

FARSITE 火行为模型的原理、结构及其应用*

吴志伟 贺红士** 胡远满 常禹 梁宇

(森林与土壤生态国家重点实验室,中国科学院沈阳应用生态研究所,沈阳 110164)

摘要 应用空间直观火行为模型模拟大的时空尺度上的林火蔓延过程成为林火管理、规划和科学分析的有效工具。FARSITE(Fire Area Simulator)是一个基于热物理、燃烧学和试验理论为一体的空间直观火行为模型,它集成了现有的地表火、树冠火、飞火和火加速等子模型。FARSITE能够利用GIS和RS提供的空间数据模拟大时空尺度的林火蔓延,模拟结果能够以地图形式输出,反映林火行为的瞬时状态。本文介绍了FARSITE模型的基本原理、结构和运行机制,并将其应用到丰林自然保护区林火蔓延模拟,以期为国内林火管理和火行为模型的开发提供参考。

关键词 FARSITE; 火行为; 模拟; 丰林国家级自然保护区

中图分类号 S762.1 文献标识码 A 文章编号 1000-4890(2012)2-0494-07

Principle, structure, and application of FARSITE fire behavior model. WU Zhi-wei, HE Hong-shi**, HU Yuan-man, CHANG Yu, LIANG Yu (State Key Laboratory of Forest and Soil Ecology, Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110164, China). *Chinese Journal of Ecology*, 2012, 31(2): 494-500.

Abstract: Researchers and managers are increasingly interested in spatially explicit fire models that can simulate fire spread processes at large spatial and temporal scales for use in fire management, planning, and scientific analyses. Fire Area Simulator (FARSITE) is a spatially explicit model based on thermal physics, combustion science, and empirical theory, which integrates the existing sub-models of surface fire, crown fire, spot fire, and fire acceleration. By using GIS and RS data, FARSITE model can simulate fire spread at large spatial and temporal scales, and the simulated results can output in the form of maps, reflecting the instantaneous state of any fire behavior. This paper introduced the basic principles, structure, and operation mechanisms of FARSITE model, and applied it to simulate the fire spread in Fenglin National Nature Reserve, so as to provide reference for the development of fire management and fire behavior simulation model in China.

Key words: FARSITE; fire behavior; simulation; Fenglin National Nature Reserve.

林火作为森林中极为活跃的干扰因子,对维持森林生态系统多样性和森林健康起着举足轻重的作用(Taylor & Skinner, 1998),但是失去人为控制的林火燃烧,任其在森林内自由蔓延则不仅会毁灭大面积的森林,同时还对人类的生命财产及生态环境造成巨大的危害。因此,如何对林火的类型、强度和蔓延速度等林火行为进行预测,进而提出有效的林火管理策略,成为各国森林生态学家、林学家和森林管理部门关注的焦点。

* 中国科学院知识创新工程重大项目(KZCX2-YW-444)和国家自然科学基金项目(41071120)资助。

** 通讯作者 E-mail: heh@missouri.edu

收稿日期: 2011-08-29 接受日期: 2011-11-28

长期以来,许多林火管理部门和研究人员根据当地的实地情况,实施了大量的林火行为野外试验研究(Catchpole *et al.*, 1993; 舒立福和田晓瑞, 1999),并取得了良好的效果,然而,大多数试验都是在生态系统及其以下水平上进行的,样点尺度上的试验研究的结果并不能满足景观和区域尺度上林火管理的需求。在景观尺度上,野外实验研究通常超过了实时观测(时间)与实地试验(空间)的能力,野外燃烧实验不仅资金投入大,而且一旦失去控制很容易酿成森林火灾。随着计算机技术迅速发展,火行为模型成为开展预测林火行为的有效工具(He *et al.*, 2008)。

火行为模型是基于热物理、燃烧学和试验理论为一体的模型,能解决不同可燃物状况、气象条件和地形特征下的林火蔓延速度、强度和蔓延方式等问题(黄作维和刘峰 2007; Sullivan 2009)。在过去的30多年里,林火蔓延模型研究取得了重要的研究进展。初期研究主要集中于建立自然因素与火行为关系模型,未考虑林火扩展具有的时间和空间特征。1979年 Kessel 首次考虑空间因素,将空间的复杂性应用于林火蔓延模拟当中(唐晓燕等,2002)。然而,大部分模型过于简化,多是针对地表火的模拟,模拟结果难以空间直观表达,所以对林火行为的预测有时候会出现较大偏差(Rothermel,1983,1991)。直到20世纪90年代中期,出现了以 FARSITE (Finney,1998) 为代表的新一代火行为模型,不仅对可燃物垂直结构及载量有了更高的要求,而且增强了林火蔓延的空间直观显示。FARSITE (Fire Area Simulator) 模型是美国 Missoula 火灾科学实验室开发的直观火行为模型,主要用于模拟不同地形、气象和可燃物状况下的林火蔓延过程。它是首个集成了现有的地表火、树冠火和飞火等单一火行为模型的集合模型,其模拟过程具有很强的空间直观性,模拟结果能够以地图形式输出,每一张图可以反映某一火行为的瞬时状态。FARSITE 模型自推出以来,国外关于其应用的研究较多,而国内对该模型关注不够。本文以 FARSITE 模型的英文版技术文档为基础(Finney,1998),详细介绍了该模型的原理、结构和一些不足,以期国内更合理地应用 FARSITE 模型及国内火行为模型的开发提供参考。

1 FARSITE 模型的基本原理

1.1 地表火子系统演算

FARSITE 模型地表火采用 Rothermel 方程计算(Rothermel,1972):

$$R = \frac{I_R \zeta (1 + \Phi_w + \Phi_s)}{\rho_b \varepsilon Q_{ig}}$$

式中: R 为火头的稳态蔓延速度 ($\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$); I_R 为火焰区反应强度 ($\text{kJ} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$); ζ 为蔓延率(无因次); Φ_w 为风速修正系数; Φ_s 为坡度修正系数; ρ_b 为可燃物床密度 ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$); ε 为有效热系数(无因次); Q_{ig} 为燃烧热值 ($\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$)。

地表火火线强度 ($\text{kW} \cdot \text{m}^{-1}$) 是另一个重要的火行为指标,其计算公式为:

$$I_b = \frac{I_R}{60} \times \frac{12.6R}{\sigma}$$

式中 σ 为可燃物床的表面体积比 (m^{-1})。

1.2 林冠火子系统演算

林冠火采用 van Wagner 方程计算(van Wagner, 1977,1993)。林冠火 I_o ($\text{kW} \cdot \text{m}^{-1}$) 的阈值取决于林冠枝叶含水量 M (百分比) 和林木枝下高 CBH (m), 计算公式为: $I_o = (0.01CBH(460+25.9M))^{3/2}$ 。以 I_o 和遍燃型树冠火扩展速度 RAC 为阈值,林冠火分为三类:

I. 间歇型树冠火 (passive crown fire): $I_b \geq I_o$, $R_{C \text{ actual}} < RAC$;

II. 遍燃型树冠火 (active crown fire): $I_b \geq I_o$, $R_{C \text{ actual}} \geq RAC$, $E < E_o$;

III. 独立型树冠火 (independent crown fire): $I_b > I_o$, $R_{C \text{ actual}} \geq RAC$, $E > E_o$ 。

式中: E 和 E_o 分别为实际和临界能量值 ($\text{kW} \cdot \text{m}^{-2}$); RAC 为遍燃型树冠火扩展速度 ($\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$), 计算公式为 $RAC = 3.0/CBD$; CBD 为林冠容重 ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$); 3.0 为经验计算值,即林冠层火焰质量流速 ($0.05 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) 乘以转换系数 ($60 \text{ s} \cdot \text{min}^{-1}$)。但是,独立型树冠火很少发生且为昙花一现,所以无论 E 和 E_o 计算与否, FARSITE 没有计算独立型树冠火。

间歇型树冠火的扩展速度计算相当于地表火速度,遍燃型树冠火的实际扩张速度根据最大林冠火速度 $R_{C \text{ max}}$ ($\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$) 计算: $R_{C \text{ actual}} = R + CFB(R_{C \text{ max}} - R)$ 。如果 $R_{C \text{ actual}}$ 达到或者超过 RAC , 则 $R_{C \text{ max}} = 3.34R_{10}E_i$, 其中 $3.34R_{10}$ 是利用 0.4 的风系数计算出的美国可燃物模型 10 (fuel model 10) 地表扩展速度 R ; E_i 是第 i 个火线顶点火扩张速度的分数 ($E_i < 0.1$); CFB 为林冠燃烧的比重, 计算公式为: $CFB = 1 - e^{-a_c(R-R_o)}$, 其中 a_c 和 R_o 的计算公式分别为: $a_c = \frac{-\ln(0.1)}{0.9(RAC-R_o)}$ 和 $R_o = I_o \frac{R}{I_b}$, 其中 R_o 为地表火扩展速度临界值。

林冠火强度 I_c ($\text{kW} \cdot \text{m}^{-1}$) 通过修正地表火强度计算公式修正而来,其计算公式为:

$$I_c = 300 (I_b/300R + CFB \cdot CBD (H - CBH)) R_{C \text{ actual}}$$

其中 H 为树高 (m)。

1.3 火加速子系统演算

FARSITE 将加速度定义为林火从原有速度达到 90% 新的均衡速度所需时间的函数。在 t 时点的

火蔓延速度完全取决于在 t 时点现有的燃烧条件下能够达到的最快速度,其函数式为 (McAlpine & Wakimoto, 1991; Forestry Canada Fire Danger Group, 1992):

$$R_t = R(1 - e^{-a_a t})$$

式中 R 为均衡扩展速度 ($\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$) t 为燃烧时间 (min) a_a 为常数项,可根据可燃物类型(模型)进行调整。根据加拿大林火行为预测系统,点源火 a_a 设置为 0.115 便可使其在 20 min 内达到 90% 新的均衡速度,线源火设置 0.300 可使其在 8 min 内达到 90% 新的均衡速度。

根据加拿大林火行为预测系统,林冠火的加速度计算公式为:

$$a_a = 0.115 - 1.88CFB^{2.5} e^{-8CFB}$$

依据可燃物类型,火源类型(点源或线源)该方程可设置不同加速系数 a_a 。

1.4 飞火子系统演算

飞火指的是在风等作用下在主火头前方形成的新起火点,它可以穿越障碍物远离现有火线数公里,而彻底改变火行为和火扩展格局。FARSITE 采用 Albini 发展的方程计算飞火扩展,它计算的是从树冠火到飞火的过程。灰烬及碎片飞跃高度由其漂移原始位置所需的时间决定,计算公式为 (Albini, 1979):

$$t_f = t_o + 1.2 + \frac{a_x}{3} \left(\left(\frac{b_x + z/z_F}{a_x} \right)^{3/2} - 1 \right)$$

式中 z 为物体高度 (m); z_F 为火焰高度 (m); $a_x = 5.963$; $b_x = 4.563$; $t_f = t_o + t_1 + t_2 + t_3$; t_o 为树冠稳定燃烧时间; z_F 和 t_o 取决于树种,胸径和林分内燃烧树株数; t_1 是余烬从其初始高度转移到火焰末端所花的时间,计算公式为:

$$t_1 = 1 - (z_o/z_F)^{1/2} + \frac{v_o}{w_F} \ln \left(\frac{1 - v_o/w_F}{(z_o/z_F)^{1/2} - v_o/w_F} \right)$$

t_2 为余烬穿越蔓延区所花的时间,计算公式为:

$$t_2 = 0.2 + B \left(\frac{D_p}{z_F} \right)^{1/2} \left(1 + B \left(\frac{D_p}{z_F} \right)^{1/2} \ln \left(1 + 1 / \left(1 - \frac{D_p}{z_F} \right)^{1/2} \right) \right)$$

t_3 为余烬漂移的时间,计算公式为:

$$t_3 = \frac{a_x}{0.8v_o/w_F} \left(\ln \left(\frac{1 - 0.8v_o/w_F}{1 - 0.8rv_o/w_F} \right) - 0.8(v_o/w_F) \right. \\ \left. (r - 1) - \frac{1}{2} (0.8v_o/w_F)^2 (r - 1)^2 \right)$$

式中 v_o 极限速度 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) v_F 火焰速度 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) $r = ((b + z/z_F) / a)^{1/2}$ D_p 为物体直径 (m) $B = 40$ $v_o = w_F / B (D/z_F)^{1/2}$ 。

一旦灰烬及碎片飞跃起来,便在风、重力等因子的作用下沉降,如果灰烬及碎片的着落点具备可燃条件,则形成新的起火点。

2 FARSITE 模型的数据结构及运行过程

2.1 FARSITE 模型的数据结构

2.1.1 空间输入数据 与大多数空间直观模型一样, FARSITE 模型与 GIS 和 RS 紧密结合,需大量的空间数据作为模拟的基础,其主要空间数据如表 1 (Finney, 1998)。

2.1.2 天气和风输入数据 天气信息包括日最高、最低温度,日最高、最低湿度和降水量。天气信息可以用来模拟景观范围内的天气信息分布格局,并以此计算可燃物湿度。24 h 内的日温度和湿度的最大值和最小值分布于近似余弦函数曲线的上下端。降水量在整个景观范围内认为是均质的。图 1 引用 FARSITE 系统自带数据为例,表征了日温度和湿度呈余弦函数的变化规律。

风信息输入主要包括风速、风向和云盖度。和天气信息一样,风信息都是由事件驱动(地形、林分

表 1 FARSITE 模型主要空间输入数据

Table 1 Main spatial inputs to FARSITE and their usage in the simulation

| 栅格主题 | 单位 | 用途/说明 |
|-------|--|--|
| 海拔 | m | 模拟温度和湿度在景观范围内的空间分布 |
| 坡度 | ° | 计算火扩展的方向效应; 确定太阳辐射效率; 调整林火扩展速度和方向 |
| 坡向 | ° | 同坡度共同作用 |
| 可燃物模型 | - | 提供地表可燃物的特征参数, 主要包括不同时滞死可燃物载量, 活可燃物载量, 可燃物表面体积比和可燃物床厚度。可燃物模型可以定制, 也可以沿用系统预设模型 |
| 林冠盖度 | % | 确定地表可燃物平均遮光度, 主要影响地表可燃物湿度计算; 辅助于计算风减缓系数 |
| 林冠高度 | m ft | 影响林内风相对位置; 与林冠盖度共同作用下, 影响风减缓速度、火炬树灰或碎片的起始位置和下降轨道 |
| 林冠基高 | m ft | 与地表火强度、树冠枝叶湿度共同确定地表火扩展到树冠火的阈值 |
| 林冠容重 | $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$, $\text{lb} \cdot \text{ft}^{-3}$ | 确定出现树冠飞火的阈值 |

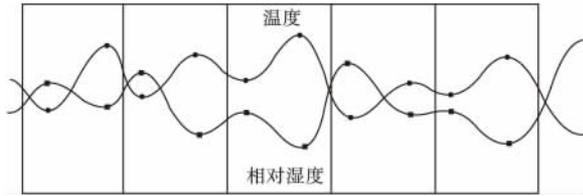


图1 日温度和相对湿度的变异模拟
Fig.1 Modeled diurnal pattern of temperature and relative humidity variation

等环境因子作用)而在景观范围内变异。

2.1.3 可燃物湿度数据 可燃物湿度根据可燃物个体大小、天气条件、风和太阳辐射度等而随着时间变化。可燃物湿度可通过以下两途径输入: 1) 定制可燃物模型时直接赋予各可燃物模型相应的湿度值; 2) 利用若干日期的气象数据计算可燃物湿度。

2.2 FARSITE 模型的运行机制

FARSITE 模型采用逐步控制式结构来实现林火模拟(图2)。具体来讲, 1) 利用 GIS 建立地形、林分和可燃物模型图层, 并录入相应的参数, 建立必要的景观要素文件; 2) 设置模拟参数, 主要包括模拟时间步长、空间距离和林火边界的分辨率、模拟的起始和终止时间以及火源点位确定; 3) 模拟运行并解释模拟结果。

3 FARSITE 模型的国内外应用进展

FARSITE 模型自从推出以来, 已经广泛应用于北美和欧洲的森林生态系统的林火预测与管理中。

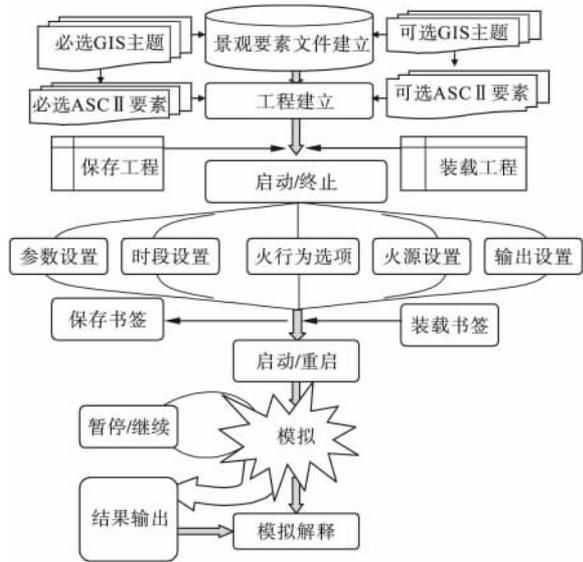


图2 FARSITE 模型运行流程图
Fig.2 General flow of FARSITE simulation

FARSITE 主要应用于模拟不同气象、地形和可燃物等环境条件下的林火行为、林火扑救决策、可燃物处理和林火效应等(Stephens ,1998; Stratton ,2004; Arca *et al.* ,2007; Bean & Sanderson ,2008; Kim *et al.* , 2009)。特别是在可燃物处理与林火管理方面, FARSITE 模型深受研究者和管理部门青睐, 它不仅模拟常规的可燃物处理, 包括计划火烧、机械去除和林分稀疏等, 而且可以模拟不同的可燃物处理位置、格局、频率和时间跨度等对林火蔓延的影响。如 Finney 和 Ryan(1995) 在美国约塞美蒂(Yosemite) 和冰河(Glacier) 国家公园, 利用计划火烧验证了 FARSITE 模型的可行性; Kim 等(2009) 利用 FARSITE 模型模拟了 4 种可燃物处理空间格局(随机、散式、聚集和规则分布) 对美国俄勒冈东北部森林火险的影响, 结果表明, 科学的可燃物处理格局能够有效地降低森林火险。在欧洲, FARSITE 模型主要应用于地中海地区林火行为与可燃物处理模拟, 如 Arca 等(2007) 评价了 FARSITE 模型在预测地中海植被火蔓延和林火行为方面的精度及其影响因素, 并且预测了在不同的气象和地形条件下地中海植被潜在的林火发生概率空间分布。

在国内, 关于 FARSTE 模型的应用案例报道不多, 仅局限于对 FARSTE 模型的介绍和评述。如李建微等(2005) 认为 FARSTIE 模型是国际应用最广泛的林火蔓延模型, 且大量实践证明该模型比较成熟, 模拟结果比较接近现实。显然, FARSTE 作为一个深受国际认可, 较为成熟的林火蔓延模型, 将其引入可以推动国内林火蔓延模型的开发与应用。目前, 国内应用 FARSIE 模型存在主要问题是模型输入参数获取和模拟结果的验证。FARSTIE 模型输入参数主要为气象、地形和可燃物。目前国外森林可燃物分类研究十分成熟, 在北美和欧洲都划分了若干标准可燃物模型, 而我国还没用一套区域乃至国家尺度的标准可燃物分类体系, 这对 FARSITE 模型在国内的应用带来了挑战。如何针对中国森林生态系统和林火发生与蔓延的特点, 对 FARSITE 模型进行参数化并验证其模拟结果十分重要, 该项工作有利于推动我国林火蔓延模型研制和应用。为了更好地验证林火蔓延结果, 我国应该建立林火动态监测机制, 对林火蔓延进行实时监测, 同时需要进一步完善林火监测的数据共享。

4 FARSITE 模型在丰林自然保护区的应用

4.1 自然条件

丰林国家级自然保护区(128°58'E—129°15'E, 48°02'N—48°12'N)位于小兴安岭南坡中段北缘,黑龙江省伊春市五营林业局境内,总面积18165.4 hm²,森林覆被率为95%。丰林保护区地形平缓,属低山丘陵地形,海拔高度在285~688 m。境内主要河流有汤旺河、丰林河、平原河等9条。保护区具有大陆性及季风气候相结合的特点,冬季漫长寒冷而夏季短促湿润。年平均温度在-0.5℃,年平均降水量在640.5 mm。

保护区内土壤主要是发育在阔叶红松林下的地带性土壤-暗棕色森林土,成土母质以花岗岩和片麻岩的风化物为主。保护区内植被类型多样,属长白山植物区系小兴安岭亚区,地带性植被为温带针阔叶混交林。针叶树种有红松(*Pinus koraiensis*)、臭冷杉(*Abies nephrolepis*)、云杉(*Picea* spp.)和兴安落叶松(*Larix gmelinii*)等;阔叶树有椴树(*Tilia* spp.)、枫桦(*Betula costata*)、水曲柳(*Fraxinus mandshurica*)、黄檗(*Phellodendron amurense*)、胡桃楸(*Juglans mandshurica*)、榆树(*Ulmus* spp.)、色木槭(*Acer mono*)、蒙古栎(*Quercus mongolica*)、白桦(*Betula platyphylla*)和山杨(*Populus davidiana*)等。

4.2 模型输入数据

(1) 地形条件数据。海拔、坡度和坡向数据来自DEM模型,栅格大小为30 m×30 m,所有数据转换为ASCII Raster格式。

(2) 可燃物模型定制。可燃物模型的参数见表2。

(3) 天气、风和可燃物湿度数据。林火发生与天气、风和可燃物湿度密切相关,本研究依据贺萍等(2008)在五营林业局的研究结果,设定天气和可燃物湿度信息(表3)。

表2 丰林自然保护区可燃物模型

Table 2 Custom fuel model values for Fenglin Nature Reserve

| 参数 | 模型1 | 模型2 | 模型3 |
|--------------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| 1-h 载量(t·hm ⁻²) | 3.08±0.13 | 1.43±0.20 | 3.60±0.20 |
| 10-h 载量(t·hm ⁻²) | 0.76±0.08 | 0.40±0.06 | 1.03±0.12 |
| 100-h 载量(t·hm ⁻²) | 0.85±0.18 | 0.21±0.12 | 0.48±0.14 |
| 草本载量(t·hm ⁻²) | 0.19±0.03 | 0.28±0.04 | 0.14±0.02 |
| 灌木载量(0~0.64 cm)(t·hm ⁻²) | 0.32±0.03 | 0.24±0.05 | 0.38±0.05 |

4.3 模拟结果

受篇幅限制,本研究仅模拟了丰林自然保护区的火焰长度和火线强度等林火行为。参考单延龙(2003)的研究(表4),可将丰林自然保护区林火行为划分为3个等级(图3和图4)。

利用ArcGIS的面积统计功能,丰林自然保护区1等强度火面积为7950.78 hm²,占保护区面积的45%;2等强度火面积为7540.38 hm²,占保护区面积的42%;3等强度火面积为2351.52 hm²,占保护

表3 火行为模拟的天气和可燃物条件

Table 3 Weather and fuel conditions used in the fire behavior simulation

| 参数 | 数值 |
|-------------------------|------|
| 温度(℃) | 28 |
| 风速(km·h ⁻¹) | 33 |
| 相对湿度(%) | 25 |
| 降水(mm) | 0 |
| 1-h 时滞含水率(%) | 3 |
| 10-h 时滞含水率(%) | 4 |
| 100-h 时滞含水率(%) | 5 |
| 可能火情 | 极易发生 |

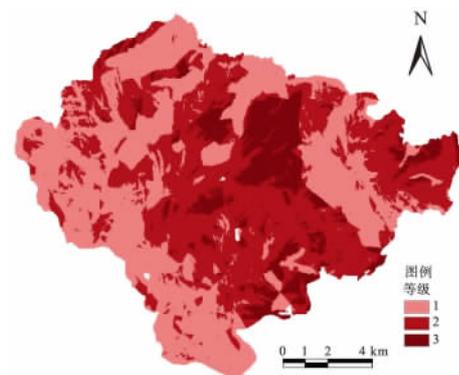


图3 火线强度空间分布示意图

Fig. 3 Spatial pattern of fireline intensity

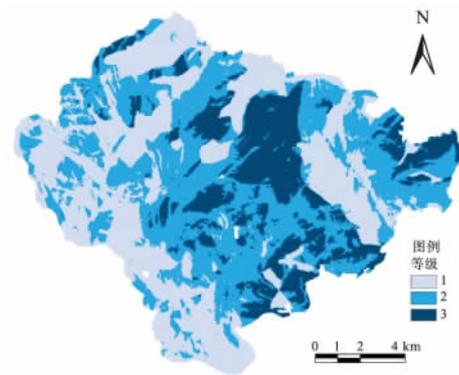


图4 火焰长度空间分布示意图

Fig. 4 Spatial pattern of flame length

表 4 火焰长度和火线强度等级

Table 4 Severity class of the fire flame and fireline intensity

| 等级 | 火行为指标 | | 火现象和扑火策略 |
|----|-------------|-------------------------------|---------------------------------------|
| | 火焰长度 (m) | 火线强度 (kW·m ⁻¹) | |
| 1 | <0.8 | <170 | 火势很弱,绝大多数计划火烧在这个范围 |
| 2 | 0.8~1.1 | 170~350 | 使用手工工具,可以在火头或者火翼控制火扩展 |
| 3 | 1.1~2.5 | 350~1730 | 火燃烧强烈,使用手工工具不能扑灭,需使用推土机、消防车和灭火飞机等机械工具 |
| 4 | 2.5~3.5 | 1730~3460 | 有可能出现熊熊燃烧的火炬火、树冠火和飞火,在火头控制火扩展可能无效 |
| 5 | 3.5 | >3460 | 出现明显的树冠火,飞火,从火头控制火是无效的 |

区面积的 13%。1 等火焰长度火面积为 7108.65 hm²,占保护区面积的 40%。2 等火焰长度火面积为 7263.54 hm²,占保护区面积的 41%。3 等火焰长度火面积为 3470.49 hm²,占保护区面积的 19%。总体来看,火线强度和火线长度主要分布在 1 和 2 等级上,分别占总面积的 87% 和 81%,表明丰林保护区在该气象条件下,通过使用手工工具,基本可以在火头或者火翼控制林火扩展。显然,林火扩展与气象条件尤其是风速密切相关,本研究结果只能反映该气象条件下的火行为,在其他气象条件下的林火行为有待进一步研究。

5 结论与讨论

FARSITE 模型是一个基于热物理、燃烧学和试验理论为一体的空间直观火行为模型,只要适当地利用它的数据结构文件,输入有关参数便能对不同立地、林分和气象下的林火行为进行模拟。模拟结果可为林火管理、可燃物处理和科学分析提供有效的参考。

但是,与所有的模拟模型一样,FARSITE 模型有一些局限性,例如,FARSITE 模型中的火扩展采用 Huygens 原理,认为林火呈椭圆形蔓延。事实上,在可燃物分布不连续的情况下,林火扩展形状有可能不是椭圆形的,火头可能朝易扩展区域蔓延而呈正方形或其他形状扩展 (Green *et al.*, 1983); FARSITE 模型认为火的扩展速度、强度是独立于火和环境的交互作用的,火形状、长度以及燃烧面积对燃烧点的火行为是没有影响的。但是,野外试验燃烧表明,线形火的长度是可以影响林火扩展速度的 (Cheney *et al.*, 1993); 模拟过程中,火加速取决于可燃物类型而独立于火行为,这意味着一个特定的可燃物类型达到稳定的扩展速度所需时间是恒定的,与燃烧的环境无关。McAlpine 和 Wakimoto (1991) 研究表明,单一的火加速度应用于所有的可

燃物类型是不准确的。所以,我们利用 FARSITE 模型来预测火行为时,充分了解该模型的优缺点是十分必要的。

目前,我国还没有一个通用的可燃物分类标准和林火扩展模拟模型,如何结合我国森林生态系统实际情况和自然特点,通过大量的实地观测与模型应用,获取、积累更全面真实的参数信息,构建适合我国的空间直观火行为模型,是今后林火管理研究的重要方向。

参考文献

- 单延龙. 2003. 大兴安岭森林可燃物的研究(博士学位论文). 哈尔滨: 东北林业大学.
- 贺萍,孟超,田丰. 2008. 小兴安岭地区森林地被可燃物含水率变化规律及其与森林火险等级关系. 黑龙江气象, 25(3): 25-27.
- 黄作维,刘峰. 2007. 基于 GIS 和 RS 的森林火险预测研究. 西北林学院学报, 22(2): 115-118.
- 李建微,陈崇成,於其之,等. 2005. 虚拟森林景观中林火蔓延模型及三维可视化表达. 应用生态学报, 16(5): 838-842.
- 舒立福,田晓瑞. 1999. 林火生态的研究与应用. 林业科学研究, 12(4): 422-427.
- 唐晓燕,孟宪宇,易浩若. 2002. 林火蔓延模型及蔓延模拟的研究进展. 北京林业大学学报, 24(1): 88-91.
- Albini FA. 1979. Spot fire distance from burning trees: A predictive mode. USDA Forest Service General Technical Report INT-56.
- Arca B, Duce P, Laconi M, *et al.* 2007. Evaluation of FARSITE simulator in Mediterranean maquis. *International Journal of Wildland Fire*, 16: 563-572.
- Bean WT, Sanderson EW. 2008. Using a spatially explicit ecological model to test scenarios of fire use by Native Americans: An example from the Harlem Plains, New York, NY. *Ecological Modelling*, 211: 301-308.
- Catchpole EA, Catchpole WR, Rothermel RC. 1993. Fire behavior experiments in mixed fuel complexes. *International Journal of Wildland Fire*, 3: 45-57.
- Cheney NP, Gould JS, Catchpole WR. 1993. The influence of fuel, weather, and fire shape variables on fires-spread in

- grasslands. *International Journal of Wildland Fire* , **3**: 31–44.
- Finney MA , Ryan KC. 1995. Use of the FARSITE fire growth model for fire prediction in the U. S. national parks. In International emergency management and engineering conference , Paris , France.
- Finney MA. 1998. FARSITE: Fire Area Simulator–Model Development and Evaluation. USDA Forest Service General Technical Report RMRS-RP-4.
- Forestry Canada Fire Danger Group. 1992. Development and structure of the Canadian Forest Fire Behavior Prediction System. Forestry Canada Information Report ST-X-3.
- Green DG , Gill AM , Noble IR. 1983. Fire shapes and the adequacy of fire-spread models. *Ecological Modelling* , **20**: 33–45.
- He HS , Keane RE , Iverson LR. 2008. Forest landscape models , a tool for understanding the effect of the large-scale and long-term landscape processes. *Forest Ecology and Management* , **254**: 371–374.
- Kim YH , Bettinger P , Finney M. 2009. Spatial optimization of the pattern of fuel management activities and subsequent effects on simulated wildfires. *European Journal of Operational Research* , **197**: 253–265.
- McAlpine RS , Wakimoto RH. 1991. The acceleration of fire from point source to equilibrium spread. *Forest Science* , **37**: 1314–1337.
- Rothermel RC. 1972. A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels. USDA Forest Service General Technical Report INT-115.
- Rothermel RC. 1983. How to predict the spread and intensity of forest and range fires. USDA Forest Service General Technical Report INT-143.
- Rothermel RC. 1991. Predicting behavior and size of crown fires in the northern Rocky Mountains. USDA Forest Service General Technical Report INT-438.
- Stephens SL. 1998. Evaluation of the effects of silvicultural and fuels treatments on potential fire behaviour in Sierra Nevada mixed-conifer forests. *Forest Ecology and Management* , **105**: 21–35.
- Stratton RD. 2004. Assessing the effectiveness of landscape fuel treatments on fire growth and behavior. *Journal of Forestry* , **102**: 32–40.
- Sullivan AL. 2009. Wildland surface fire spread modelling , 1990 – 2007. I. Physical and quasi-physical models. *International Journal of Wildland Fire* , **18**: 349–368.
- Taylor AH , Skinner CN. 1998. Fire history and landscape dynamics in a late-successional reserve , Klamath Mountains , California , USA. *Forest Ecology and Management* , **111**: 285–301.
- van Wagner CE. 1977. Conditions for the start and spread of crown fire. *Canadian Journal of Forest Research* , **7**: 23–34.
- van Wagner CE. 1993. Prediction of crown fire behavior in two stands of jack pine. *Canadian Journal of Forest Research* , **23**: 442–449.
-
- 作者简介 吴志伟 男 ,1982 年生 博士 ,主要从事森林景观生态学研究。E-mail: sanbei82@163.com
责任编辑 王伟
-