

欧美国家林火研究现状与展望

肖化顺¹, 刘小永², 曾思齐¹

(1. 中南林业科技大学 林学院, 湖南 长沙 410004; 2. 新干县林业局, 江西 新干 331300)

摘要: 林火是国际减灾战略的一项重要工作,也是生物多样性、全球气候变化和全球可持续发展的重要组成部分。森林火灾是对森林健康影响最大的自然因素之一。阐述了 21 世纪林业发达国家美国、加拿大、欧洲等国的林火研究方向与研究成果,以及林火与全球气候变化的研究,探讨了世界林火研究的发展趋势,提出了新时期我国林火研究的发展方向。

关键词: 林火; 欧美国家; 全球气候变化

中图分类号: S762 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-7461(2012)02-0131-06

Status and Prospect of Forest Fire Research in Europe and the United States

XIAO Hua-shun¹, LIU Xiao-yong², ZENG Si-qi¹

(1. College of Forest, Central South University of Forestry and Technology, Changsha, Hunan 410004, China;

2. Xingan Forestry Bureau, Xingan, Jiangxi 331300, China)

Abstract: Fire prevention is not only an important work of the International Strategy for Disaster Reduction, but also the important constituent part of biodiversity, global change and sustainable development. Forest fire is one of the greatest impact natural factors on forest health. Trends and results of forest fire researches in Europe and North America were reviewed. Relationship between forest fire and global climate changing as well as trends of forest fire researches were discussed. Developmental directions of forest fire research in China were put forward.

Key words: forest fire; Europe and the United States; global climate change

世界发达国家对林火管理已经实现了科学化、规范化、标准化、专业化。美国、加拿大和一些西欧国家十分重视林火研究工作,并设立了具有国际影响的森林火灾研究机构。根据发展中国家社会、经济和环境条件迅速变化的特点以及未来区域与全球气候变化,可以预料未来林火动态有显著增加的趋势^[1]。阐述了美国、加拿大、欧洲国家的林火研究重要成果以及林火与全球气候变化的研究,探讨了世界林火研究的发展趋势,为探索具有中国特色的林火研究体系提供借鉴。

1 美国林火研究

1.1 国家火灾计划的研究

2000 年以来,森林火灾频繁发生,美国 50 个州

都开展了火灾计划,美国农业部林务局(United States Department of Agriculture Forest Service)与相关大学和其他研究所建立合作伙伴关系,研究林火决策分析工具,通过网络、乡村旅游、宣传等渠道发布新信息与新技术。2001—2005 年,美国国家火灾计划(National Fire Plan)研发成果及应用,主要解决 4 方面的问题^[2]。

1.1.1 林火扑救能力建设(fire-fighting capacity)

提供改进的林火天气模型、烟雾模型和其他手段。主要研究成果是:林火、烟雾、空气的相互关系研究;典型可燃物类型林火行为模型的林火行为预测;林火的实时遥测;利用地理空间辅助决策工具,研究林火及可燃物管理的有效策略等。

1.1.2 火灾灾后恢复与重建 提供快速应急信息

收稿日期:2011-01-14 修回日期:2011-06-08

基金项目:林业公益性行业科研专项(201004032);中南林业科技大学人才引进项目(104-0141)。

作者简介:肖化顺,男,副教授,博士,主要从事森林可持续经营教学与科研。E-mail: hsxiao@126.com

与模型,有助于火灾后的景观恢复和社区保护,主要研究范畴是灾区乡土树种的选择与供给;可燃物动态管理;灾后恢复效果评价。

1.1.3 降低可燃物载量 减少危险性可燃物以降低火灾危险程度,改进灾后损失和经济补偿界定分析工具。主要成果有:通过森林收获与间伐利用等措施降低可燃物载量;火生态的恢复;绘制可燃物与火险等级图;林火的生态经济补偿;城乡结合部的可燃物管理。

1.1.4 社区支助 开展社区合作,了解社区特性与需求,研究开展社区教育的材料与方法,同时推荐社区可接受的防火办法。主要研究成果:研究城乡结合部的面积、分布及变化趋势;增进森林景观演潜;

满足所有者需要;促进林火安全;建立国家林火数据库及区域减灾计划。

1.2 火灾风险与减灾效益评估

禁火导致管理上的严重挑战,特别是城乡结合部,火管理者千方百计减少可燃物与火灾风险,同时恢复自然火生态系统,正在研究中的 GIS 模型(图 1),可以进行火灾风险与效益评估,主要包括 3 个变量:火灾发生概率;火灾严重程度;区域生态、社会、经济价值。并绘制火灾风险与效益图,为可燃物管理提供关键信息,管理者利用 GIS 模型模拟景观尺度上的可燃物管理方式并评价其风险与效益,该模型是满足城乡结合部效益最大化及风险最小化最有力的工具^[3]。

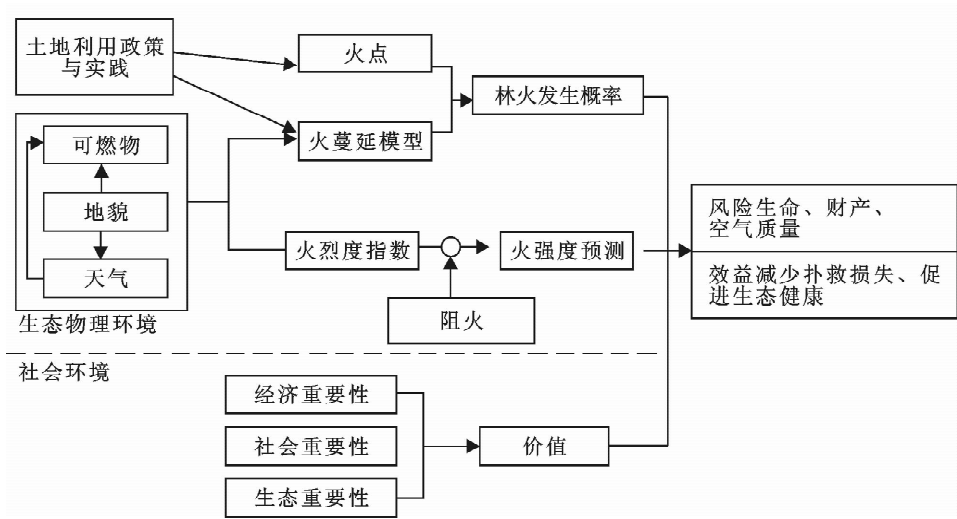


图 1 火灾风险与效益评估概念模型

Fig. 1 Conceptual framework for evaluating fire risks and benefits

定量描述火灾等级的方法分为 2 种,一种是参照研究区天气、地形、可燃物信息,利用火点、火强度、火蔓延数学模型进行火灾风险分类,采用一系列可燃物模型来描述可燃物特征,把 20 个可燃物模型整合形成 13 个可燃物模型,在使用森林火险等级系统时根据可燃物状况选用不同的可燃物模型^[4]。另一种是基于生物、非生物及人工变量的林火经验模型进行火灾风险分类^[5]。

经济分析需要定量评价历史火灾区域等级分布,这些评价基础是近几十年来观测的火灾频率与规模,或者根据林火行为模型,同时需要定量评价不同类型的森林防火措施及防火预案的费用与效益,把火灾风险信息及防火预案引入经济分析模型,就可以确定防火预案的类型^[6-7]。

1.3 天然火与可燃物管理

美国天然火与可燃物管理处于两难境地,其原因有二:一是要适度平衡自然环境与最小化人工干扰的关系,二是要综合考虑林区的生态与社会价值,

很多保护区因长期排除火干扰,人工植被与可燃物大量积累,从而导致史无前例的森林大火发生^[8-9]。

许多风险因素超出了林火管理者调控范畴,比如林区周边居民地的增加,极度干旱,烟雾扩散以及天然火环境。再加上许多林火管理决策的负面因素,就提倡减少因森林消防而产生的后续影响,比如减少可燃物,维持植被组成与结构的多样性,施肥,保护野生动物的栖息地^[10]。C. Miller^[11]等试图建立林火风险与效益评估模型,以供管理者以最小的火灾风险获取最大的效益。2000 年,C. Miller 和 D. L. Urban^[12]利用计划烧除试验和森林收获试验改变百年实施森林防火的森林狼洲(Sierra Nevada)的针叶混交林的组成与结构,得到新的林火风险与效益评估模型,认为不管运用哪种经营策略,森林结构特征及其社会价值应做重点考虑。然而不同的研究区域、不同的研究尺度,大众目的与社会价值是不同的,因而,林火与可燃物的管理需要进一步了解社会价值的多样性。

1.4 区域火灾监测与扑救

美国农业部火灾科学实验室把空间技术与生态学原理结合起来,通过 GIS 将 7 种不同性质的数据进行分层描述,使遥感监测所得的数据资料和生物物理学性质与干扰和演替过程相结合,利用空间数据资料来支持资源管理^[13]。

1998 年,美国林务局开始了“联合火灾科学计划”,其目的是为评估可燃物提供依据,其中遥感监测和 GIS 技术是关键内容,利用它们来评估火险、监测火灾变化、减少火灾对周围环境危害^[14]。

2000 年,美国林务局利用 ArcViewGIS 分析西部黑山火灾,快速绘制了火场图、查找和真实显示火灾事件发生地点、收集火灾相关重要数据,并与 GPS、实时定位和追踪仪器装备结合,在 GIS 平台上模拟火蔓延和火场边界位置^[15]。

野火空中传感项目(WASP)结合红外线照相机、高分辨率可见光数码照相机和 GPS 定位系统,配以特别软件控制照相机和收集整合数据。美国劳伦斯·利弗莫尔和洛斯阿拉莫斯国家实验室建造了被认为是目前最为复杂的野火变化计算机模型。消防队员据此测定大火燃烧速度和行进方向,提出最佳灭火方案^[16]。

美国森林火灾预测系统,即森林温度探测和准确测位系统,当飞机在林区作低空慢速巡逻时,便把探测、拍摄和记录下的各种信息数据及时传输到地面接收站,通过导航系统准确测试出温度高处的具体位置,后派飞机喷水降温^[17]。

2 加拿大林火研究

2.1 火灾智能战略

加拿大针叶林地区集成林火与森林经营的“火灾智能战略”,其目的有二:(1)制定集成火灾与森林经营方案;(2)建立森林可持续经营决策支持系统^[18]。主要根据可燃物、天气、地貌和森林防火水平,研究燃烧概率模型,预测林火发生的时间与地点,由于林火发生、控制、蔓延是一个随机或离散过程,进行可燃物管理的时空优化,为此,制定了搜索分等规划方案(heuristic hierarchical planning system)以生成空间相对优化的集成林火管理与森林收获战略(图 2)。

2.2 林火管理系统

加拿大魁北克计算机林火管理系统被国际上公认为居森林防火新技术发展的前沿,其功能模块包括林火预测程序集、气象程序集、资源档案程序集和林火行为程序集^[19]。

加拿大林务局开发的空火管理系统是林火管理信息系统的一种,主要用于提供决策支持^[20]。

加拿大新型林火管理专家系统综合了地理信息、模糊理论和人类有关火灾成因的知识,建立了全国统一的火险预报系统,并建立了计算机网络信息系统,可发布长、中、短期火险预报,对雷击火已研制成自动定位测报雷击的装置,林火的预测预报向更准确的方向发展^[21]。

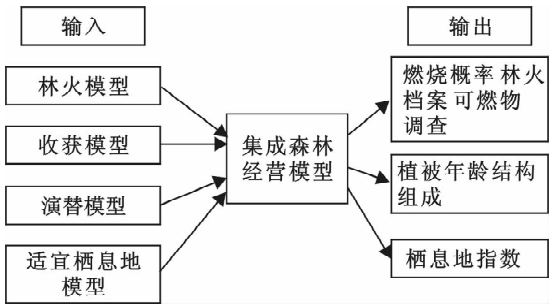


图 2 集成森林经营模型示意图
Fig. 2 Schematic representation of integrated forest management model

2.3 森林火险等级系统

1987 年,加拿大建立起了森林火险等级系统和地理信息与模拟系统,用以实时模拟火场状况来帮助林火管理人员制定出最佳灭火方案。GIS 是对植被、斜坡、地形特征等进行分析的主要工具^[22]。森林火险等级系统包括林火行为预报系统提供全国林火行为预报,林火天气指标系统;而加拿大林火发生预报系统和可燃物湿度估测系统依林火发生的时空变化,而不断更新完善^[23]。

3 欧洲国家林火研究

3.1 欧洲林火信息系统

1999 年,联合研究中心开始建立欧洲林火空间信息存储系统,研究区域包括整个欧洲(pan-European region),重点为灾前和灾后的林火管理,出现了林火空间信息集成化-欧洲林火信息系统(The European Forest Fire Information System, EFFIS)^[24]。

从 2000 年开始的短期和长期火灾风险评估中,建立了欧洲森林火灾风险预报系统(European Forest Fire Risk Forecasting System (EFFRFS)),系统变量有火灾发生概率、可能造成的损失、火灾风险性天气、火灾风险性植被指数、潜在火灾指标等。EFFRFS 能持续计算与发布地中海所有国家的森林风险信息,进行 1~3 d 的火灾风险预报及提供服务,经过 2000 年 1 a 的救灾验证,成果丰硕,2001 年开始向整个欧洲地区推广。

2000 年出现欧洲尺度的森林火险评估机制。建立了欧洲林火损失评估系统(The European Forest Fire Damage Assessment System, EFFDAS), 主要信息源是: 中、高空间分辨率的遥感影像, 如 EOS-MODIS 或 ENVISAT-MERIS 影像。评估方法有二, 其一、燃烧指数(burnt index) 来界定其燃烧边界。其二、非参数串算法图像处理, 利用卫星影像确定其受灾边界后, 评估森林火灾损失。

以上 2 个系统是 EFFIS 的一部分, EFFIS 集成了欧洲各国森林火灾的地面信息, 系统经授权可从 Internet 登录。欧洲协会组织比如 DG、ENV 和 DG JRC 与相关成员国合作, 统一方法与技术, 评估欧洲的森林火险与林火灾害损失成为可能。当前的 EF-FIS 是欧洲先进的森林火灾信息系统, 使建立先进的有关欧洲森林火灾数据库成为可能。

3.2 林火监测与预警

法国的森林火灾远距离监测系统, 在雾天能够测出 2 km 以外一张燃烧的报纸和 8 km 以外的 10 m² 火区; 也可准确有效地测出热气体和易燃气体。同时通过遥控摄像机准确测出火源并判断火势, 把精确的方位自动送到消防控制台, 把搜集到的信息加以对比, 以便尽早地发现林火^[25]。

芬兰的卫星林火全自动监测系统, 监测到的最小火灾发生面积 0.1 hm², 欧洲国家的一些林火报警中心使用 GIS 技术将信息数字化, 运用 GIS 建立分布模型, 通过 GIS 提供的地图信息。利用 GPS 定位, 由 GPS 的闪电传感器标记出观测到的闪电所发生的精确时间, 以此监测雷击火^[26]。

波兰政府采取 GIS、RS 等预防火灾、清查火灾造成的损害、损失评估、监测森林的重建状况, 监测最小火灾发生面积 0.01 hm², 和比利时 Gent 大学合作建立森林档案图、土地利用图、地形图等, 把这些信息和由航空、卫星图像及地形数字高程模型所得到的各层信息添加到林火数据库(FFD)中, 将得到包含林分管理、附加信息、特性矫正和环境变化监测的结果^[27]。

欧洲森林火灾自动预警系统(FIRE-WATCH)是一种陆地数字化远距离观察系统, 这种森林火灾自动预警系统大约有 15 架摄像机, 由 3~4 人操作, 是当前欧洲较新技术^[28]。

4 林火与全球气候变化研究

林火在全球气候变化和环境中起着重要作用, 林火与全球变化成为近年来林火研究领域的热点问题。

4.1 森林火灾对大气成分的影响机理研究

森林火灾与气象条件的关系研究, 特别是气象

与烟雾模型(Advanced Modeling of Meteorology and Smoke)研究, 主要包括研究邻近地面的风级与风向对林火蔓延引起的关键性作用。低水平面的风切可以导致剧烈的林火行为, 而垂直风切影响烟雾扩散高度。同时, 模拟有关历史重大火灾的天气状况, 形成新的林火天气指标。

4.2 森林火灾对大气碳平衡影响研究

森林是大气 CO₂ 重要的碳汇。《联合国气候变化框架公约》将碳汇定义为从大气中清除 CO₂ 的过程、活动或机制; 林业碳汇是指森林吸收、汇聚和储存 CO₂ 的能力和过程, 这是《京都议定书》确定的 2 类减排措施之一。森林每生长出 1 m³ 木材, 约吸收 CO₂ 1.83 t, 释放 O₂ 1.62 t, 在陆地植被年净吸收 CO₂ 中, 森林约占 80%。

4.3 林业碳汇研究

《气候变化框架公约》及《京都议定书》进程的大背景下, 未来全球林业政策的制定将以实现森林碳汇产权化, 林业生态功能有形化, 林业生态服务有偿化为目标。美国、加拿大、俄罗斯和德国等的一些研究人员对北方林的碳释放问题进行了深入探讨, 通过室内模拟试验和野外大气化学观测试验, 研究加拿大、俄罗斯的北方林因火灾而直接排放的碳量和间接释放的碳量。

5 林火研究展望

5.1 3S 及其集成技术的应用

以 3S 技术为核心, 以数字林业为依托, 结合林火预报和监测系统应用, 建立自动化、智能化和网络化的数字林火管理系统, 是世界各国消防工作发展的目标和方向^[29]。

5.2 林火预测预报

林火预测预报是综合气象要素、地形、可燃物的干湿程度、可燃物类型和火源等, 分析预测森林可燃物燃烧危险性, 天气预报的准确性直接影响林火预报的准确性。林火预测预报从 20 世纪 20 年代迄今, 在世界各国发展很快^[30]。

5.3 林火管理政策研究

火灾预防和控制首先应考虑到人的因素。森林保护政策是社会政策的重要组成部分, 现代林业日益重视公众防火教育, 立法是重视森林消防工作的形式之一。国际合作可以为实施新的协调政策做出重要贡献。

5.4 火灾灾后研究

森林火灾会在一定程度上消耗森林资源, 影响立木、植被、森林动植物、土壤和微生物的生长, 影响

到当地居民的生命和财产安全。火灾也对生态系统产生不利影响,甚至破坏生态平衡,导致森林群落的退化。森林火灾还会造成空气污染。对于火灾的评估,要从经济损失和生态影响等各方面考虑,客观地进行森林火灾损失评估与灾害等级划分^[31]。

5.5 研究合作

长期以来,美国和加拿大林火研究人员实行资料共享,学术交流,促进了双方林火研究的发展。同时,美国还和其他国家,如西班牙、葡萄牙、澳大利亚、德国、中国、日本、南非、墨西哥和法国等进行长期合作。这有助于对火行为、火作用、植被动态、火管理策略、社会经济因素对火应用和消防的影响、火与全球变化的相互作用等问题的理解^[32]。未来的合作研究主要有:空气质量管理 and 更好地了解燃烧产物对区域与全球的影响;评估林火管理策略对环境 and 效益的影响;大尺度上,监测和模拟植被可燃物管理措施的影响;可燃物制图与监测方法和可燃物发展与演替模型;火和其他干扰因子的相互作用^[33]。

5.6 航空护林

森林火灾预防的同时,提高灭火能力成为各国森林防火机构面临的重要课题。20 世纪初至 40 年代是航空护林的初期阶段,主要是使用飞机进行巡护、观察、通报火情。50 年代后,森林面积比较多的国家普遍开展航空护林,且开始采用航空直接灭火^[34]。现代航空护林研究,主要包括卫星林火监测和机载红外探火^[35],机载红外探火则可以对林火蔓延态势进行有针对性的连续实时跟踪监测,准确把握和及时了解重大森林火灾现场的各种动态信息。

6 结论

近年来,气候变化导致森林火灾多发。同时,对于我国林权制度改革和林业经济体制变化,对森林防火工作提出了巨大挑战,中国森林防火科学技术研究中长期发展特别要注意做好如下工作。(1)多尺度可燃物类型划分技术研究;(2)国家森林火险等级系统关键技术研究;(3)林火探测技术研究;(4)林火综合通信技术研究;(5)复杂地形和气象条件下的森林火灾扑救战术的研究;(6)森林防火标准制定;(7)林火管理新理论的研究;(8)可燃物含水率预报和监测技术研究;(9)火行为模型研究;(10)特大森林火灾扑救技术研究;(11)林火阻隔技术研究;(12)国家林火管理基础数据系统的研究。总之,正如林火研究者指出,林火管理最大的问题,如果是排除火因子或不允许天然火的发生,那么森林将是一幅什

么样的景象。可通过计划烧除或是机械调控、持续的森林防火及各手段的综合利用,以尽量减少天然火的人工干扰。否则,就有可能导致损失更大,程度更剧烈的森林火灾的发生。虽然如此,森林将来仍然掌握在人类手中^[40]。

参考文献:

[1] AMIRO B D, B J STOCKS, M E ALEXANDER, *et al.* Fire, climate change, carbon and fuel management in the Canadian boreal forest [J]. *International Journal of Wildland Fire*, 2001,10:405-413.

[2] BALDWIN V, CLARK J. Accomplishing and applying National Fire Plan research and development from 2001-2005 [R]. General Technical Report RMRS-GTR-187. Fort Collins, CO: USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 2007.

[3] ROBERT G H, DAVID T. C, ROGER B H, *et al.* Assessing fire risk in the wild land-urban interface [J]. *J. Forestry*, 2004,6:1581-1597.

[4] SANCHEZ-GUISANDEZ M, CUI W B, MARTELL D L. FireSmart management of flammable wildland urban interface landscapes[C]//DOMINGOS X V, ed. IV International Conference on Forest Fire Research. Luso Coimbra, Portugal, Rotterdam: Millpress,2002;12.

[5] PRESTEMON J P, PYE J M, BUTRY D T, *et al.* Understanding broad scale wildfire risks in a human-dominated landscape[J]. *Forest Science*, 2002,48:685-693.

[6] US DEPARTMENT OF AGRICULTURE, US DEPARTMENT OF THE INTERIOR, NATIONAL ASSOCIATION OF STATE FORESTERS, NATIONAL ASSOCIATION OF COUNTIES. National Fire Plan Memorandum of Understanding for the Development of a Collaborative Fuels Treatment Program. <http://www.fireplan.gov>. 2002.

[7] CLELAND D T, CROW T R, SAUNDERS S C, *et al.* Characterizing historical and modern fire regimes in Michigan (USA)[M]. *Landscape Ecosystem*, 2004,10(4):270-281.

[8] PARSONS D J, LANDRES P B, MILLER C. Wildland fire use: the dilemma of managing and restoring natural fire and fuels in United States wilderness[C] //GALLEY K E M, KLINGER R C, SUGIHARA N G, eds. *Proceedings of Fire Conference 2000: The First National Congress on Fire Ecology, Prevention, and Management*. Tallahassee FL: Miscellaneous Publication No. 13, Tall Timbers ResearchStation, 2003:19-26.

[9] COLE D N. Natural, wild, uncrowded, or free which should Wilderness be[J]. *International Journal of Wilderness*, 2000 (6):5-8.

[10] LANDRES P, BRUNSON M W, MERIGLIANO L. The dilemma and irony of ecological restoration in wilderness[J]. *Wild Earth*, 2000,10(4):77-82.

[11] MILLER C, LANDRES P B, ALABACK P B. Evaluating risks and benefits of wild land fire at landscape scales[C]//

NEUENSCHWANDER L F, RYAN K C, eds. Proceedings of the Joint Fire Science conference and workshop: Crossing the millennium: integrating spatial technologies and ecological principles for a new age in fire management. Moscow ID: University of Idaho and International Association of Wild land Fire, 2000;78-87.

[12] MILLER C, URBAN D L. Modeling the effects of fire management alternatives on Sierra Nevada mixed-conifer forests [J]. Ecological Applications,2000, 10:85-94.

[13] COLIN C, HARDY A, KIRSTEN M. *et al.* Spatial data for national fire planning and fuel management [J]. International Journal of Wild land Fire, 2001(10): 353-372

[14] SUSAN G C, HARTZELL T, WHILBRUNER M. Changing fuel management strategies the challenge of meeting new information and analysis needs [J]. International Journal of Wildfire Fire, 2001, 10:267-275

[15] THOMAS M G. Analyzing the Jasper Fire in the Black Hills National Forest. <http://www.esri.com/news/arcnews/analyz-ingjasper.html>(2001-04-23).

[16] 高空照相机及时发现山火. [http://www.ldgps.cn/Article/KJBL/html\(2006-12-08\)](http://www.ldgps.cn/Article/KJBL/html(2006-12-08)).

[17] 美国森林火灾防控的昨日与今天. [http://www.jsforestry.gov.cn/jsly/showinfo/showinfo.aspx?inford=7f48ce3f-49f3-4741-af48-8246e640e299&categoryNum=009&siteid=\(2009-06-22\)](http://www.jsforestry.gov.cn/jsly/showinfo/showinfo.aspx?inford=7f48ce3f-49f3-4741-af48-8246e640e299&categoryNum=009&siteid=(2009-06-22)).

[18] DAVID L M, KELVIN H, JAY M, *et al.* A Fire Smart Approach to Integrated Fire and Forest Management in the Boreal Forest Region of Canada [M]. New York: John Wily Sons,2004;96-107.

[19] 范维澄,王清安,张人杰,等. 火灾科学导论[M]. 武汉:湖北科学技术出版社,2002.

[20] Fire Management Applications. <http://envweb.env.gov.ab.ca/env/forests/fpd/fstfma.html>(2002-09-26).

[21] 罗光裕. 加拿大林火行为预报系统进展. [J]. 森林防火,1994(1):44.

[22] GIS for fire response. <http://www.esri.com/industries/publicsafety/fire.html>(2008-06-18).

[23] WEBER M G, TAYLOR S W. The application of prescribed burning in Canadian forest management [J]. The Forestry Chronicle,1992,68(31):21- 32.

[24] SAN M A, BARBOSA J P. Towards the integration of spatial information on forest fires: The European Forest Fire Information System (EFFIS). Presented at the International Seminar on “New communication and information technologies in forest fire prevention and suppression” [C]. Kalamata: Greece,2000;22-23.

[25] SOL A. European program improves the operational fight against forest fires: MINERVE program and meteorological fire danger in southeastern France [C]// Athens: DELFI Proceedings,1999;185-192.

[26] 肖化顺. 森林资源监测中林业 3S 技术的应用现状与展望[J]. 林业资源管理,2004(2):93-97.

[27] 肖化顺,杨志高,曹武,等. 论城市森林防火信息化建设[J]. 西北林学院学报,2008,23(3):151-155.

XIAO H S, YANG Z G, CAO W, *et al.* Discussion on information-based construction of urban forest fire preration[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2008, 23(3): 151-155. (in Chinese)

[28] 邵青还. 森林火灾自动预警系统在德国投入使用[J]. 国土绿化,2005(2):42.

[29] 谢绍锋,张贵,肖化顺. 林火动态监测中 3S 技术的应用现状与展望[J]. 中南林业调查规划,2005,24(4):45- 48.

XIE S F, ZHANG G, XIAO H S. Status and prospect of "3S" technique on forest fire dynamic monitoring[J]. Central South Forest Inventory and Planning, 2005,24(4):45-48. (in Chinese)

[30] 舒立福,张小罗,戴兴安. 林火研究综述(Ⅱ)——林火预测预报[J]. 世界林业研究,2003,16(4): 34-37.

[31] 林其钊,舒立福. 林火概论[M]. 合肥:中国科学技术大学出版社,2003:249-268.

[32] JEREMY S, RIED D, KEITH J G, *et al.* Analysing initial attack on wildland fires using stochastic simulation [J]. International Journal of Woodland Fire, 2006, 15:137-146.

[33] 田晓瑞,舒立福,王明玉,等. 林火与气候变化研究进展[J]. 世界林业研究. 2006,19(5):38-42.

[34] 田晓瑞,张有慧,舒立福,等. 林火研究综述—航空护林[J]. 世界林业研究,2004(5):17- 20.

[35] 赵宏江. 论提升森林航空消防综合防控能力的措施[J]. 森林防火,2006,90(3):43- 44.

[36] SCHULTZ M G. On the use of ATSR fire count data to estimate the seasonal and inter annual variability of vegetation fire emissions [J]. Atmos. Chem. Phys., 2002, 2: 387-395.

[37] 张小全. 森林、造林、再造林和毁林的定义与碳计量气候变化 [M]. 北京:中国林业出版社,2003:113-117.

[38] GOLDAMMER J G, CRUTZEN P J. Fire in the Environment: The Ecological, Atmospheric and Climtic Importance of Vegetation Fires [M]. New York: John Wiley & Sons, 1993:1-14.

[39] LEVINE J S, COFFER W R, CAHOON D R, *et al.* Biomassburning: adriver for globalchange [J]. Environmental Science&Technology, 1995, 29(A): 120-125.

[40] GAMINDA G, LINDA G, JOHN H. An Economic Analysis of Bushfires Management Programs [C]. The International Association of Agricultural Economists Conference. Australia: Gold Coast, 2006.