fig.2 Impact of ENSO events on SSR of the autumn fire season in grassland in the semi-arid area of the middle temperate zone (R_4).

a) 正常年份 Normal year; b) 弱厄尔尼诺年 Weak El Niño year; c) 中厄尔尼诺年 Medium El Niño year; d) 强厄尔尼诺年 Strong El Niño year; e) 超强厄尔尼诺年 Super strong El Niño year; f) 弱拉尼娜年 Weak La Niña year; g) 中拉尼娜年 Medium La Niña year; h) 强拉尼娜年 Strong La Niña year. 下同 The same below.

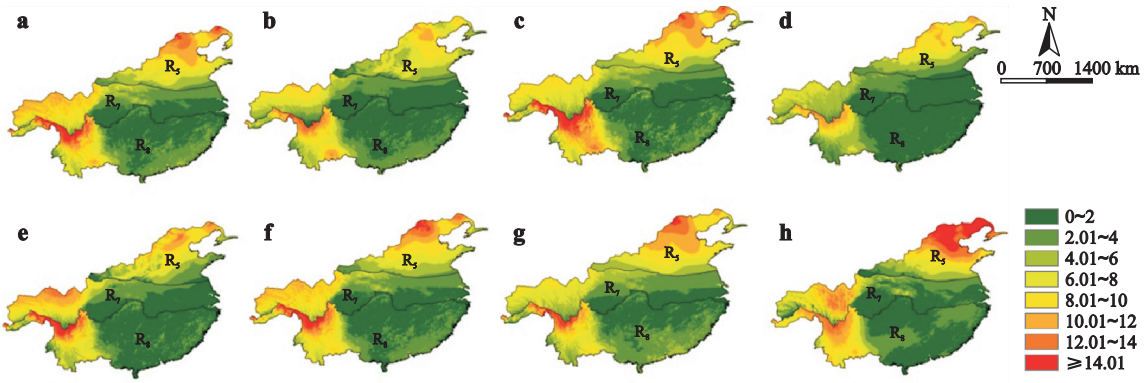


图 3　ENSO 事件对暖温带湿润/半湿润地区落叶阔叶林区(R_5)、中北亚热带湿润地区阔叶林区(R_7)和热带南亚热带湿润地区阔叶林区(R_8)火险严重程度(SSR)的影响

Fig.3　Impact of ENSO events on SSR of the autumn fire season in deciduous broad-leaved forest in humid/semihumid areas of warm temperate zone (R_5), broad-leaved forest in the middle north subtropical humid areas (R_7), and broad-leaved forest in tropical and subtropical humid areas (R_8).

与火险天气指数很好的相关性[24]。森林火灾面积主要受较大面积的火灾影响,而森林大火都发生在火险天气指数高的时段。ENSO 事件对火险天气指数影响显著的区域,其森林过火面积也表现出与 SSR 基本相同的变化趋势。

R_4区秋季火险期在正常年份平均过火面积为 3815 hm^2,弱和中厄尔尼诺年过火面积分别增加 184%和 195%,中拉尼娜年过火面积减少 50%(图 4)。中厄尔尼诺年 SSR 和过火面积都显著增加,但弱厄尔尼诺年的 SSR 小幅降低。R_5区在 2001—2016 年所有 ENSO 事件情景下的过火面积均减少,特别是中和超强厄尔尼诺年过火面积分别下降 87%和 70%,这与 SSR 显著下降的趋势一致。R_7区过火面积在中拉尼娜年显著增加,其他情景下均减少。R_7区在弱厄尔尼诺年的过火面积比正常年份减少 62%,与 SSR 显著降低一致。R_8区的过火面积在中厄尔尼诺年和中拉尼娜年大幅增加,而在超强厄尔尼诺年和弱拉尼娜年分别降低 52%和 64%。2001—2016 年,R_4、R_5、R_7和 R_8区的火险期 SSR 变化显著的情景中,过火面积与 SSR 的变化趋势一致,其他情景下的 SSR 与森林火灾面积的变化趋势不完全一致(表 4)。

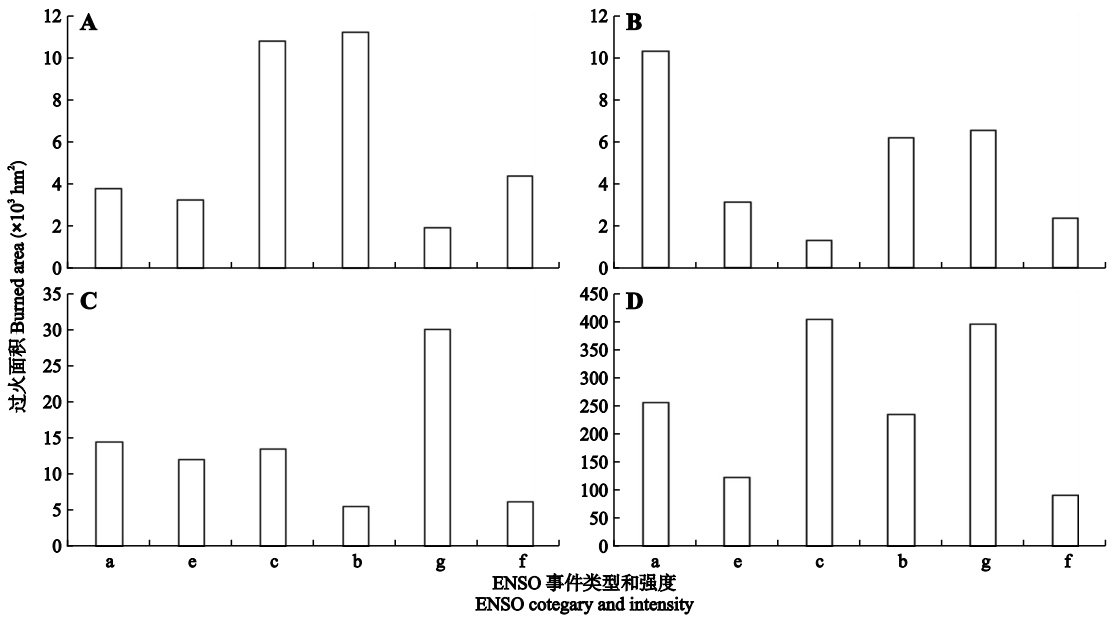


图 4　不同强度的 ENSO 事件与森林过火面积的关系

Fig.4　Relationship between ENSO events with different intensities and burned areas in forests.

A: R_4区域秋季火险期平均过火面积 Burned areas in autumn fire season in R_4; B: R_5区域年均过火面积 Annual average burned areas in R_5; C: R_7区域年均过火面积 Annual average burned areas in R_7; D: R_8区域年均过火面积 Annual average burned areas in R_8.

3 讨 论

以往对 ENSO 事件与森林火灾的研究并没有重点关注火险期的气候、火险天气指数和火灾面积变化,主要探讨森林火灾次数或火灾面积与 ENSO 相关指数的相关性研究[21]。本研究对不同植被区火险期的主要气象因子、火险天气指数和过火面积的分析,对于了解 ENSO 事件对林火的影响具有一定的科学和实践意义。苏明峰[19]认为,厄尔尼诺年长江以南和西北地区容易偏湿,华北地区偏干。本研究结果也认为,在厄尔尼诺年,南方和西南林区(R_5、R_6、R_7和 R_8区)火险期的降水量增加,火险天气指数一般低于常年;中、低强度拉尼娜事件会减少大部分区域的火险期降水量,但强拉尼娜事件导致大部分林区的火险期的降水量增加。火险天气指数在各植被区内也表现出空间差异性,不同 ENSO 事件情景下的 SSR 空间分布图有助于了解这些重要特征。

林火的发生和蔓延受天气条件、可燃物和林火管理等多种因素的影响,特别是中国大部分火灾由人为引起,火灾次数受林火管理的影响也很大,因此,森林火灾与火险天气指数在不同时段不一定显示明显的相关性。但森林火灾面积与火险天气的关系更加密切,特别是森林大火的发生都与干旱相关。本研究采用基于卫星遥感数据提取的森林过火面积只有 2000—2016 年的数据,该时段与火险天气指数的时段不一致,有些情景的重复次数很少,过火面积与火险天气指数的关系还存在一些不确定性,今后需要更长时段的数据分析。在 ENSO 事件显著影响的情景下,SSR 与过火面积的变化趋势表现出很好的一致性,这对于长期森林火险预报有重要的实践意义。

4 结 论

ENSO 事件显著影响我国一些植被区火险期的气温和降水,西北地区(R_3)春季火险期的日均最高气温受强或超强厄尔尼诺事件影响会明显升高,而中温带半干旱草原区(R_4)春季火险期的日均最高气温在中厄尔尼诺年会显著降低。中、强和超强厄尔尼诺年南方(R_7和 R_8)和西南林区(R_6)火险期的降水量一般会增加,中低强度的拉尼娜事件会减少我国大部分区域火险期的降水量,但强拉尼娜事件导致大部分林区火险期的降水量增加。

弱厄尔尼诺事件会导致南方林区火险天气指数降低,强或超强厄尔尼诺事件导致南方和西南林区的火险天气指数有所降低、西北地区(R_3和 R_4秋季火险期)的火险天气指数升高。弱拉尼娜事件引起 R_4区春季火险期的火险天气指数显著降低,强拉尼娜事件导致 R_2和 R_3区春季火险期的火险天气指数降低和 R_5区火险天气指数增加。SSR 的空间变化在 R_4区呈由东北到西南方向逐渐降低的趋势,在 R_5区由北向南逐步降低,而在 R_7和 R_8区呈现西高、东低的趋势。2001—2016 年,R_4、R_5、R_7和 R_8区的火险期 SSR 受 ENSO 事件显著影响时,这些植被区的过火面积与 SSR 变化趋势一致。

参考文献

[1] 许武成, 马劲松, 王文. 关于 ENSO 事件及其对中国气候影响研究的综述. 气象科学, 2005, **25**(2): 212-220 [Xu W-C, Ma J-S, Wang W. A review of studies on the influence of ENSO events on the climate in China. *Journal of the Meteorological Sciences*, 2005, **25**(2): 212-220]

[2] Trenberth KE. The definition of El Nino. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 1997, **78**: 2771-2777

[3] 郑冬晓, 杨晓光. ENSO 对全球及中国农业气象灾害和粮食产量影响研究进展. 气象与环境科学, 2014, **37**(4): 90-101 [Zheng D-X, Yang X-G. Advances on effect of ENSO on agro-meteorological disasters and crop yields of the world and China. *Meteorological and Environmental Sciences*, 2014, **37**(4): 90-101]

[4] Holland GJ. Predicting El Niño's impacts. *Science*, 2009, **325**: 47

[5] Dai AG, Trenberth KE, Qian TT. A global dataset of Palmer drought severity index for 1870-2002: Relationship with soil moisture and effects of surface warming. *Journal of Hydrometeorology*, 2004, **5**: 1117-1130

[6] Fasullo JT, Otto-Bliesner BL, Stevenson S. ENSO's changing influence on temperature, precipitation, and wildfire in a warming climate. *Geophysical Research Letters*, 2018, **45**: 9216-9225

[7] Riley KL, Abatzoglou JT, Grenfell IC, *et al*. The relationship of large fire occurrence with drought and fire danger indices in the western USA, 1984-2008: The role of temporal scale. *International Journal of Wildland Fire*, 2013, **22**: 894-909

[8] Chen Y, Morton DC, Andela N, *et al*. A pan-tropical cascade of fire driven by El Niño/Southern Oscillation. *Nature Climate Change*, 2017, **7**: 906

[9] 许武成, 王文, 马劲松, 等. 1997—1998 年厄尔尼诺事件的特征、成因及对气候的影响. 东海海洋, 2004, **22**(3): 1-8 [Xu C-W, Wang W, Ma J-S, *et al*. The characteristics, causes of formation and climatic impact of the 1997-1998 El Nino events. *Donghai Marine Science*, 2004, **22**(3): 1-8]

[10] Levine JS, Bobbe T, Ray N, *et al*. Wildland Fires and the Environment: A Global Synthesis. Division of Envi-

ronmental Information, Assessment and Early Warning, United Nations Environment Programme, Technical Report 99-1. Geneva: United Nations Environment Programme, 1999

[11] Kitzberger T, Brown PM, Heyerdahl EK, *et al*. Contingent Pacific-Atlantic Ocean influence on multicentury wildfire synchrony over western North America. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2007, **104**: 543-548

[12] Harrison M, Meindl CF. A statistical relationship between El Niño-Southern Oscillation and Florida wildfire occurrence. *Physical Geography*, 2001, **22**: 187-203

[13] Hagemeyer BC. Development of a low pressure index as a proxy for dry season severe weather in Florida and its relationship with ENSO. 12th Conference on Applied Climatology Joint with 15th Conference on Probability and Statistics in the Atmospheric Sciences, Asheville, NC, 2000: 22-25

[14] Herrera GV. Mexican forest fires and their decadal variations. *Advances in Space Research*, 2016, **58**: 2104-2115

[15] Mariani M, Fletcher MS, Holz A, *et al*. ENSO controls interannual fire activity in southeast Australia. *Geophysical Research Letters*, 2016, **43**: 10891-10900

[16] Dowdy AJ. Climatological variability of fire weather in Australia. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 2018, **57**: 221-234

[17] 李稚, 李卫红, 陈亚宁. 全球变化背景下新疆地区气候跃变的可能影响因素分析. 冰川冻土, 2011, **33**(6): 1302-1309 [Li Z, Li W-H, Chen Y-N. Analyses of possible influential factors of climatic jump in Xinjiang Region under background of global change. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2011, **33**(6): 1302-1309]

[18] 高辉, 王永光. ENSO 对中国夏季降水可预测性变化的研究. 气象学报, 2007, **65**(1): 131-137 [Gao H, Wang Y-G. On the weakening relationship between summer precipitation in China and ENSO. *Acta Meteorologica Sinica*, 2007, **65**(1): 131-137]

[19] 苏明峰. 中国近半个世纪气候冷暖与干湿配置关系的研究. 硕士论文. 北京: 中国科学院大气物理研究所, 2005 [Su M-F. The Configurable Relationships between Warm-Cold and Dry-Wet in Climate Change over China. Master Thesis. Beijing: Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, 2005]

[20] 王东, 张勃, 安美玲, 等. 基于 SPEI 的西南地区近 53 a 干旱时空特征分析. 自然资源学报, 2014, **29**(6): 1003-1016 [Wang D, Zhang B, An M-L, *et al*. Temporal and spatial distributions of drought in southwest china over the past 53 years based on standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Natural Resources*, 2014, **29**(6): 1003-1016]

[21] 王明玉, 舒立福, 田晓瑞, 等. ENSO 对黑龙江省森林火灾的影响. 林业科学研究, 2010, **23**(5): 644-648 [Wang M-Y, Shu L-F, Tian X-R, *et al*. Influences of ENSO events on forest fires in Heilongjiang Province. *Forest Research*, 2010, **23**(5): 644-648]

[22] Yao Q, Brown PM, Liu S, *et al*. Pacific-Atlantic Ocean influence on wildfires in Northeast China (1774 to 2010). *Geophysical Research Letters*, 2017, **44**: 1025-1033

[23] 张晓玉, 田晓瑞. 厄尔尼诺/拉尼娜对大兴安岭森林火险天气的影响. 林业科学研究, 2018, **31**(6): 55-62 [Zhang X-Y, Tian X-R. Impacts of El Niño/La Niña on fire weather of Daxing'anling. *Forest Research*, 2018, **31**(6): 55-62]

[24] Camia A, Amatulli G. Weather factors and fire danger in the Mediterranean// Chuvieco E, ed. Earth Observation of Wildland Fires in Mediterranean Ecosystems. Berlin: Springer-Verlag, 2009: 71-82

[25] Van Wagner CE, Forest P. Development and Structure of the Canadian Forest Fire Weather Index System. Canadian Forestry Service, Forestry Technical Report 35. Edmonton, Alberta, Canada: Canadian Forestry Service, 1987

[26] 田晓瑞, 舒立福, 赵凤君, 等. 中国主要生态地理区的林火动态特征分析. 林业科学, 2015, **51**(9): 71-77 [Tian X-R, Shu L-F, Zhao F-J, *et al*. Dynamic characteristics of forest fires in the main ecological geographic districts of China. *Scientia Silvae Sinicae*, 2015, **51**(9): 71-77]

[27] Hutchinson MF. ANUSPLIN Version 4.36 User Guide. Centre for Resource and Environmental Studies. Canberra: Australian National University, 2006

[28] 中国气象局. 厄尔尼诺/拉尼娜事件判别方法. 北京: 中国标准出版社, 2017 [China Meteorological Administration. Distinguishing Method of El Niño/La Niña Accident. Beijing: China Standards Press, 2017]

作者简介　田晓瑞, 男, 1971 年生, 博士, 研究员。主要从事森林防火研究。E-mail: tianxr@ forestry.ac.cn

责任编辑　杨　弘

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



田晓瑞, 宗学政, 舒立福, 等. ENSO 事件对中国森林火险天气的影响. 应用生态学报, 2020, **31**(5): 1487-1495

Tian X-R, Zong X-Z, Shu L-F, *et al*. Impacts of ENSO events on forest fire weather of China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2020, **31**(5): 1487-1495