

# 极端天气影响下林火迹地的生态修复策略

## Ecological Restoration Strategy of Forest Fire Area Under the Influence of Extreme Climate

李奕成\* 耿华峥 沈 阳 罗锦璐 陈霆锋  
LI Yicheng\* GENG Huazheng SHEN Yang LUO Jinlu CHEN Tingfeng

(西南大学园艺园林学院, 重庆 400715)  
(School of Horticulture and Landscape Architecture, Southwest University, Chongqing, China, 400715)

文章编号: 1000-0283(2023)08-0042-06  
DOI: 10.12193/j.laing.2023.08.0042.005  
中图分类号: TU986  
文献标志码: A  
收稿日期: 2023-04-25  
修回日期: 2023-06-19

### 摘 要

随着极端天气的常态化, 森林火灾发生频率不断上升, 大火后造成的火烧迹地已成为生态修复亟需关注的目标。结合文献分析、实地调研与总结归纳等方法, 对极端天气背景下火烧迹地发生与修复的必要性进行讨论, 明确了“火灾作为生态系统破坏因子”的讨论语境。从森林生态系统、地形地势、火烧影响与灾害评估视角对林火迹地进行认知, 反映出林火迹地生态修复的复杂性, 提示需要结合地情、灾情妥善制定修复策略。最后, 以迹地异质性与可持续发展性视角为牵引, 结合2022年夏季重庆北碚缙云山山火后的迹地修复实例, 引入“灾害评估, 明确目标”“迹地平整, 创造条件”“重构林相, 优化林分”“健全机制, 后期保障”的生态修复流程。以期为极端气候下林火迹地的修复与管理策略提供参考。

### 关键词

极端天气; 森林火灾; 林火迹地; 生态修复; 重庆缙云山

### Abstract

With the normalization of extreme weather, the frequency of forest fires is increasing, and the burned land caused by fires has become the object of urgent attention for ecological restoration. Combining the methods of literature analysis, field investigation, and summary, the necessity of the occurrence and restoration of burned land under the background of extreme weather was discussed first, and the discussion context of “fire as an ecosystem damage factor” was clarified. Then, from the perspective of forest ecosystem, topography, fire impact, and disaster assessment, the cognition of forest fire land reflects the complexity of forest fire land ecological restoration, suggesting that it is necessary to properly formulate restoration strategies based on the land and disaster conditions. Finally, guided by the perspective of heterogeneity and sustainable development of the miraculous land, combined with the example of the miraculous land restoration after the Jinyun Mountain fire in the Beibei District of Chongqing in the summer of 2022, the ecological restoration process of “disaster assessment, clear goals,” “miraculous land formation, creating conditions,” “reconstruction of forest phase, optimization of forest stand,” “sound mechanism, the latter part of security” is introduced. The study is expected to provide a reference for the restoration and management strategy of forest fire land under extreme climates.

### Keywords

extreme climate; forest fires; forest fire land; ecological restoration; Chongqing Jinyun Mountain

### 李奕成

1988年生/男/湖南衡阳人/博士/副教授、硕士生导师/研究方向为风景园林规划与设计、传统人居智慧与城乡历史景观遗产

### 耿华峥

2000年生/女/山东泰安人/在读硕士研究生/研究方向为风景园林规划与设计、传统人居智慧与城乡历史景观遗产

### 沈 阳

2001年生/女/四川宜宾人/在读硕士研究生/研究方向为风景园林规划与设计、传统人居智慧与城乡历史景观遗产

\*通信作者 (Author for correspondence)  
E-mail: leeyecheng@126.com

## 1 极端天气常态化影响下林火迹地修复的研究背景

在全球气候变暖的影响下, 世界各地异常气象引发的自然灾害时有发生。其中, 尤

引人关注的是, 近年来极端高温天气影响下的森林火灾频发。如2019年中国四川凉山发生山火, 火灾扑灭后又复燃, 造成严重损失; 2019年至2020年的澳大利亚东南部山火,

### 基金项目:

重庆市高等教育教学改革研究项目一般项目“协同论视角下《中外园林史》课程‘中国部分’教学框架、方法与内容的优化更新”(编号: 223053); 重庆市城市管理科技计划项目“巴渝园林研究系列一: 巴渝园林发展脉络梳理”(编号: 城管科学2018第23号); 中央高校基本科研业务费“西汉陵邑环境适应性营建智慧研究: 基于历史信息转译平台”(编号: SWU-KT22053); 国家自然科学基金青年科学基金项目“景观考古视野下西汉陵邑的环境适应性营建智慧研究”(编号: 52108064)

造成30亿动物死亡。IPCC (International Panel Climate Change) 第六次评估报告 (AR6) 与前几次比较可知, 人类活动的加剧造成全球变暖趋势不减, 且未来极端高温天气发生频率将不断上升<sup>[1]</sup>。

极端天气常态化对地球生态造成的严峻危机, 需要风景园林行业加以关注与应对。过去, 一些国家和地区常将“火”作为生态因子的一部分, 建议对特定季节高温引发的自然山火不予干预。然而, 伴随极端气候状况的出现与常态化, 由此引发的森林火灾频率激增, “不干预”的后果无法预料。因为, 森林中除珍稀物种资源外, 常存有珍贵历史遗迹与人居聚落。频发的自然山火会对其中资源带来不可逆破坏, 聚居地的群众生命与财产均受到严重威胁。

在中国森林消防与民间力量影响下, 大部分森林山火能够在一定时间内得到有效控制, 但所形成的火烧迹地仍然对生态系统完整性与区域经济效益产生持续影响。国内对火烧迹地的关注时间较晚, 于1987年大兴安岭“5.6”特大森林火灾发生后关注度才逐渐提高。对2003年至2018年以来中国森林火灾发生情况进行统计发现, 我国影响极为严重的森林火灾发生频次少, 但森林火灾发生的总体频次较高, 属于森林火灾的高发国家。森林火灾过火面积大于3 000 hm<sup>2</sup>的地区多集中在北部大兴安岭及南部亚热带各省份, 且年发生频率高于300次的地区集中于南部各省<sup>[2]</sup>, 具有低影响、高频次的森林火灾特点, 在极端天气常态化背景的驱动下其发展形势应予以警惕。

综上, 文章将在“火灾作为生态系统的破坏因子”的语境下展开讨论, 从不同视角对林火迹地进行认知, 引介火烧迹地生态修复流程, 以期为灾后迹地的重建提供理论

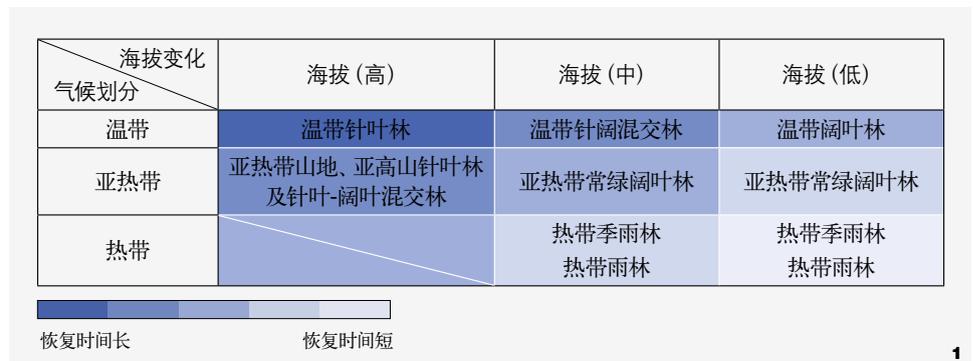


图1 中国不同森林生态系统下的林火迹地恢复时长  
Fig. 1 Restoration time of forest fires under different forest ecosystems in China

与技术支撑。

## 2 多视角下的林火迹地认知

### 2.1 森林生态系统视角下的林火迹地

中国地域广袤, 地理气候类型丰富, 而在植物生态学中, 气候被认为是控制植被地带性分布的最重要因子<sup>[3]</sup>。结合生物多样性的视角<sup>[4]</sup>, 宏观尺度下可因不同地理气候 (温带、亚热带、热带)、海拔高度变化及其所处地域范围内不同的种质资源条件来划分森林资源类型, 从而认知林火迹地。丰富的生物多样性使生态系统更加稳定, 在遭遇破坏时其具有更顽强的生态恢复能力<sup>[5-7]</sup>。高纬度的温带相较于亚热带和热带, 群落物种少, 林火发生后生态恢复时间更长。而从海拔高度来划分, 高海拔的气温条件更苛刻, 林火迹地的修复时间也会更久 (图1)。

### 2.2 地形地势视角下的林火迹地

地形地势下的林火迹地可以从坡度、坡向、坡位与坡形方面认知。其中, 坡度与坡向相对森林景观格局和生态过程的影响更为明显<sup>[8]</sup>。

坡度变化对森林生态系统的影响多表现在地表径流上。受重力影响, 降雨等原因形

成的地表水对表层土进行冲刷, 其造成不同程度水土流失的同时亦影响植物根系、种子等部位的附着效果。因此, 坡度越大的迹地, 其生态恢复难度越大。同时, 不同坡度的太阳辐射值不同, 其对森林生态系统同样产生影响。其他因素恒定时, 坡度呈现的倾斜面与太阳光线夹角越趋近于90°, 太阳辐射值越大。就乔木而言, 坡度越大, 其所获取的光照空间也越大。总的看来, 坡度对林地的生态影响不可简单以线性关系表示。

坡向的影响则更多与光照相关联。因而, 在绝大部分地区, 向阳面的喜阳物种群落生长状况要优于喜阴物种群落, 反之亦然。另一方面, 极端高温的天气条件下, 向阳面承受光照辐射要高于向阴面, 因而有更高的概率成为林火的起火点<sup>[9]</sup>。

### 2.3 火烧影响视角下的林火迹地

森林火灾的起因多样, 一般的林火在产生火源后, 均会经历火灾扩散、火灾熄灭等过程, 综合以上过程产生的生态异质性斑块则为林火迹地。火烧虽然是林火迹地形成的最直接原因, 但其间接影响下造成的地表裸露而使水土保持能力降低也不可忽视。

林火燃烧为火烧迹地产生的最直接原因

因。火烧迹地的灾害程度则是影响森林生态系统修复的重要因素。一般而言, 根据火烧迹地内烧死木占有量的不同可以将其分为轻度地带、中度地带和重度地带。不同程度的火烧干扰, 使得迹地内生态系统的退化程度和植物恢复更新能力有所不同(表1)。

火烧间接影响的林火迹地成因复杂多样, 而占比最大的便是火灾扑救时人为造成的植被破坏。尤其面对大面积的山火险情, 通过各种灭火介质对火源的直接扑灭不仅效率低下, 并且还具有一定的风险。因此, 常采取人为开采隔离带来控制火势蔓延, 从而熄灭林火。这类林火迹地虽未经火烧而保留了土壤的原生肥力, 但因地表裸露, 原生植被未能覆盖, 其水土保持能力大幅降低, 同时还面临土壤侵蚀等问题。

## 2.4 灾害评估视角下的林火迹地

### 2.4.1 原生灾害

原生灾害是林火迹地中最直观且最容易被评估的。山火对森林生态系统最直接的破坏就是导致其生物多样性的急剧下降。从短时间来看, 火烧会直接影响生物多样性, 使得迹地内的生物种类与数量降低。从长时段看, 火干扰对森林植被生态系统产生显著的影响:

(1) 影响物种生活史特征。因火干扰的

强度、频度与季节性, 植物形成了能在此环境中度过完整生命周期的适应特征, 包括抗火性、恢复性及定居能力等。其中抗火性包括树皮增厚、自然稀疏和叶抗火等, 不同物种具有差异性, 高强度的火干扰可减少其差异; 恢复性指生成根蘖、地下茎等; 迹地定居可促进花期提前、热诱导发芽等<sup>[11]</sup>。

(2) 影响种群过程。促进植物种子脱落与散布、种子贮藏与发芽、幼苗发生及营养繁殖<sup>[12]</sup>, 还可控制种群年龄结构。

(3) 影响群落演替。自然火干扰可控制植物群落的组成与外貌<sup>[13]</sup>、启动和终止演替, 影响植物群落的演替方向。如北方针叶林火灾频繁, 林冠上层不存在传统演替, 而林下地表层演替序列明显<sup>[14]</sup>。

(4) 影响景观结构。在许多地区, 森林自然火干扰是控制森林景观尺度上植被的物种组成与结构的重要因子<sup>[15]</sup>。中度干扰假说认为, 高烈度或过低烈度的干扰容易促进景观的同质性, 而适度干扰才利于形成景观异质性, 形成特定的斑块。

### 2.4.2 次生干扰

从次生干扰角度看, 火烧后迹地内生态系统变化具有明显滞后性。即随着时间推移, 生物多样性未及时恢复, 生态系统抗干扰能力低下, 若此时遭受侵害, 会对整个迹地造

成新的伤害:

(1) 雨水冲刷导致土壤侵蚀。由于地表植被和枯枝落叶层缺失, 迹地内植物根系无法截水固土, 雨水对地面的强力冲击使土壤中的营养元素流失而致土壤贫瘠, 因此更不利于生态修复。而在强降雨影响下, 还可能引发更为严重的山火泥石流。有研究表明, 在相同坡度下, 火烧和未火烧的土壤侵蚀可相差36倍<sup>[16]</sup>。林火烧毁坡顶植被的情况下, 灾后泥石流的发生率显著提升<sup>[17]</sup>。如1997年川藏公路巴塘段的竹巴笼沟旱季受林火影响, 森林植被被毁后雨季后发生两次灾害性泥石流<sup>[18]</sup>; 2016年四川九龙县色脚组森林火灾后, 在强降雨激发下爆发多次泥石流<sup>[19]</sup>。

(2) 高温干旱引发复燃。由于迹地内枯枝败叶尚未分解, 在高温条件下便成为助燃物料, 增加火灾发生的频率, 从而进一步影响森林生态系统的稳定性。由此造成系统内的生物多样性依旧无法得到保证, 形成恶性循环。

(3) 人为管理破坏固有结构与特征。火干扰作为影响群落演替的常见因子, 使森林植被形成了火适应特征。而人为的控制, 在某种程度上反而会积累易燃物, 可能导致非自然高烈度的火灾发生<sup>[20]</sup>。即使控制, 计划火干扰, 森林固有的火频、火强适应特征随之改变, 植物的群落结构、物种组成与演替方向亦产生变化, 从而导致依赖特定植被环

表1 不同火灾干扰程度下的林火迹地情况介绍  
Tab. 1 Introduction of forest fire areas under different fire disturbance degree

火灾干扰程度 Fire disturbance degree	判断标准 Judgment criteria	迹地情况 Forest fire areas situation	生态恢复情况 Ecological restoration situation
轻度地带	烧死木占蓄积30%以下	林冠存活, 土壤有机质基本未受干扰, 中小径木和幼树大半活着, 林下地被层, 主要是草本层有所改变	生态恢复能力强, 可进行自我修复
中度地带	烧死木占蓄积31%~60%	冠层大部分被破坏, 地表层中会有少量种子存活, 草本层基本被烧尽	生态恢复能力一般, 自我修复时间较长
重度地带	烧死木占蓄积60%以上	乔木、灌木和草本大部分死亡, 土壤有机质几乎全部被烧掉	生态恢复能力差, 自我修复困难

注: 表格内容参考罗莉春《大兴安岭森林火灾对森林生态系统的影响》<sup>[10]</sup>。



图2 重庆北碚缙云山山火分布图  
Fig. 2 Fire distribution map of Jinyun Mountain, Beibei District, Chongqing

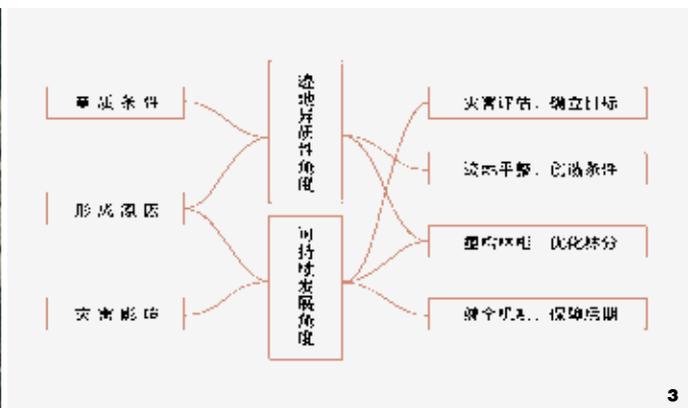


图3 迹地异质性与可持续发展视角下的林火迹地修复流程  
Fig. 3 The restoration process of forest fire sites under the view of site heterogeneity and sustainable development



图4 缙云山山火后的林木状况  
Fig. 4 Forest status after mountain fire in Jinyun Mountain

境的动物微生物因生境变化而减少甚至消失。

### 3 林火迹地生态修复原则与策略引介

#### 3.1 修复原则

2022年夏季, 重庆北碚在高温与干旱影响下缙云山余脉虎头山首现山火, 后借风势一路向北蔓延。最终, 于缙云山国家级自然保护区西南侧被成功阻隔。山火历时5天, 总体过火面积约1 400 hm<sup>2</sup> (图2), 迹地内受灾程度不一, 情况复杂, 对原有的生物多样性造成了巨大破坏。

前文对多视角下火烧迹地的认知提示到, 可从迹地异质性与可持续发展角度来进行迹地生态修复流程的建构。缙云山整体过火面积大, 火灾情况不一, 原有林木生态系

统条件也不同, 从迹地异质性角度出发, 可以充分因地制宜恢复生态, 更快恢复到原有生态系统水平。基于极端气候常态化影响, 此次山火也引发了对未来可能频发的高温干旱气候适应性的思考, 从可持续发展角度出发, 应尽可能节省公共资源, 维持缙云山森林生态的稳定。综上, 形成林火迹地修复流程 (图3)。

#### 3.2 修复策略

##### 3.2.1 灾害评估, 明确目标

对火烧迹地内受灾状况进行评估是生态修复的前提。林火过后需第一时间对火烧迹地进行勘察, 防止火灾复燃, 同时也对迹地的受灾情况进行评估, 明确灾后的生态系统

受损及经济损失状况, 以便提出具体的修复策略。此次缙云山过火面积内的受灾程度不一, 部分区域仍保留大片立木, 应考虑自然修复为主; 部分烧毁严重区域与因人工砍伐而形成的隔离带仅留存少量枯立木, 应考虑人工补种与自然恢复相结合的方式 (图4)。

同时, 迹地的修复还需关注人文因素与社会精神需求。缙云山山火引发百姓的广泛关注, 山火扑救时集结社会各方力量, 缙云山山火扑救已然成为众志成城、军民一心的凝聚力的象征。因而, 迹地的修复除了恢复其生物多样性, 应适当融入景观建设以强化纪念性。此次缙云山山火发生时, 为实现山火的快速覆灭采取“以火攻火”方式, 人为开辟了阻隔山火的隔离带 (图5), 对此隔离



图5 缙云山山火主隔离带现状  
Fig. 5 Status of fire main isolation zone in Jinyun Mountain



图6 缙云山山火主隔离带修复意向  
Fig. 6 Jinyun Mountain fire main isolation belt repair intention

带的修复策略除采取人工造林修复生态外,还可布设生态步道便于公众游览纪念(图6)。

### 3.2.2 迹地平整, 创造条件

迹地平整是保证生态修复顺利进行的准备工作。其目的在于:(1) 尽可能减少灾后残留物引发次生灾害;(2) 为灾后生态的快速恢复创造条件;(3) 补充工程手段应对频发的山火。

火烧迹地内仍会有枯枝落叶等残留物,其不仅阻碍次生演替的发生,还会滋生病虫害等次生灾害,甚至会引发林火复燃。因此,需要进行抚育间伐以保留迹地中生存条件较好的活立木,从而能够体现原有森林生态系统的原真性。同时,还应保留天然更新的幼苗幼树,其能在短时间内迅速生长,说明它们能够作为先锋种较快地带动整个地区的生态修复。当然,灾后生态系统过于脆弱,清理病弱立木,防止滋生疫病虫害的同时,也避免可燃物助燃二次山火而造成损失。

缙云山地地形复杂多变,尤其需要注意山地陡坡地区的土壤稳固性,防止其受雨水冲刷造成土壤侵蚀而不利于植被修复<sup>[21]</sup>。火灾

过后雨水冲刷造成土壤肥力的缺失是需首要考虑的问题。缙云山林火迹地火灾干扰严重的地带表面存在火后草木灰,顶层植被无遮挡,而重庆常年频繁被雨水侵扰,易发生水土流失,必要时需进行人工肥力恢复。一方面应实施土壤恢复技术,同时可采取菌根菌剂技术。土壤恢复技术主要包括迁移凋落物、土壤养分添加、颗粒物基质添加、种皮包衣等方式。主要是通过改变土壤的营养成分和理化性质,来保障后期物种的顺利生长。菌根菌剂技术则是在土壤微生物层面进行人工恢复,防止火灾导致微生物的缺失,从而影响生物的正常生长。对于坡度较陡的裸露迹地,则应优先对表层土壤进行加固,补植林木,警惕暴雨带来的泥石流灾害。

配合迹地的生态修复过程,还需补充相应的工程手段,防止山火再次侵扰。此次缙云山山火主隔离带便是考虑抵挡山火向缙云山国家级自然保护区蔓延而开辟的,其可作为重要防护地段补充相应的人工设施以加固。目前,主隔离带规划为具有纪念意义的生态步道,而在步道之下还可进行管道的预埋,如再次发生山火时便可快速抽调水源阻隔山

火,从而严防山火对自然保护区核心区的侵扰。

### 3.2.3 重构林相, 优化林分

火烧迹地认知角度的复杂多样意味着其具体的植被修复策略还需要在地建构,但整体来看可分为自然演替与人工干预两种方式。自然演替的方法能够更大程度地保证生态系统向着自然选择的方向进行,但也存在更新速度慢且易受外来种入侵等缺点。而人工干预会较少引发潜在危害,但却难以保证其原真性恢复。因此,可以结合自然与人工手段来综合制定修复策略,即根据迹地的火灾干扰程度不同,明确人工参与程度。而人工参与重要环节之一就是林地物种的选择性构建与优化。

由于在自然演替状态下,植被恢复需要较长时间。因此,对于火灾干扰严重地区,可以通过人工干预加速其恢复,引入先锋树种则是有效手段之一。林火发生的短期内提高了土壤的养分,实际上有利于先锋树种的生长。而先锋树种能够改善火灾影响下的生态环境,为后续森林生态系统的复原奠定基础。尽管火烧迹地内的植被自然演替过程中会产生先锋种,但随着森林生态系统的恢复,火烧迹地内的土壤条件和光照条件会发生改变,从而导致自然状态下产生的先锋种会逐渐失去生长优势,转而被其他优势种抢占生长条件,由此大大降低了林木类型和森林质量。综上所述,人工种植先锋树种可以有效保证森林生态系统的植被恢复。但仍应注意到,森林生态系统植被修复以“顶级群落”为最终目标,在综合考虑避免迹地受到次生灾害干扰情况下选取先锋树种,以促进森林群落演替进程。因而,在缙云山林火迹地的生态修复中先锋树种可以考虑大头茶(*Polyspora avillaris*)、马尾松(*Pinus massoniana*)等种群。

林相林分的优化不仅要考虑加速森林生态系统的恢复,也要考虑极端天气常态化下林火的再次发生。防火林带能有效地防止森林火灾蔓延,降低森林火灾的侵扰影响。可以通过分析树木不同部位的燃烧效果,预估火灾发生时的可能情况,进而提出相应对策来预防火势的蔓延。林木叶片大小与形态也影响火势,研究指出针叶树的助燃效果要强于阔叶树,故防火林带的设置应尽可能选择阔叶树种。适应西南地区山地环境气候的观光木 (*Michelia odora*)、桂南木莲 (*Manglietia conifera*)、红锥 (*Castanopsis hystrix*)、山茶 (*Camellia japonica*)、杨梅 (*Morella rubra*)、醉香含笑 (*Michelia macclurei*)、杉木 (*Cunninghamia lanceolata*) 等树种在防火性能方面具有较好的表现,缙云山林火迹地的修复中可以考虑这些树种<sup>[22]</sup>。

### 3.2.4 健全机制,后期保障

森林生态系统的稳定恢复,还应该重视建构完善的监督与保障机制,确保修复过程的持续有效。

(1) 应在缙云山林地内建立森林消防站点,通过地面巡林机制、卫星遥感影像识别技术、智慧化火灾监控系统相结合,形成覆盖缙云山自然保护区及周边林木的林火监控网络,以便第一时间发现火情并及时控制。预防灾害的同时,要及时记录林火迹地内苗木生长状况,及时抚育并补植,抽样审查苗木品质,谨防入侵种,严防疫病虫害。

(2) 定期进行迹地内森林生态系统恢复效益的评估。缙云山过火区域内主要为次生针阔混交林,处于次生针叶林向阔叶林演替的过渡阶段。此次山火干扰了演替进程,需及时监控生态系统的恢复状况,促进演替的完成。故需进行森林生态系统服务功能的评估,记录系统演变情况,跟踪系统恢复效

率,必要时借助人工手段及时补救与引导。

(3) 应建立健全责任机制,明确各层级职能,共同承担缙云山火烧迹地生态修复的责任。目前,保护区主要受重庆市林业局下辖的缙云山国家级自然保护区管理局管辖,但此次山火所涉及的范围广阔,除林业部门外,各级单位与民间组织共同协作与参与才能保证片区内山火的扑灭。未来的山火防范与迹地生态修复更需要整体协同,建立长效机制以共同保障监管措施的落实与优化更新。

## 4 结论与展望

极端天气常态化影响下的林火迹地生态修复已成为重要课题。一方面,需尽早建立风险防范意识,避免林火迹地的产生。同时,学界还需要为林火迹地的生态修复提供持续、有效并适应未来气候的策略。本文通过从森林生态系统、地形地势、火烧影响与灾害评估视角对林火迹地进行了认知,反映出林火迹地生态修复具有复杂性,需要结合地情、灾情妥善制定修复策略。以迹地异质性与可持续发展性视角为牵引,结合2022年夏季重庆北碚缙云山山火后的迹地修复实例,介绍了生态修复流程并解析其策略,以期对火烧迹地的生态修复提供一定的方法参考。

注:文中图6引自<https://www.beibeinews.com/xwpd/bbdt>,其余图表均由作者自绘/摄。

## 参考文献

- [1] 周波涛,钱进. IPCC AR6报告解读:极端天气气候事件变化[J]. 气候变化研究进展, 2021, 17(06): 713-718.
- [2] 曾雪艳,杨金明,李士美. 2003-2018年中国森林火灾时空分布格局研究[J]. 林业调查规划, 2021, 46(02): 53-58.

- [3] 王叶,延晓冬. 全球气候变化对中国森林生态系统的影响[J]. 大气科学, 2006(05): 1009-1018.
- [4] 李南岍,陈建伟. 对中国森林区划的新探讨[J]. 林业资源管理, 2011(04): 1-5.
- [5] 熊利民,钟章成. 四川缙云山森林群落的同期发生演替及其模型预测[J]. 生态学报, 1991(01): 49-53.
- [6] 罗涛,何平,张志勇,等. 渝西地区火烧迹地不同植被恢复方式下的物种多样性动态[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2007, 150(06): 118-123.
- [7] 郑焕能,贾松青,胡海清. 大兴安岭林区的林火与森林恢复[J]. 东北林业大学学报, 1986(04): 1-7.
- [8] 郭砾,夏北成,刘蔚秋. 地形因子对森林景观格局多尺度效应分析[J]. 生态学杂志, 2006(08): 900-904.
- [9] 孔繁花,李秀珍,尹海伟,等. 地形对大兴安岭北坡林火迹地森林景观格局影响的梯度分析[J]. 生态学报, 2004(09): 1863-1870.
- [10] 罗菊春. 大兴安岭森林火灾对森林生态系统的影响[J]. 北京林业大学学报, 2002(Z1): 105-111.
- [11] SPURR S H, et al. Barnes Forest Ecology[M]. New York: John Wiley & Sons, Inc, 1980.
- [12] HEINSLERMAN M L. Fire and Succession in the Conifer Forests of Northern North America. In: (West et al. eds), Forest Succession Concepts and Application[M]. New York: Springer-Verlag, 1981.
- [13] BEAUFIT W R. Some Effects of High Temperatures on the Comes and Seeds of Jack Pine[J]. Forest Science, 1960(3): 194-199.
- [14] 邱扬. 森林植被的自然火干扰[J]. 生态学杂志, 1998(01): 55-61.
- [15] GEIME E C. Fire and Other Factor Controlling the Big Woods Vegetation of Minnesota in the Midnineteenth Century[J]. Ecol. Mongr, 1984, 54: 291-311.
- [16] 项凤武. 大兴安岭北部林火对森林土壤的性质及林木更新的影响[J]. 吉林林学院学报, 1990(01): 1-20.
- [17] CHUVIECO E, CONGALTON R G. Application of Remote Sensing and Geographic Information Systems to Forest Fire Hazard Mapping[J]. Remote Sensing of Environment, 1989, 29(2): 147-159.
- [18] 李树德,岳升阳,徐海鹏. 森林植被与泥石流活动[J]. 水土保持研究, 2001(02): 30-31.
- [19] 任云,胡邗文,王严,等. 四川省九龙县色脚沟火后泥石流成灾机理[J]. 水文地质工程地质, 2018, 45(06): 150-156.
- [20] OLIVER C D, LARSON B C. Forest Stand Dynamics[M]. New York: McGraw-Hill, Inc, 1990.
- [21] 孟勤. 大兴安岭火烧迹地植被—土壤协同恢复机制[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2020.
- [22] 田晓瑞,舒立福,贺庆棠. 中国西南地区防火树种的选择研究[J]. 中国林学(英文版), 2001(02): 32-38.