



基于GEE平台的钱江源国家公园森林火灾动态变化研究

毛丽君 彭徐剑 薛晓明 李明诗

Research on Dynamic Changes of Forest Fires in Qianjiangyuan National Parks Based from GEE Platform

Mao Lijun, Peng Xujian, Xue Xiaoming, Li Mingshi

引用本文:

毛丽君, 彭徐剑, 薛晓明, 李明诗. 基于GEE平台的钱江源国家公园森林火灾动态变化研究[J]. *西南林业大学学报*, 2022, 42(5):158–164. doi: 10.11929/j.swfu.202108036

Mao Lijun, Peng Xujian, Xue Xiaoming, Li Mingshi. Research on Dynamic Changes of Forest Fires in Qianjiangyuan National Parks Based from GEE Platform[J]. *Journal of Southwest Forestry University(Natural Science)*, 2022, 42(5):158–164. doi: 10.11929/j.swfu.202108036

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11929/j.swfu.202108036>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

融合可见光无人机与哨兵2A影像的森林火灾迹地精细化提取

Fine Extraction of Forest Burned Area by Using Fusion Visible Light UAV Image with Sentinel2A image
西南林业大学学报. 2021, 41(4): 103–110 <https://doi.org/10.11929/j.swfu.202009008>

基于PCA和系统聚类的西南地区森林火灾形势评价

Forest Fire Situation Assessment in Southwest China Based on PCA and System Clustering
西南林业大学学报. 2018, 38(4): 153–160 <https://doi.org/10.11929/j.issn.2095-1914.2018.04.024>

昆明重大森林火灾火烧迹地可燃物研究

Combustibles in Fires of Major Forest Fires in Kunming
西南林业大学学报. 2019, 39(5): 157–164 <https://doi.org/10.11929/j.swfu.201811023>

基于AHP-PCA模型的安宁市森林火灾社会脆弱性评价

Risk Assessment on Social Vulnerability of Forest Fire in Anning Based on AHP-PCA
西南林业大学学报. 2018, 38(2): 153–157 <https://doi.org/10.11929/j.issn.2095-1914.2018.02.023>

大兴安岭地区夏季森林火灾环境因子特征分析

Analysis on Environmental Factors' Characteristics of Summer Forest Fire in Daxing'anMountains
西南林业大学学报. 2021, 41(3): 87–93 <https://doi.org/10.11929/j.swfu.202008039>

森林火灾对马尾松次生林土壤活性有机碳的影响

Effects of Forest Fires on Soil Labile Organic Carbon in Secondary Forest of *Pinus massoniana*
西南林业大学学报. 2021, 41(5): 121–130 <https://doi.org/10.11929/j.swfu.202009007>

DOI: 10.11929/j.swfu.202108036

引文格式: 毛丽君, 彭徐剑, 薛晓明, 等. 基于 GEE 平台的钱江源国家公园森林火灾动态变化研究 [J]. 西南林业大学学报 (自然科学), 2022, 42(5): 158–164.

基于 GEE 平台的钱江源国家公园森林火灾动态变化研究

毛丽君^{1,2,3} 彭徐剑⁴ 薛晓明^{1,3} 李明诗^{2,5}

(1. 南京森林警察学院刑事科学技术学院, 江苏 南京 210023; 2. 南京林业大学林学院, 江苏 南京 210037; 3. 野生动植物物证技术国家林业和草原局重点实验室, 江苏 南京 210023; 4. 南京森林警察学院治安学院, 江苏 南京 210023; 5. 南京林业大学南方林业协同创新中心, 江苏 南京 210037)

摘要: 以钱江源国家公园试点区及其周围 10 km 缓冲区为研究区域, 基于 GEE 云平台、Landsat 卫星影像以及卫星林火监测数据, 结合目视解译与光谱指数法快速提取过火区域, 并统计火灾发生时间、频率和过火面积的变化规律, 使用景观指数描述过火区域的空间模式。结果表明: 1999—2019 年, 研究区共发生 19 起森林火灾, 其中春季和冬季森林火灾高发, 分别占火灾总数的 47.37% 和 42.11%; 2013 年平均单次森林火灾覆盖范围最广 (83.54 hm²), 2011 年发生森林火灾次数最多 (6 次), 过火区域的面积差异较大, 而 2014 年和 2019 年仅各发生 1 次火灾; 研究区过火区域面积共计约为 766.55 hm², 在研究期间呈现先增加后减少的趋势。钱江源国家公园范围内过火面积仅为 9.05 hm² (2011 年和 2014 年分别为 9.04 hm² 和 0.01 hm²)。本研究适用于借助免费历史 Landsat 数据快速获取 30 m 分辨率尺度的火灾信息, 建立空间明确的灾情历史数据档案, 及时、客观地评估国家公园灾害管理成效。

关键词: 国家公园; 森林火灾; 火烧迹地; 谷歌地球引擎

中图分类号: S762

文献标志码: A

文章编号: 2095-1914(2022)05-0158-07

Research on Dynamic Changes of Forest Fires in Qianjiangyuan National Parks Based from GEE Platform

Mao Lijun^{1,2,3}, Peng Xujian⁴, Xue Xiaoming^{1,3}, Li Mingshi^{2,5}

(1. College of Criminal Science and Technology, Nanjing Forest Police College, Nanjing Jiangsu 210023, China; 2. College of Forestry, Nanjing Forestry University, Nanjing Jiangsu 210037, China; 3. Key Laboratory of National Forestry and Grassland Administration on Wildlife Evidence Technology, Nanjing Jiangsu 210023, China; 4. College of Public Security, Nanjing Forest Police College, Nanjing Jiangsu 210023, China; 5. Co-innovation Center for Sustainable Forestry in Southern China, Nanjing Forestry University, Nanjing Jiangsu 210037, China)

Abstract: Taking the Qianjiangyuan National Park Pilot Area and the surrounding 10 km wide buffer zone as our research case, based on the Google Earth Engine(GEE) cloud platform, Landsat satellite imagery, and remote sensing based forest fire monitoring data, visual interpretation combined with spectral index method was implemented to extract the burned scars quickly. Then the extracted forest fires were statistically analyzed in terms of fire occurrence time, frequency, and burned area. In addition, several landscape indices were calculated to describe the spatial pattern of the burned scars. The results showed that during the period 1999 to 2019, 19 forest

收稿日期: 2021-08-19; 修回日期: 2021-09-29

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金 (LGYB201704) 资助; 国家自然科学基金 (31971577) 资助; 江苏省自然科学基金面上项目 (BK20181338) 资助; 江苏高校优势学科建设项目资助; 江苏省高校优秀科技创新团队 (2019-29) 资助。

第 1 作者: 毛丽君 (1987—), 女, 博士, 讲师。研究方向: 遥感、GIS 及其生态应用。Email: 111207@nfpcc.edu.cn。

fires occurred in the study area, of which forest fires occurred in spring and winter seasons accounting for 47.37% and 42.11% of the fires, respectively. The biggest forest fire, with a size of 83.54 hm², was observed in 2013, while the highest occurrence frequency of forest fires(6 times) was discovered in 2011, and their burned areas differed largely. In contrast, there was only one fire each in 2014 and 2019. The total burned area was approximately 766.55 hm² during the study period, and there was a trend of increasing first and then decreasing in the study period. Besides, the burned area within Qianjiangyuan National Park was 9.05 hm²(9.04 hm² and 0.01 hm² in 2011 and 2014 respectively). The proposed method in the current work is suitable for quickly obtaining 30 m resolution scale post-fire information by means of free historical Landsat data, establishing a spatially explicit historical archive of disastrous events, and evaluating the effectiveness of disaster management for the national park timely and objectively.

Key words: national park; forest fire; burned area; Google Earth Engine

国家公园是自然保护地体系建设的主体, 管理人员需要定期监测其辖区内自然资源的状况及其面临的威胁, 以便采取积极的保护策略^[1]。森林火灾是国家公园管理的最大挑战之一, 它会带来温室气体排放、加速生态系统退化和野生动物灭绝等环境影响^[2]。近年来的全球气候变化导致毁灭性森林火灾频繁发生, 这一趋势在未来将明显加剧^[3]。准确提取火烧迹地并研究森林火灾的年度发展动态是监测国家公园火干扰并采取适当管理措施的基础, 对于全面量化火干扰对当地人民生活、所保护生态系统乃至全球碳平衡造成的影响至关重要^[4]。

遥感影像在绘制过火区域和火灾动态监测方面具有相当大的潜力, 与传统地面调查方法相比, 它具有准确快速、拥有历史存档数据以及能与其他专题数据结合使用等优势^[5]。全球遥感火灾产品主要分为两类: 过火区域产品和活跃火灾产品。目前我国森林防火工作中使用的是来自于MODIS、NOAA、风云系列等气象卫星提供的活跃火灾数据, 尚未系统开展利用遥感影像编制历史火灾数据库的工作。由于气象卫星分辨率较低, 官方统计的热点坐标和真实情况往往存在偏差。基于地物光谱特征的自动检测方法能够快速提取过火区域, 但是森林火灾的发生往往过程复杂且缺乏明确的空间模式^[6-7]。学者们已经提出了各种自动方法来增强过火区域检测的能力, 从而尽量减少火烧迹地与其他地物之间的光谱混淆^[5], 最常用的方法是利用火灾发生前后2景影像中提取的光谱指数差异来反映土地覆盖变化^[8-9]。由于火灾发生后形成较明显的过火痕迹, 对于地形复杂且景观异质性强的国家公园来说, 往往目视解译比自动检测方法精度更高^[10]。传统的目视解

译方法需要经过复杂的数据下载及预处理流程, 而云计算平台拥有高效的数据运算、地图显示与矢量编辑功能, 通过编写少量代码即可显示灾害发生前后的土地覆盖变化。因此, 在云平台支持下基于目视解译方法快速提取过火区域, 对于形成国家公园历史火灾数据库及提升林火管理效率具有极大的推动作用。谷歌地球引擎(GEE)是一个提供全球尺度地球观测数据存储和用户友好界面的开放数据访问平台, 具有强大的数据处理能力, 已被广泛应用于遥感研究领域^[11-12]。

钱江源国家公园体制试点区(以下简称“钱江源国家公园”)是长三角经济发达地区唯一的国家公园体制试点区, 当地居民在进行烧除田地角、清理农田废弃物、炼山等活动时用火不慎极易引发森林火灾。因此, 本研究以钱江源国家公园为例, 基于GEE平台解译方法快速提取过火区域, 从面积、斑块数量和空间分布等方面分析研究区的森林火灾动态。

1 研究区概况

钱江源国家公园位于浙江省衢州市开化县境内(118°03'~118°21'E, 29°10'~29°26'N), 总面积约252 km²。空间范围包括原古田山国家级自然保护区、钱江源国家森林公园、钱江源省级风景名胜及其连接地带^[13]。钱江源地区属于白际山脉的一部分, 大部分为中山丘陵区。浙、皖、赣三省交界处有伞老尖、高楼尖等几座山峰组成的区域, 统称为莲花尖, 是浙江省最大河流钱塘江的发源地。该国家公园属于亚热带季风性湿润气候, 拥有以低海拔中亚热带常绿阔叶林及其生态系统为主的典型植被景观, 森林覆盖率达81.7%, 动植物物种数达2230种, 但可利用于农耕的平

原地貌稀缺, 被形象地概括为“九山半水半分田”。所在开化县年平均降水量为 1963 mm, 年平均气温 16.2 ℃, 无霜期达 252 d, 年平均日照时数 1334.1 h^[14], 每年的 11 月 1 日至次年 4 月 30 日为森林防火期。

2 材料与方法

2.1 数据来源

本研究使用的数据主要包括 Landsat SR 数据、航天飞机雷达地形测绘任务 (SRTM) 数据、开放街道地图^[15] (OSM) 开源矢量数据、卫星林火监测数据和官方提供的文件资料等。其中 Landsat 数据来源于 GEE 平台 (<https://developers.google.com>); OSM 数据下载地址为: <https://www.openstreetmap.org> (下载日期为: 2019 年 12 月 15 日); 卫星林火监测数据来源于中国森林草原防火网

(<http://slcyfh.mem.gov.cn/>, 包括 1999 年 1 月 1 日—2019 年 12 月 31 日浙江、安徽、江西省的热点数据)。

2.2 数据选取与预处理

由于火灾发生后伴随气象、地形等条件的变化蔓延至周围区域, 为了科学评估研究区森林火灾发生的特点与规律, 将研究范围拓展至钱江源国家公园及其周围 10 km 缓冲区区域。利用卫星林火热点数据和 Landsat 卫星影像编制过火区域数据集。卫星林火热点数据是利用 NOAA、MODIS、风云系列等气象卫星的热红外波段识别火灾信号并反馈到当地防火部门, 经地面人员核查后形成的火灾热点记录。通过定位经纬度坐标提取研究区发生的 62 场火灾 (包括林火、炼山、农用火、未找到等), 其中 19 个历史火点经核查后反馈为“林火”(见表 1), 火情大部分由于烧草木灰、烧田埂等农事活动引发。

表 1 研究区林火热点信息

Table 1 Information of forest fire hotspots in the study area

序号	接收时间	县名	像素数	东经/(°)	北纬/(°)	星标	有无云烟
1	2002-01-06T16: 19	开化县	4	118.198 8	29.131 4	NOAA-12	有
2	2002-11-11T16: 19	开化县	2	118.128 9	29.165 8	NOAA-12	无
3	2007-01-31T21: 21	开化县	3	118.440 0	29.360 0	NOAA-14	无
4	2007-03-29T18: 00	开化县	2	118.220 0	29.130 0	FY-1D	无
5	2007-04-08T17: 32	开化县	2	118.410 0	29.320 0	NOAA-12	无
6	2007-02-03T17: 14	婺源县	2	118.020 0	29.320 0	NOAA-12	无
7	2008-03-02T12: 54	开化县	4	118.330 0	29.390 0	NOAA-18	有
8	2008-03-03T16: 39	开化县	2	118.310 0	29.320 0	FY-1D	无
9	2008-04-24T17: 38	婺源县	2	118.110 0	29.320 0	FY-1D	无
10	2011-02-06T02: 25	开化县	1	118.327 7	29.315 4	NOAA-18	无
11	2011-02-03T15: 30	开化县	2	118.388 5	29.379 7	FY-1D	无
12	2011-02-05T13: 16	开化县	2	118.227 9	29.353 5	NOAA-19	无
13	2011-03-09T15: 41	开化县	3	118.036 7	29.191 8	FY-1D	无
14	2011-04-24T15: 49	开化县	2	118.209 2	29.226 8	FY-1D	无
15	2011-04-05T19: 30	开化县	2	118.401 5	29.313 3	NOAA-16	无
16	2013-04-15T20: 20	开化县	1	118.384 0	29.386 0	NOAA-16	无
17	2013-12-31T21: 08	开化县	2	118.409 1	29.345 7	NOAA-16	无
18	2014-02-01T21: 18	开化县	2	118.282 6	29.308 5	NOAA-16	无
19	2019-10-02T17: 19	开化县	2	118.407 4	29.321 8	NOAA-19	无

自动检测过程通常会将烧焦区域和具有类似光谱特征的其他元素 (如河流、云阴影或地貌特征) 混淆^[16-17], 因此本研究利用 GEE 便捷的影像

查询、光谱指数计算与地图显示功能, 结合目视解译与光谱指数法手动提取过火区域。首先, 将火点矢量数据导入 GEE Assets 中并在地图窗口显示。利

用 GEE 丰富的图像库，选取热点接收时间前后各 6 个月，含云量最小的可用 Landsat SR 系列数据。为了更好地地区分景观中的烧伤疤痕，通过定义可视化参数将图像进行假彩色合成显示，R、G、B 通道分别对应于短波红外、近红外和红光波段。

2.3 过火区域提取

计算差分归一化燃烧比 (dNBR) 值 (即火灾后归一化燃烧比 (NBR) 值减去火灾前 NBR 值) 并绘制在地图窗口中，值为负或较小时代表再生长或未过火区域，值越高代表过火强度越高^[18]。根据火灾前、火灾后及 dNBR 3 幅图像，使用地

图显示窗口的“绘制形状”工具对过火区域进行手动数字化 (如图 1)。绘制完成后设置图形导入参数，包括火灾名称，输出类型 (矢量集合)，同时记录火灾编号和火灾发生年份。最后，将数字化的所有火烧迹地图形进行融合并输出为 “.shp” 矢量格式文件。由于卫星林火监测系统采用气象卫星获取热点信息，数据空间分辨率较低 (约 1 km)，依据热点经纬度数据查找过火区域时发现，过火斑块与探测热点位置发生偏移。如图 1 所示，过火区域在火灾热点的东侧，真实火灾发生位置偏移了约 500 m。

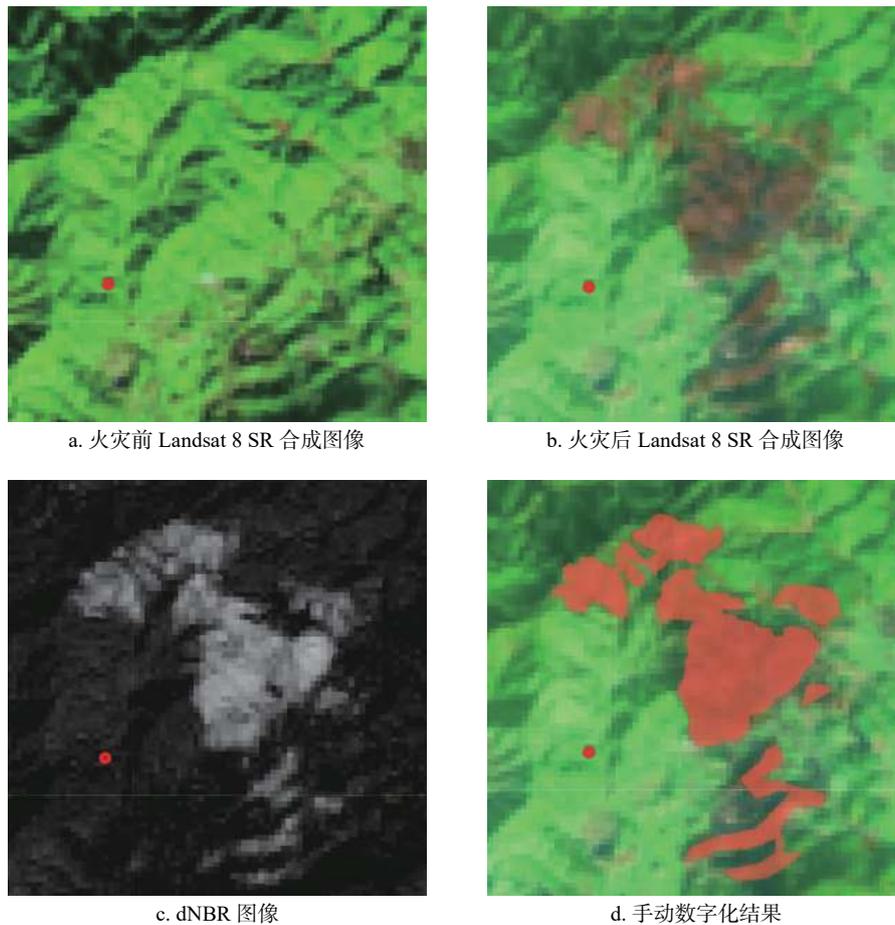


图 1 GEE 提取 2013 年火烧迹地过程示例

Fig. 1 Illustration of the 2013 burned area extraction process in GEE

2.4 火斑块空间模式分析

获取火烧迹地矢量图形后，统计过火区域的火灾发生时间、频率和过火面积变化规律，并使用景观指数描述过火区域的空间模式。景观指数最初用来描述生境破碎化的特征，尤其是研究生境斑块逐渐破碎对生物多样性的影响方面作用明显^[19]。许多学者对生境破碎化的生态效应进行了各种理论和实证研究，并且开发了各种景观指数^[20]。

在森林火灾相关研究中景观指数常用于衡量过火区域的空间特征 (大小、形状、斑块排列和地理方向)^[7]，火灾导致的森林破碎化^[21]或林火强度^[22]等。本研究利用 ArcGIS 的 Patch Analyst 插件分析过火斑块的空间分布模式，使用的指数包括斑块面积大小和密度指数，具体有平均斑块大小 (MPS)，斑块数 (NumP)，斑块大小标准差 (PSSD) 和总燃烧面积 (TBA)。

3 结果与分析

3.1 年度火烧迹地面积变化

GEE 中日视解译提取的火烧迹地结果见图 2。结合火烧迹地面积统计(表 2)与景观指数分析结果(表 3)得到, 1999—2019 年期间过火区域的总面积约为 766.55 hm^2 。19 次森林火灾的过火面积都不超过 100 hm^2 , 若按照过火面积大小分类, 均属于较大森林火灾(1~100 hm^2), 未出现重大和特别重大森林火灾。过火总面积最大的年份分别是: 2011 年(237.12 hm^2)、2013 年(167.08 hm^2)、2008 年(139.36 hm^2); 平均单次火灾面积最大的同样是这 3 个年份, 分别为 83.54 hm^2 (2013 年), 46.45 hm^2 (2008 年)、39.52 hm^2 (2011 年)。森林火灾的发生时间集中在森林防火期内, 其中春季和冬季森林火灾高发, 分别占火灾总起数的 47.37%和 42.11%。

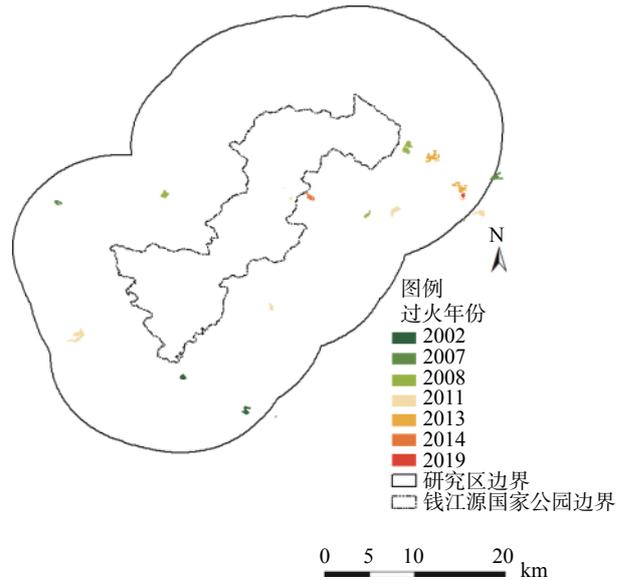


图 2 GEE 提取的历史火烧迹地结果
Fig. 2 Historical burned areas extracted from GEE

表 2 火烧迹地面积统计表

Table 2 Statistical area information of the burned area

序号	年份	月份	季节	过火面积/ hm^2	地区	序号	年份	月份	季节	过火面积/ hm^2	地区
1	2002	01	冬季	44.68	开化县	11	2011	02	冬季	12.77	开化县
2	2002	11	秋季	27.73	开化县	12	2011	02	冬季	9.04	开化县
3	2007	01	冬季	61.35	开化县	13	2011	03	春季	92.83	开化县
4	2007	03	春季	3.10	开化县	14	2011	04	春季	22.02	开化县
5	2007	04	春季	4.83	开化县	15	2011	04	春季	45.94	开化县
6	2007	02	冬季	27.03	婺源县	16	2013	04	春季	81.70	开化县
7	2008	03	春季	73.68	开化县	17	2013	12	冬季	85.38	开化县
8	2008	03	春季	21.99	开化县	18	2014	02	冬季	38.59	开化县
9	2008	04	春季	43.68	婺源县	19	2019	10	秋季	15.68	开化县
10	2011	02	冬季	54.52	开化县						

表 3 研究区火斑块景观指数计算结果

Table 3 Landscape index calculation results of the fire patches in the study area

年份	火灾次数	TBA/ hm^2	NumP	MPS/ hm^2	PSSD/ hm^2
2002	2	72.41	2	36.21	8.48
2007	4	96.37	5	19.27	21.96
2008	3	139.36	3	46.45	21.19
2011	6	237.12	7	33.87	30.16
2013	2	167.08	6	27.85	27.80
2014	1	38.59	1	38.59	0.00
2019	1	15.68	1	15.68	0.00

3.2 火烧迹地空间格局变化

景观指数计算结果(表 3)显示, 2013 年单次森林火灾覆盖范围最广, 其特点表现为: 总面积第 2 高, 火灾次数少(2 次), 平均单次过火面积最大(83.54 hm^2)。2011 年发生森林火灾次数最多(6 次), 被烧毁面积最大(237.12 hm^2 , 占

比 29.64%), 斑块大小标准差最高(30.16 hm^2), 表明单个燃烧区域的大小差异较大。相比之下, 2014 年和 2019 年仅发生 1 次火灾, 2019 年过火面积最小(15.68 hm^2)。2002 年发生火灾次数和过火面积都不大, 斑块大小标准差最低(8.48 hm^2), 说明过火区域的面积大小相似。2008 年平均斑块面积最大(46.45 hm^2), 说明火灾发生后燃烧区域较为完整连续, 这与当地的地形与植被构成有关。

3.3 年度过火面积变化

过火区域面积在研究期间呈现先增加后减少的趋势(图 3)。钱江源国家公园范围内的总过火面积为 9.05 hm^2 , 火灾发生在 2011 年和 2014 年, 其中 2011 年过火面积相对较大(9.04 hm^2), 而 2011 年在公园外部缓冲区同样发生了多起森林火灾事件。当时国家公园试点建设尚未开展, 火灾发生在已建成保护区之间的连接地带, 而古田山国家级自然保护区和钱江源风景名胜区在研究期

间始终未发生过森林火灾。2014 年在国家公园内部检测到的过火区域是由外围发生的森林火灾蔓延所致，因此过火面积仅为 0.01 hm²。

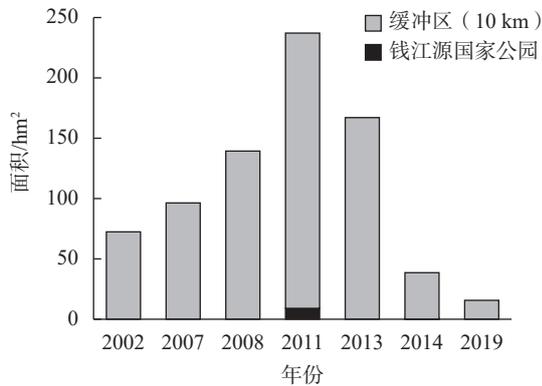


图 3 钱江源国家公园与周边缓冲区过火面积对比

Fig. 3 Comparison of burned area between the Qianjiangyuan National Park and surrounding buffer zone

4 结论与讨论

本研究通过基于 GEE 云平台的快速目视解译流程改进过火区域的提取准确度与效率。基于以下原因，研究未对目视解译的结果进行精度评估：1) 缺乏准确、完整的官方历史火灾记录；2) 由于大部分火灾发生的年份较早且该地区地形复杂，难以开展实地调查工作；3) 目视解译提供了足够可靠的数据，往往被用来验证由监督分类或非监督分类得到的过火区域提取结果。目视解译过程中发现卫星林火热点记录的空间坐标与实际过火区域之间存在偏差，这是由于获取热点的气象卫星分辨率较低，官方设计的林火监测软件和系统误差导致探测热点的空间坐标产生一定偏移^[23]。坐标偏移一般在 500 m 左右，因此所得结果仍然能够对研究区历史火灾的空间模式进行合理解释。蔡奇均等^[24]使用 MOD14A1 卫星产品作为基础数据绘制浙江省林火发生风险图，然而该数据产品未经过实地验证，某些火点可能是计划烧除或者森林防火演练过程中产生的非灾害性热点，由此得到的结果往往具有不确定性。因此，本研究的过火区域提取流程更加可靠，建议相关研究对火点基础数据进行验证后再开展下一步分析。

过火区域的时空分布和景观指数分析结果显示，研究区发生的火灾规模均较小，春季森林防火期内的火灾频率最高。由于春季气温逐渐升高，农事用火以及生产生活用火频繁，清明节期间村民经常上山进行明火祭祀活动，加之此时的植被较为干燥，足以发生燃烧。研究期间森林火灾的过火面积呈现先增加后减少的趋势，2011 年发生森林火灾次数最多，被烧毁面积最大；2013

年发生次数较少，但单次火灾规模最大，这可能与极端气候引起的持续性干旱天气有关。2014 年之后，火灾发生次数和过火面积明显减少，2015—2018 年期间未发生森林火灾。这与国家 13 个部委联合出台《建立国家公园体制试点方案》^[25]的时间相吻合。除了考虑气候因素影响外，该地区森林火灾数量的降低可以部分归因于国家公园试点区建立后森林保护与防火力度的提升。试点方案正式实施后一系列的保护行动影响了森林火灾在时空模式上的变化，主要体现在国家公园边界及附近区域无森林火灾发生。然而，确认这一趋势应基于对研究区森林火灾发生情况的长期监测。

我国对于自然灾害的统计通常以行政区划为单位^[26]，缺乏对于空间分布特征的定量分析，往往难以准确获取国家公园范围内的灾害发生情况。与某一城市遭受的自然灾害相比，国家公园的受灾范围相对较小，且承灾体以自然生态系统为主，适合在灾害发生后及时采用基于云平台的目视解译方法快速提取受灾面积，据此建立空间范围明确的受灾区域数据档案并预测灾害发生风险。当自然灾害对国家公园生态系统造成大范围干扰后，遥感技术能够有效监测其损失情况，然而单独使用遥感影像能够监测的内容有限^[27]，未来应结合物联网、无人机等技术手段^[28]构建针对国家公园的“天空地一体化”监测技术体系，对自然灾害造成的土壤、大气、水体等生态环境损害进行评估和预测。

针对卫星林火热点定位精度低以及自动检测方法容易产生混淆的问题，本研究提出基于 GEE 云平台的过火区域快速提取方法，并且按照灾害发生年份量化长期以来受灾区域的空间分布模式，分析火灾发展动态与国家公园建立时间的关联。实验结果表明，1999—2019 年期间，研究区共发生 19 起森林火灾，过火区域总面积约为 766.55 hm²。反映出国家公园试点区建立后，当地森林保护与防火的效能有所提升。该方法在准确提取国家公园火灾事件方面具有良好的性能，能够辅助检验卫星林火热点数据的准确性，适用于国家公园管理工作中快速获取灾情信息，建立空间明确的灾情历史数据档案，以及评估国家公园建立后的灾害管理成效。

[参 考 文 献]

- [1] Hockings M, Phillips A. How well are we doing? Some thoughts on the effectiveness of protected areas [J]. *Parks*, 1999, 9: 5-14.
- [2] 朱俊凤, 钱峻屏, 张运英, 等. 自然保护区遥感研究进

- 展[J]. *安徽农业科学*, 2010, 38(20): 10828–10831.
- [3] Vukomanovic J, Steelman T. A systematic review of relationships between mountain wildfire and ecosystem services [J]. *Landscape Ecology*, 2019, 34(5): 1179–1194.
- [4] Crowley M A, Cardille J A, White J C, et al. Generating intra-year metrics of wildfire progression using multiple open-access satellite data streams [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2019, 232: 111295.
- [5] Chuvieco E, Mouillot F, van der Werf G R, et al. Historical background and current developments for mapping burned area from satellite Earth observation [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2019, 225: 45–64.
- [6] Bastarrika A, Chuvieco E, Martín M P. Mapping burned areas from Landsat TM/ETM + data with a two-phase algorithm: Balancing omission and commission errors [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2011, 115(4): 1003–1012.
- [7] Daldegan G, de Carvalho O Jr, Guimarães R, et al. Spatial patterns of fire recurrence using remote sensing and GIS in the Brazilian savanna: serra do tombador nature reserve, Brazil [J]. *Remote Sensing*, 2014, 6(10): 9873–9894.
- [8] dos Santos J F C, Romeiro J M N, de Assis J B, et al. Potentials and limitations of remote fire monitoring in protected areas [J]. *Science of the Total Environment*, 2018, 616/617: 1347–1355.
- [9] Kato A, Thau D, Hudak A T, et al. Quantifying fire trends in boreal forests with Landsat time series and self-organized criticality [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2020, 237: 111525.
- [10] Bowman D M J S, Zhang Y, Walsh A, et al. Experimental comparison of four remote sensing techniques to map tropical savanna fire-scars using Landsat-TM imagery [J]. *International Journal of Wildland Fire*, 2003, 12(4): 341.
- [11] Herrero H, Southworth J, Bunting E. Utilizing multiple lines of evidence to determine landscape degradation within protected area landscapes: a case study of chobe National Park, Botswana from 1982 to 2011 [J]. *Remote Sensing*, 2016, 8(8): 623.
- [12] Tsai Y, Stow D, Chen H, et al. Mapping vegetation and land use types in Fanjingshan national nature reserve using google earth engine [J]. *Remote Sensing*, 2018, 10(6): 927.
- [13] 余建平, 申云逸, 宋小友, 等. 钱江源国家公园体制试点区功能分区对黑麂保护的有效性评估 [J]. *生物多样性*, 2019, 27(1): 5–12.
- [14] 米湘成. 生物多样性监测与研究是国家公园保护的基础 [J]. *生物多样性*, 2019, 27(1): 1–4.
- [15] Haklay M, Weber P. OpenStreetMap: user-generated street maps [J]. *IEEE Pervasive Computing*, 2008, 7(4): 12–18.
- [16] Satish K V, Reddy C S. Long term monitoring of forest fires in silent valley National Park, western ghats, India using remote sensing data [J]. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 2016, 44(2): 207–215.
- [17] Batista E K L, Russell-Smith J, França H, et al. An evaluation of contemporary savanna fire regimes in the *Canastra* National Park, Brazil: Outcomes of fire suppression policies [J]. *Journal of Environmental Management*, 2018, 205: 40–49.
- [18] Lutes D C, Keane R E, Caratti J F, et al. FIREMON: Fire effects monitoring and inventory system[R]. U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 2006.
- [19] Smith A C, Fahrig L, Francis C M. Landscape size affects the relative importance of habitat amount, habitat fragmentation, and matrix quality on forest birds [J]. *Ecography*, 2011, 34(1): 103–113.
- [20] Li H, Wu J G. Use and misuse of landscape indices [J]. *Landscape Ecology*, 2004, 19(4): 389–399.
- [21] Wang X L, Hamann A, Cumming S G. Measuring boreal forest fragmentation after fire: Which configuration metrics are best? [J]. *Ecological Indicators*, 2012, 13(1): 189–195.
- [22] Hayes J J, Robeson S M. Relationships between fire severity and post-fire landscape pattern following a large mixed-severity fire in the Valle Vidal, New Mexico, USA [J]. *Forest Ecology and Management*, 2011, 261(8): 1392–1400.
- [23] 李洪双. 我国林火监测体系发展现状探析 [J]. *绿色科技*, 2016(12): 188–190.
- [24] 蔡奇均, 曾爱聪, 苏漳文, 等. 基于 logistic 回归模型的浙江省林火发生驱动因子分析 [J]. *西北农林科技大学学报 (自然科学版)*, 2020, 48(2): 102–109.
- [25] 中共中央办公厅, 国务院. 建立国家公园体制总体方案[R/OL]. (2017-09-26)[2021-08-10]. http://www.gov.cn/zhengce/2017-09/26/content_5227713.htm.
- [26] 张广泉. 风险交织叠加 防范刻不容缓: 近年我国自然灾害特点及其影响分析 [J]. *中国应急管理*, 2020(7): 14–15.
- [27] Schulze K, Knights K, Coad L, et al. An assessment of threats to terrestrial protected areas [J]. *Conservation Letters*, 2018, 11(3): 1–10.
- [28] Wang Y Q, Lu Z, Sheng Y W, et al. Remote sensing applications in monitoring of protected areas [J]. *Remote Sensing*, 2020, 12(9): 1370.

(责任编辑 陆 驰)

