

## 2015—2019 年全国卫星林火监测热点的分析及趋势

田甜<sup>1</sup>, 殷继艳<sup>2\*</sup>, 贾晓丽<sup>2</sup> (1. 应急管理部北方航空护林总站, 黑龙江哈尔滨 150027; 2. 中国消防救援学院, 北京 102202)

**摘要** 对 2015—2019 年全国卫星监测部门发布的相关信息, 对 18 470 个监测热点, 1 160 起林火草原火, 228 起境外火进行统计研究。分析热点及林草火的季节性变化、地域分布和火源种类繁多等发生特点。结果表明, 热点数和火灾数在不同年份之间存在一些差异, 呈上下波动状态; 空间分布方面, 林草火热点主要集中在我国中南、西南部和东北部, 这与我国实际林草火频发区基本吻合; 区域分布方面, 全国热点及森林火灾主要集中在我国西南部和东北部; 时间分布方面, 南方地区热点及火灾集中在 2—4 月, 东北地区集中在气候干燥的 4、10 月。

**关键词** 遥感图像; 森林火灾; 卫星林火监测; 热点

**中图分类号** S762.3<sup>2</sup> **文献标识码** A

**文章编号** 0517-6611(2021)21-0140-05

**doi:** 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.21.034



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

### Analysis and Trend of National Satellite Forest Fire Monitoring Hotspots in 2015-2019

TIAN Tian<sup>1</sup>, YIN Ji-yan<sup>2</sup>, JIA Xiao-li<sup>2</sup> (1. Ministry of Emergency Management North Aviation Forest Station, Harbin, Heilongjiang 150027; 2. China Fire and Rescue Institute, Beijing 102202)

**Abstract** 18 470 monitoring hotspots, 1 160 forest and grassland fires, and 228 foreign fires released by satellite monitoring departments in China from 2015 to 2019 were statistically studied. The characteristics of seasonal variation, regional distribution and fire source variety of hot spots and forest and grass fires were analyzed. The study showed that there were some differences between the hot spot number and the fire number in different years, and they fluctuated up and down; in terms of spatial distribution, the hot spots of forest and grass fires in recent five years were mainly concentrated in the central south, southwest and northeast of China, which was basically consistent with the actual frequent forest and grass fires in China; in terms of regional distribution, hot spots and forest fires were mainly concentrated in the southwest and northeast of China; in terms of time distribution, hot spots and fires in southern China were concentrated in February-April. In Northeast China, fires were concentrated in April and October when the climate is dry. The hot spots and forest fires of characteristics and trends in recent five years were summarized, which can provide reliable basis for forest fire management in China under the new situation.

**Key words** Remote sensing image; Forest fire; Satellite forest fire monitoring; Hotspot

在诸多自然灾害中, 森林火灾属于突发性强、威力及破坏力大的灾害。一旦发生森林火灾, 就会给生态环境及人民财产安全带来重大危害和严重损失<sup>[1]</sup>。我国国土面积大, 森林和草原分布广阔, 森林植被分布不均, 导致我国总体森林面积不高<sup>[2]</sup>, 林火监测工作一直是森林草原防火工作的重要组成部分。对于面积范围大、区域广的林区, 依靠地面上的人力瞭望以及巡视、视频设备或热红外系统监控、固定翼或直升机的飞机巡护等监测方式, 不仅费用昂贵, 且工作及操作烦琐复杂, 尤其对于偏远的林区或部分森林盲区监测力度不够, 精度不高, 且工作效率低<sup>[3]</sup>。运用卫星遥感技术获得遥感影像, 并对影像进行火灾的风险预警和监测, 具有实时性强、监测范围广、经济适用等特点<sup>[4-5]</sup>, 同时在时间、空间分辨率方面以及宏观层面上都具有一定的优势, 为我国森林火灾的预防和扑救提供了动态数据和决策参考<sup>[6]</sup>。目前, 卫星遥感影像技术已经成为全球各国在森林火灾预警与监测方面必不可少的重要方法。正因如此, 我国设立了专门负责林火监测行业的管理部门, 分别为应急管理部森林防火预警监测信息中心(原国家林业局监测中心)、西南卫星林火监测分中心、东北卫星林火监测分中心和西北卫星林火监测分中心, 由 1 个中心 3 个分中心共同承担。同时研发和设计出一

整套适用于全国监测火灾的技术处理系统, 主要利用卫星遥感技术, 结合全国的地理信息, 对我国 31 省区及直辖市的地面热点进行宏观的林火监测, 并对监测到的热点进行核查确认。

我国自 1993 年开展卫星林火监测工作以来, 预警及监测效果很好。近 30 年来, 卫星林火监测已监测到重大、特大森林火灾百余起, 在一些偏远地区、重点林区以及林业资源丰富的原始林区, 监测效果极其显著, 卫星监测手段不仅扩大了森林火灾的监测范围, 还对于观测地面盲区起到很大作用。运用卫星林火监测技术, 能及时准确地监测森林火灾, 实时跟踪监测火灾发展态势, 做到提前发现热源, 为实现“打早、打小、打了”的目标作出重要贡献。该研究的卫星监测数据主要来源于监测中心及 3 个分中心日常工作所发布、统计的图像与热点信息。星源主要有两大类, 分别为 FY-3 系列的 FY-3A、FY-3B、FY-3C, 以及 NOAA 系列的 NOAA-18、NOAA-19, 同一监测区域全天可被覆盖、扫描 10 余次。这些卫星的分辨率约为 1.1 km, 火点的燃烧范围与热辐射量达到一定规模才可被监测到和识别出来。对于森林覆盖面积较大的林区、人烟稀少的原始林区或高山林区及与邻国接壤的边境地带较好的监测效果。监测部门每年发布图像约 11 000 幅, 包括公众图像(无热点)与原始图像(有热点)。监测热点反馈结果包括林草火、境外火、计划烧除、农用火等情况。为了更有效地开展我国林火监测业务, 为预防森林火灾提供决策依据, 该研究利用 2015—2019 年全国监测热点数、林火草原火及境外火数据进行比对和分析。

**基金项目** 国家重点研发计划项目“森林和草原自然火灾全天候灾情监测预警与处置装置”(2020YFC1511604)。

**作者简介** 田甜(1990—), 女, 黑龙江牡丹江人, 助理工程师, 硕士, 从事森林防火及卫星林火监测研究。\* 通信作者, 副教授, 博士, 从事森林防火研究。

**收稿日期** 2021-03-11

## 1 主要林火监测遥感卫星

目前,卫星林火监测工作(监测中心及3个分中心)所使用的遥感卫星主要是风云三号气象卫星、高分四号救灾卫星以及美国国家海洋大气局的 NOAA 气象卫星。

**1.1 风云三号(FY-3)极轨气象卫星** FY-3 卫星是我国为了满足中国天气预报、气候预测和环境监测等适应监测大范围自然灾害和生态环境需求而研发的第二代极轨气象卫星。该卫星共搭载有 10 余种观测设备和仪器,具有监测范围视野广、观测频次密、对地面高温热源敏感等多方面特点,使用这种人机交互方法可以较容易地准确识别火点<sup>[7]</sup>,空间分辨率为 1.1 km。由于风云三号卫星可实现对整个地球全天候组网观测,即 FY-3A 和 FY-3C 属于上午观测卫星,FY-3B 和 FY-3D 属于下午观测卫星,因此每日可对同一空间区域进行多次扫描,当天可多次获得全球的观测资料。

**1.2 高分四号(GF4)静止轨道卫星** GF4 卫星于 2015 年 12 月发射并成功入轨<sup>[8]</sup>,它的主要载荷装置是一台 50 m 的高分辨率凝视相机。利用它的中波段红外通道特点,即重复观测时间间隔短(1 s),较大程度地提升了对我国各地区及边境区域的观测时效<sup>[9]</sup>。运用于我国森林火灾预警工作方面,一是可以对全国范围内森林及植被进行连续监测,可根据遥感图像对其进行森林火灾风险评估;二是可以获得一些植被的有效信息,如森林可燃物长势、湿度等。目前,高分四号卫星图像只用于监测我国重大森林火灾,统一由监测中心接收并发布 GF4 图像。

**1.3 美国 NOAA 卫星** NOAA 是来源于美国国家大气海洋局卫星,其卫星上搭载着拥有先进技术的高分辨率辐射载荷数据。其获取并提供的影像可覆盖整个地球范围,属于中分辨率图像,一直应用于火灾监测方面<sup>[10]</sup>。虽然,该气象卫星星下点分辨率只有 1.1 km,相对较低,但它对温度指标很敏感,分辨能力颇强,能识别 0.1 hm<sup>2</sup> 的热点<sup>[11]</sup>。特别在 24 h 内可重复观察同一地区 4 次,由于美国 NOAA 卫星具有时效性强、经济成本低的优势,在资源卫星中占有重要地位。

## 2 2015—2019 年全国卫星林火监测数据现状及分析

**2.1 全国 31 省区监测热点情况** 对 2015—2019 年全国监测热点数量比较,可以看出在 2015 年出现峰值,2017 年出现低谷,2016、2017、2018、2019 年热点数基本保持平稳,整体呈下降趋势(图 1)。

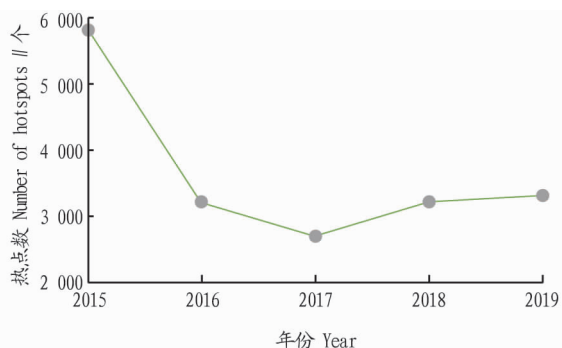


图 1 2015—2019 年全国热点数量统计

Fig. 1 Statistics of national hot spots from 2015 to 2019

从全国 31 省区热点统计(表 1)可以看出,2015—2019 年各省区热点统计数据,位列前 4 名的省区分别是广东、云南、江西、广西,热点总数后 3 名为青海、天津、上海,其中上海市热点数均为 0,从未监测到热点情况。

表 1 2015—2019 年全国各省区热点统计

Table 1 Statistics of hot spots in various provinces and regions from 2015 to 2019

省份 Province	2015 年	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年
广东 Guangdong	1 068	434	291	383	178
云南 Yunnan	754	396	285	535	663
江西 Jiangxi	786	459	344	346	329
广西 Guangxi	625	248	369	568	485
黑龙江 Heilongjiang	541	319	287	198	203
湖南 Hunan	370	416	245	217	225
福建 Fujian	444	140	236	254	322
贵州 Guizhou	311	67	152	258	112
内蒙古 Inner Mongolia	268	168	71	152	143
四川 Sichuan	135	41	87	122	112
湖北 Hubei	53	188	93	59	86
辽宁 Liaoning	85	85	39	52	74
安徽 Anhui	58	37	44	30	47
吉林 Jilin	52	16	31	67	45
西藏 Tibet	84	11	19	6	11
河北 Hebei	14	40	27	21	51
山西 Shanxi	9	10	14	42	80
河南 Henan	4	44	24	44	31
浙江 Zhejiang	79	56	25	28	39
海南 Hainan	52	7	3	14	10
陕西 Shaanxi	5	16	3	3	37
山东 Shandong	13	5	5	8	18
甘肃 Gansu	1	4	1	1	6
新疆 Xinjiang	0	0	1	3	7
重庆 Chongqing	1	6	1	1	0
宁夏 Ningxia	2	2	0	0	3
江苏 Jiangsu	1	2	1	1	1
北京 Beijing	1	2	0	0	3
青海 Qinghai	0	1	1	0	0
天津 Tianjin	0	0	0	0	1
上海 Shanghai	0	0	0	0	0

**2.2 全国林火草原火情况及分析** 针对监测部门发布的所有热点信息数据,31 省区及地方防火部门都需要对其进行热点反馈,监测部门最关注的反馈为林火草原火的热点。由表 2 可知,2015—2019 年全国范围内反馈为林草火灾的共计 1 160 起,2015 年 280 起,占热点总数的 4.8%;2016 年 155 起,占 4.8%;2017 年 176 起,占 6.5%;2018 年 229 起,占 6.7%;2019 年 320 起,占 9.6%。可以看出林草火比例呈逐年递增趋势,2019 年占比接近 10%。

**2.3 全国境外火数据情况** 境外火是国外入侵我国境内的火灾,由表 3 可知,我国 2015—2019 年境外火情况控制较好,境外火占当年热点总数的比例分别为 1.8%、1.1%、1.1%、0.8%、1.0%。发生境外火的省区有 8 个,其中西藏和内蒙古火灾数量多且形势严峻,5 年累计火灾比例高达 41.7%和 34.6%,二者已占到全部境外火的 75%以上;黑龙江 13.2%,

吉林4.8%,位居境外火数量的第3、4位;云南、新疆、广西以及辽宁4省境外火发生次数较少。

表2 2015—2019年全国各省区林草火统计

Table 2 Forest and grass fire statistics of provinces and regions from 2015 to 2019 起

省份 Province	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年
四川 Sichuan	42	13	41	37	31
云南 Yunnan	45	12	22	17	51
广东 Guangdong	17	8	24	42	28
辽宁 Liaoning	32	47	4	9	22
江西 Jiangxi	15	8	13	42	25
广西 Guangxi	13	6	7	19	19
福建 Fujian	32	6	11	9	5
内蒙古 Inner Mongolia	18	7	13	4	18
湖北 Hubei	2	3	4	10	28
湖南 Hunan	3	8	9	10	15
山西 Shanxi	2	2	1	3	33
河北 Hebei	8	8	10	5	9
黑龙江 Heilongjiang	17	3	6	5	2
吉林 Jilin	10	3	0	8	0
浙江 Zhejiang	8	2	0	0	9
河南 Henan	0	5	3	4	7
陕西 Shaanxi	1	4	1	1	8
山东 Shandong	1	3	3	2	3
海南 Hainan	6	2	0	0	1
安徽 Anhui	0	1	3	1	2
贵州 Guizhou	5	1	0	1	0
西藏 Tibet	3	1	1	0	1
北京 Beijing	0	0	0	0	2
宁夏 Ningxia	0	1	0	0	1
甘肃 Gansu	0	1	0	0	0
江苏 Jiangsu	0	0	0	0	0
新疆 Xinjiang	0	0	0	0	0
天津 Tianjin	0	0	0	0	0
重庆 Chongqing	0	0	0	0	0
青海 Qinghai	0	0	0	0	0
上海 Shanghai	0	0	0	0	0

初步推断,这些发生境外火的地区具有复杂地形的边境线,接壤地带有大面积的森林或草原;边境地区的人群活动较多,人为因素火源也随之增多,从而导致林火发生频繁;有些国家预防及控制火灾能力弱,对我国的预防及扑救火灾也造成一定难度和影响。

表3 2015—2019年全国境外火统计

Table 3 Statistics of overseas fires in China from 2015 to 2019 起

省份 Province	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年
西藏 Tibet	58	6	17	4	9
内蒙古 Inner Mongolia	36	24	4	4	11
黑龙江 Heilongjiang	1	3	8	12	6
吉林 Jilin	3	0	1	4	3
云南 Yunnan	2	0	0	1	2
新疆 Xinjiang	0	0	0	3	2
广西 Guangxi	2	1	0	0	0
辽宁 Liaoning	1	0	0	0	0

### 3 热点及林火的发生特点

**3.1 季节性变化** 根据2015—2019年统计的全国卫星监测数据,按照我国六大重点森林覆盖区域划分来分析热点及森林火灾数量季节性变化,结果见图2、3。由图2、3可知,在东北和华北地区,春、秋季的热点数居多,具体时间为每年3—5月和9—11月,同时这个时段的火灾数也是全年高发时期,其中春季的热点数量较为明显,森林火灾也多发生在春季,该时段的火灾数量约占该地区年林火量的80%以上;华东和中南地区全年热点较多,热点的高发、易发时段为每年9月至次年4月,此时段热点数可达该地区全年数的95%以上,森林火灾也随之增长。该时段的森林火灾占该地区年林火数的97%以上。西南和西北热点的高发时段相似,2—4月是全年最多时期,热点及火灾数量均占全年总数的75%以上。由此可见,全国各区域热点都有季节性变化,且发生林火情况也随热点数变化而变化。

**3.2 发生地域相对集中** 从图4、5可以看出,云南、广东、广西、江西、黑龙江、湖南、福建、贵州、内蒙古及四川这10省区热点数排在全国前十名<sup>[12]</sup>,其中云南、广东、广西、江西和黑龙江5省是发现热点大省,热点数达1500个以上。热点多的省区也是林草火发生的重点省区,其中四川、云南、辽宁、江西、广西5年林草火数量均累计达到上百起,占全国林草火总数的56%。据分析,热点多的省份主要集中在我国中南、西南地区,这些地区省份相邻,人烟稠密,农林相交,区内森林生产、生活用火比较多,导致防治困难,易发生森林火灾。东北地区热点数虽不多,约占全国热点总数的16%,累计的林火占比可达20%,说明东北地区林火情况较为严峻,地广人稀,森林多且面积大,部分地带交通不便,难以及时发现和有效扑救森林大火。一旦发现热点,林火概率较高。华北及西北地区热点及林火数量均较少。

**3.3 森林火源种类繁多** 总体来说,引发森林火灾的主要火源分为天然火源和人为火源两大类<sup>[13]</sup>。天然火源主要分为森林雷击、火山爆发、陨石坠落、滚石火花等,其中雷击火是引发森林火灾的主要天然火源。人为火源种类繁多,分类较细,在性质上可分为生产性和非生产性2种。在生产性方面,大致可以分为森工用火、农林牧用火、林副业用火;非生产性方面,大致可以分为野外生产或用火做饭、驱除蚊虫、恐吓野兽、成人吸烟、儿童弄火和其他迷信宗教用火,以及有人蓄意放火、智障人士和精神病患弄火等。在我国,基本99%的森林火灾都是人为火源引起,是引起林火的主要火源和重要原因。其中,烧荒烧炭、野外吸烟、迷信宗教、上坟烧纸和儿童玩火等是森林火源管理的重点方向,由这些案例引发的森林火灾次数累计占70%以上。

### 4 结论与讨论

利用应急管理部中国森林防火网2015—2019年热点数据库数据,分析了全国卫星林火监测热点特征及其趋势,结论如下:

(1)从监测数据上看,2015—2019年全国卫星监测部门共监测并发布的监测热点18470个,林火草原火1160起,境

外火 228 起。其中 2015 年热点 5 816 个,反馈为林草火 280 个,境外火 103 个;2016 年热点 3 220 个,林草火 155 个,境外火 34 个;2017 年热点 2 699 个,林草火 176 个,境外火 30 个;2018 年热点 3 413 个,林草火 229 个,境外火 28 个;2019 年热

点 3 320 个,反馈为林草火 320 个,境外火 33 个。由此可见,每年的总热点数量、林草火灾个数、境外火个数都有变化,不同年份之间存在一些差异,呈上下波动状态。

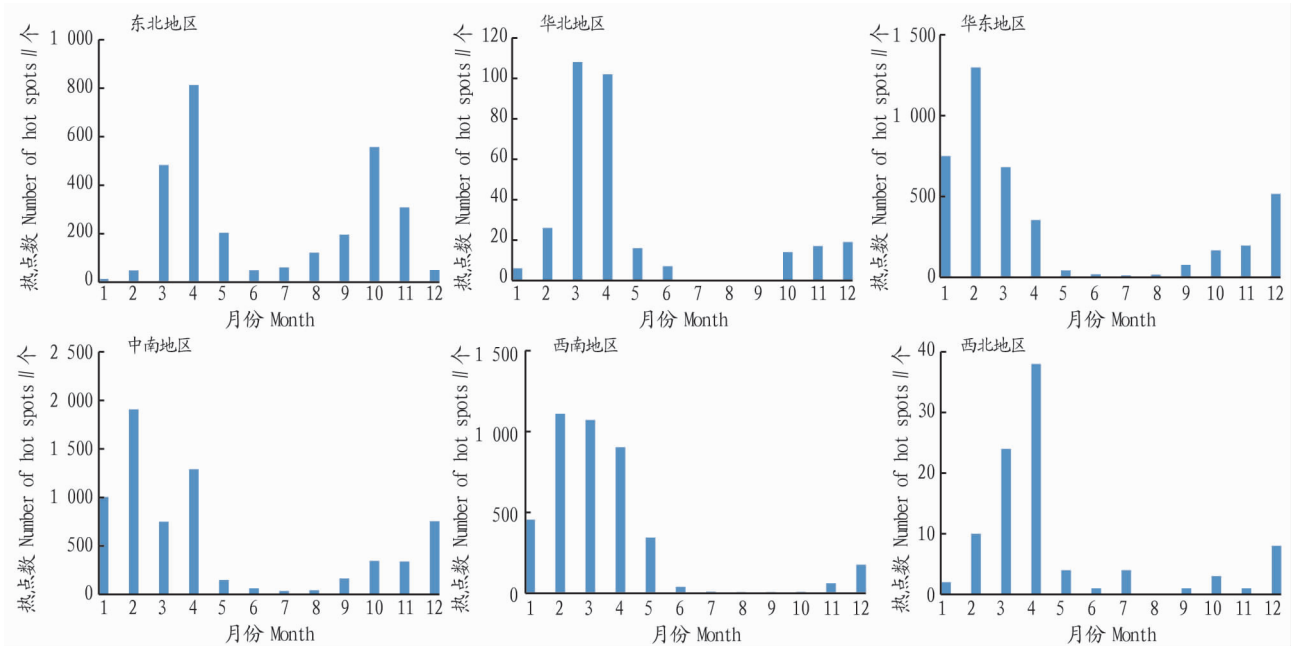


图 2 2015—2019 年我国六大重点森林覆盖区域热点情况

Fig. 2 Hot spots in six key forest covered area in China from 2015 to 2019

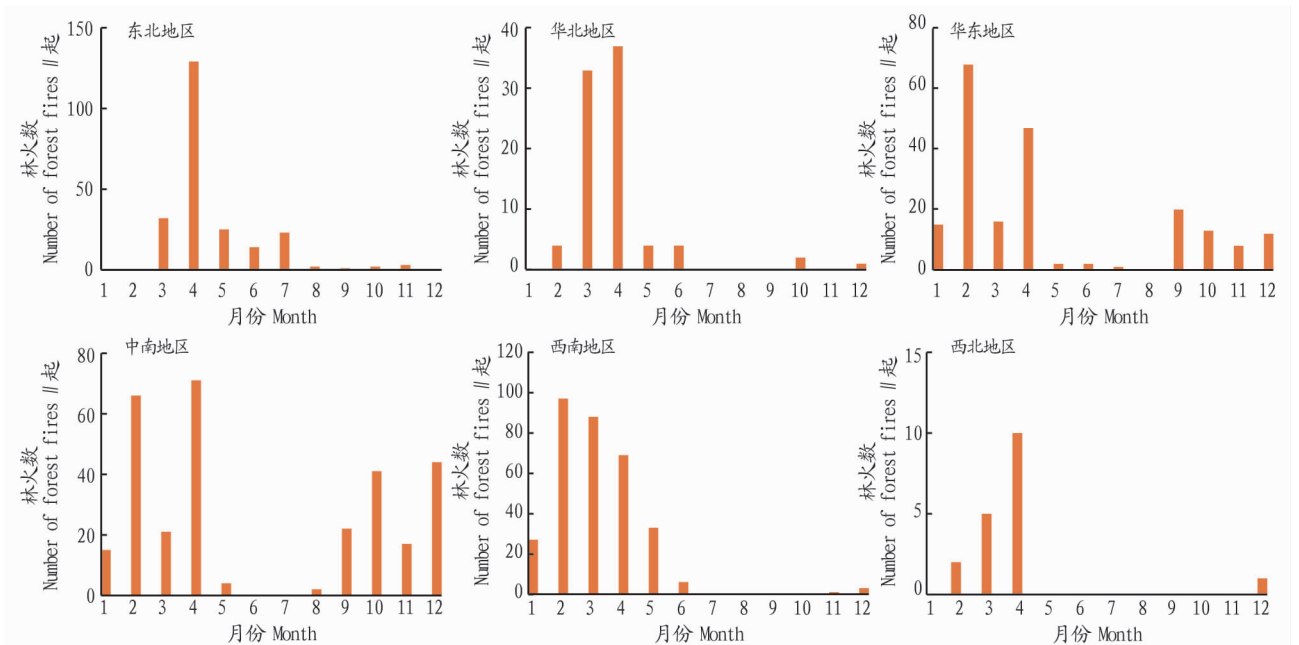


图 3 2015—2019 年我国六大重点森林覆盖区域森林火灾情况

Fig. 3 Forest fires in six key forest covered areas in China from 2015 to 2019

(2)从空间分布上看,2015—2019 年林草火热点主要集中于我国中南、西南部和东北部,这与我国实际林草火频发区基本吻合。卫星热点作为目前最易获取且能较全面反映火源状况的数据,基于其核查数据可为林草火预测预报分析提供新思路。由于林草火和卫星热点在空间分布上均具有聚集性特征,且会随空间尺度不同发生变化,因此需调整不

同尺度下搜索半径,能更好体现其空间聚集特征的统计半径。每年林草火占当年热点数的比例逐年增加,说明监测的准确性更好,判读精度更高,主要原因是监测卫星在逐步改进,稳定性有所增强,监测员的技术能力也不断提升。

(3)从区域分布上看,2015—2019 年全国热点及森林火灾主要集中于我国西南部和东北部。究其原因,南方人口密

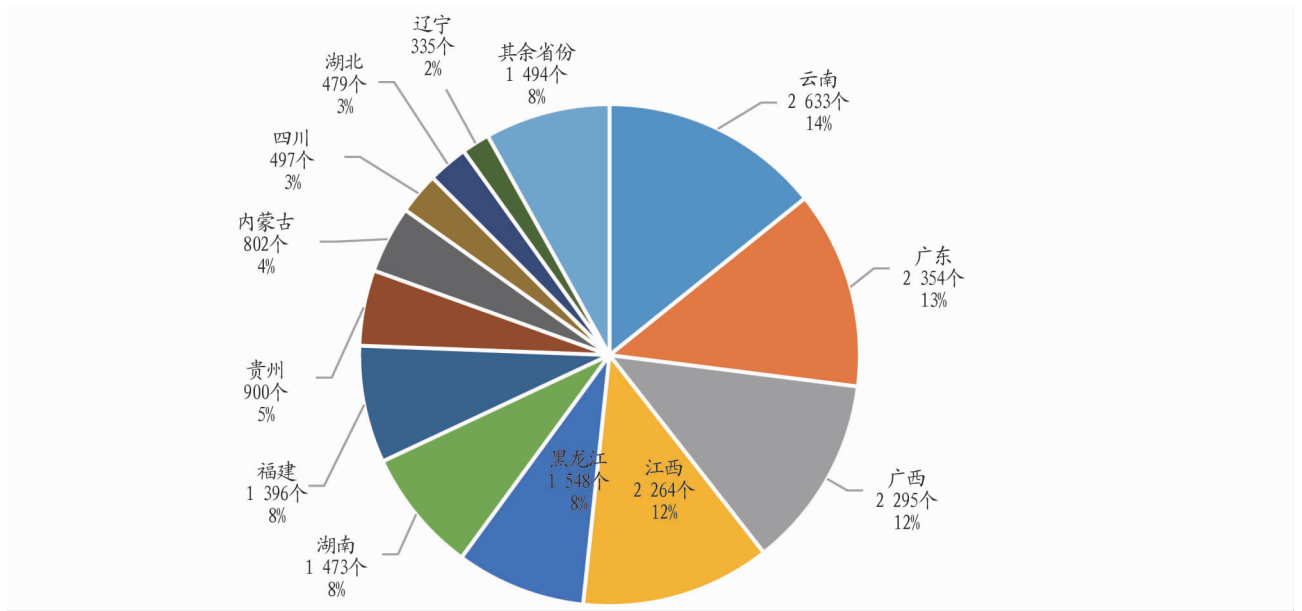


图4 全国热点总数排名统计

Fig. 4 Ranking statistics of national hot spots

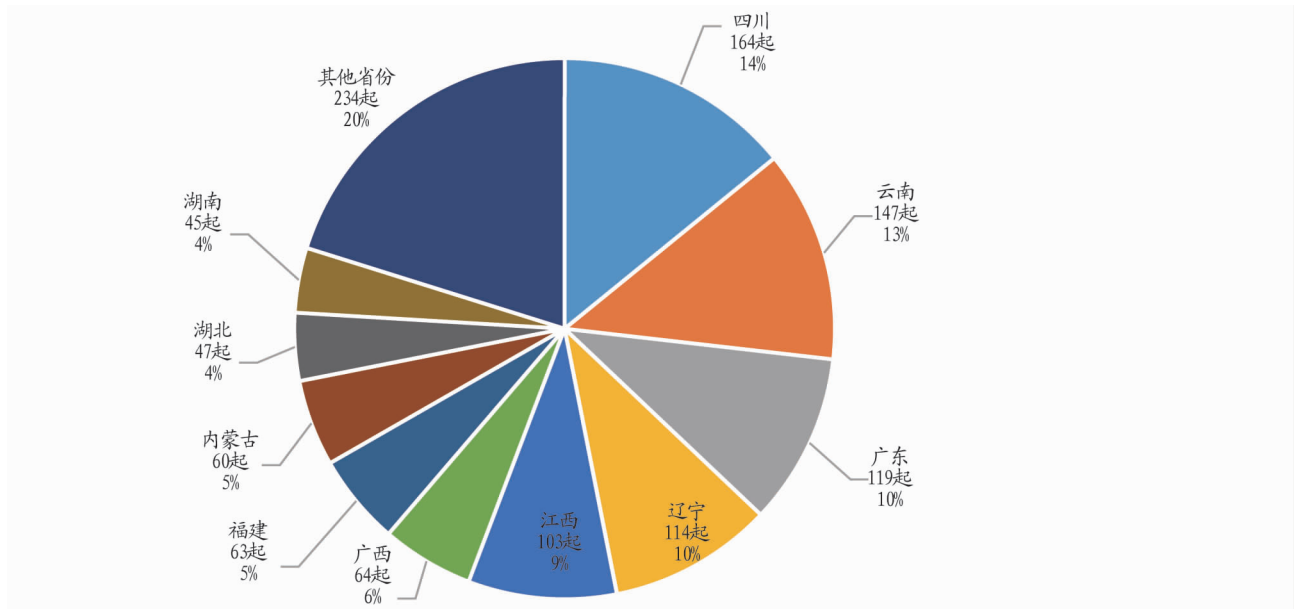


图5 全国林草火总数排名统计

Fig. 5 Ranking statistics of total forest and grass fires in China

集,人为扰动因素大,发生森林火灾的频率高。部分西南地带高山陡峭、植被丰富,防火扑火困难。北方虽林火总数量相对少,但东北及内蒙古林区气候干燥、树种易燃、可燃物多,一旦发生火灾易形成重大森林火灾。

(4)从时间分布上看,南方地区林草火热点集中在2—4月,这与我国南方地区春节前后农事、祭祀等人用火颇多事实吻合,该时段也是南方林草火高发期;东北地区热点集中在气候干燥的4、10月,春秋季节雨少天干的气候也是造成林火频发的重要原因。

由于受扫描分辨率、云雾遮挡等因素的影响,卫星热点数据难以反映较小火烧面积热源,同时从热点反馈信息看,一些热点也受当地政策、民俗习惯等事项干扰。因此,应构

建森林防火信息平台,提前把烧荒、烧隔离带、计划烧除、防火演习等军事、农事信息上传到共享平台,同时报备林火监测部门,以提高热点核查工作效率,建立卫星热点监测与林草火预测预报更科学的联系。

#### 参考文献

- [1] 邓湘雯,孙刚,文定元. 林火对森林演替动态的影响及其应用[J]. 中南林业学院学报, 2004, 24(1): 51-55.
- [2] 张兴赢,郑伟,高玲. 风云气象卫星在自然灾害监测中的应用[J]. 城市与减灾, 2018(6): 36-42.
- [3] 舒立福,王明玉,田晓瑞,等. NOAA/AVHRR和EOS/MODIS林火监测比较[J]. 森林防火, 2005(4): 27-29.
- [4] 李晓恋. 基于MODIS数据的多因子协同作用下森林火灾预测监测研究[D]. 合肥:中国科学技术大学, 2016.
- [5] 扎西顿珠,拉巴,王彩云. 3S支持下的EOS/MODIS数据在西藏森林火灾监测中的应用研究[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(28): 15714-15717.

(下转第171页)

适量增施微生物菌剂对番茄植株根系放线菌数量增加有显著的促进作用。

施用微生物处理对番茄根际微生物数量有一定的影响,各处理微生物总数表现为  $T_3 > T_2 > T_1 > CK$ ,  $T_3$  处理土壤最优,以细菌为主,占生物群落的 80.71%,其次为放线菌,占 18.47%,真菌占比很小,只占 0.0586%,施用微生物菌剂增加了对设施土壤有利的细菌、放线菌数量,降低了对设施土壤不利的真菌数量,优化了设施土壤菌群结构,改善了设施土壤的微生物环境,增加了对肥料的利用率,促进了植物生长发育。

### 3 结论与讨论

**3.1 不同处理对设施土壤理化性质的影响** 土壤速效养分能够很好地反映土壤养分的存在状况。该研究结果表明,处理  $T_3$  能够提高速效养分在土壤中的积累,0~20 cm 土壤中速效磷较对照增加了 59.32%,速效钾较对照增加了 48.50%,土壤中速效磷、速效钾在河北省设施土壤中属于丰富级别,提高了土壤中对植物的养分供应,保障了植株正常的生长发育。这是因为在施用微生物菌剂后,微生物菌剂含的有效菌能够活化土壤中的固定养分,促进沉积于土壤中难溶性磷、钾的溶解和释放,促进土壤中营养元素转化为植物可吸收的形态,显著提高了速效磷和速效钾的含量,提高了土壤速效养分的供应能力,改善了土壤中养分的供应状况,增加土壤肥力。但试验结果表明对氮肥利用率无明显影响,这可能是解淀粉芽孢杆菌能溶解土壤中难溶解的磷、钾化合物,加速了磷、钾的吸收与利用。同时,微生物菌剂还能产生植物激素类物质,刺激和调节作物生长,能激发土壤中固定的钙、锌等微量元素,使植物生长健壮,营养状况得到改善,使经济作物提高产量,改善品质<sup>[6,12]</sup>。

**3.2 不同处理对设施土壤微生物量的影响** 研究表明,处理  $T_3$  定植时蘸根+定植时灌溉冲施+膨果期灌根施肥处理对番茄根际微生物数量有一定的影响。 $T_3$  处理微生物总数最高,细菌、放线菌分别较对照增加了 82.08%、70.35%,真菌数量较对照降低了 34.96%,处理  $T_3$  设施土壤主要以细菌为主,占生物群落的 80.71%,其次为放线菌占 18.47%,真菌只占 0.0586%,施用微生物菌剂增加了对设施土壤有利的细菌、放线菌数量,降低了对设施土壤不利的真菌数量,优化了

设施土壤菌群结构,改善了设施土壤的微生物环境。这是因为微生物菌剂施入土壤后,微生物菌剂的有益微生物生长繁殖在作物根际土壤微生态系统产生内能,游离功能菌快速繁殖并能形成活力强大的优势种群,土壤中对植株有益的细菌、放线菌数量显著增加,对植株不利的真菌数量明显降低,且随着施用微生物菌剂数量的增加而发生明显变化,优化了土壤微生物种群结构,从根本上改善了植株根系周边的生态结构,使植株土壤根部微生物区系微生态趋于平衡,从而有利于植株根系的正常生长,明显改善了设施土壤微生态环境,提高了土壤活性。综上所述,施用微生物菌剂,在定植时蘸根+定植时灌溉冲施+膨果期灌根施肥处理使土壤中的难溶性磷、钾得到了有效释放,土壤中为植物提供养分的速效磷、速效钾得到了大幅度的提升,提升了设施土壤的肥力,同时,植物根系微生物总数得到了大幅度的提高,为植株生长提供了良好的生长环境,为最佳的施肥处理<sup>[13-14]</sup>。

### 参考文献

- [1] 金圣爱,李俊良.设施菜地退化土壤修复技术[M].北京:中国农业出版社,2017.
- [2] 吴玉娥,姚怀莲,林惠莲,等.设施蔬菜作物连作障碍研究进展[J].中国园艺文摘,2013,29(3):46-48.
- [3] 祝海燕.过量施肥对设施果菜类蔬菜的影响:以山东省寿光市为例[J].中国瓜菜,2018,31(11):50-52.
- [4] 李硕,秦闯,魏欢,等.设施茄子各生育期施用微生物菌剂对产量及土壤性状的影响[J].河北农业大学学报,2019,42(6):65-70.
- [5] 张敏硕,赵英男,杨威,等.微生物菌剂对张北冷凉坝上地区马铃薯产量、品质及活化土壤磷钾的效果[J].水土保持学报,2019,33(3):235-239.
- [6] 张佼,屈锋,朱玉尧,等.增施有机肥和微生物菌剂对春季杨凌设施番茄产量和品质的影响[J].西北农业学报,2019,28(5):767-773.
- [7] 赵英男,耿丽平,李博文,等.多功能秸秆副腐熟剂对设施番茄产量和品质的影响[J].北方园艺,2016(2):42-45.
- [8] 张雅楠,张均,燕香梅,等.氮肥减施配施菌剂对水稻生长及土壤有效养分的影响[J].土壤通报,2019,50(3):655-661.
- [9] 吕军,文庭池,郭坤亮,等.酒糟生物有机肥和微生物菌剂对土壤微生物数量及高粱产量的影响[J].农业现代化研究,2013,34(4):502-506.
- [10] 赵利坤,张英.作物连作障碍的影响因素及防治对策[J].黑龙江农业科学,2013(12):18-20.
- [11] 张绪美,曹亚茹,沈文忠,等.微生物肥对设施土壤次生盐渍化和番茄生产的影响[J].中国土壤与肥料,2019(5):119-126.
- [12] 张志鹏,蔡燕飞,段继贤,等.复合微生物菌剂在设施黄瓜上的应用效果研究[J].安徽农业科学,2020,48(2):168-170.
- [13] 岳明灿,王志国,陈秋实,等.减施化肥配施微生物菌剂对番茄产质量和土壤肥力的影响[J].土壤,2020,52(1):68-73.
- [14] 耿士均,王波,刘刊,等.专用微生物肥对不同连作障碍土壤根际微生物区系的影响[J].江苏农业学报,2012,28(4):758-764.

(上接第 144 页)

- [6] 彭徐剑,张惠莲,崔晓,等.浅谈森林火灾预警体系构建[J].森林防火,2017(1):14-15.
- [7] 郑伟,邵佳丽,王萌,等.多源卫星遥感草原火灾动态监测分析[J].自然灾害学报,2013,22(3):54-61.
- [8] 闫德民,李庆阁.我国森林火灾监测体系现状及展望[J].森林防火,2017(3):27-30,54.
- [9] 杨光,宁吉彬,舒立福,等.黑龙江大兴安岭卫星热点预报森林火灾准

- 确定性研究[J].北京林业大学学报,2017,39(12):1-9.
- [10] 刘志勇,蒋岳新,申志强,等.利用卫星系统提升我国森林火灾监测能力探讨[J].航天器工程,2019,28(6):96-100.
- [11] 舒立福,王明玉,赵凤君,等.几种卫星系统监测森林火技术的比较与应用[J].世界林业研究,2005,18(6):49-53.
- [12] 田国华,杨松.我国 31 个地区森林火灾时空分布特征[J].森林防火,2013(2):10-14.
- [13] 胡海清,魏书精,孙龙,等.气候变化、火干扰与生态系统碳循环[J].干旱区地理,2013,36(1):57-75.