

北京西山可燃物特点及潜在火行为^{*}

王明玉¹ 舒立福¹ 赵凤君¹ 任云卯² 田晓瑞¹

(1. 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所 国家林业局森林保护学重点开放性实验室 北京 100091 ;
2. 北京市西山试验林场 北京 100029)

摘 要: 以北京西山魏家村林场为研究区域,通过样地调查和森林清查数据将可燃物划分为针叶林、阔叶林、混交林和疏林地。根据样地调查和树木生物量模型计算不同类型和不同层次的可燃物载量、厚度和高度。根据 2000—2006 年当地气象数据,确定历史平均最大风速的平均值和主风向,在此背景下对风场进行模拟,进而对地表火和树冠火进行模拟计算,计算出不同类型火发生时火蔓延速度、火强度和火焰高度的分布图。地表火的蔓延速度为 $0.01 \sim 0.22 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,树冠火的蔓延速度为 $0.12 \sim 2.25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;地表火的火线强度为 $144 \sim 6\,595 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-1}$,树冠火的火线强度为 $3\,214 \sim 189\,002 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-1}$;地表火的火焰高度为 $0.37 \sim 2.50 \text{ m}$,树冠火的火焰高度为 $1.75 \sim 13.4 \text{ m}$ 。通过对可燃物和火行为指标的计算,可以为防火林带规划和防火林管理提供依据,也可为可燃物管理、扑火安全防范等提供借鉴。

关键词: 可燃物;火线强度;火焰长度;火蔓延

中图分类号:S762 文献标识码:A 文章编号:1001-7488(2010)01-0084-07

Characteristics of Forest Fuel and Potential Fire Behavior in Xishan Mountain of Beijing

Wang Mingyu¹ Shu Lifu¹ Zhao Fengjun¹ Ren Yunmao² Tian Xiaorui¹

(1. Key Open Laboratory of Forest Protection of State Forestry Administration Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry Beijing 100091; 2. Beijing Xishan Experimental Forest Center Beijing 100091)

Abstract: In this paper, we studied the forest fuel and potential fire behavior in terms of average maximal wind speed derived from records in Weijiacun Forest Center from 2000 to 2006. The fuel types were classified into coniferous forest, broadleaf forest, mixed forest, and sparse forest based on forest inventory and sample plots. Vertical and horizontal distribution of the fuel was calculated from sample plots and tree biomass model, including fuel loading, thickness and height. Based on fuel distribution and wind simulation, fire spread rate, fire intensity, and flame height of surface fire and crown fire were calculated. The fuel loading was $81.93, 57.46, 107.02$ and $51.92 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, and crown base height was $230.0, 200.0, 200.0$, and 280.0 cm respectively in coniferous forest, broadleaf forest, mixed forest, and sparse forest. Surface fire spread rate was $0.01 \sim 0.22 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, and crown fire spread rate was $0.12 \sim 2.25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Surface fire line intensity was $144 \sim 6\,595 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-1}$, and crown fireline intensity was $3\,214 \sim 189\,002 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-1}$. Flame height of surface fire was $0.37 \sim 2.50 \text{ m}$, and flame height of crown fire was $1.75 \sim 13.4 \text{ m}$. All above quantitative data were crucial in fuel management and fire safety issues.

Key words: fuel; fireline intensity; flame height; fire spread

森林可燃物是森林燃烧的基本条件,近年来世界气候异常,气温升高,包括中国在内,全球正在经历一次大的以气候变暖为特征的气候变化过程(王明玉等,2003a;2003b)。天气异常与森林可燃物变化相结合,森林火灾发生危险性有增加的趋势。生物防火林带可以有效阻隔森林火灾的蔓延,是预防

大面积森林火灾发生的重要措施之一。森林防火林带的规划需要对火行为、可燃物、地形、火环境等进行系统地分析,因地制宜,结合林相改造,合理布局,使防火林带与防火线以及天然屏障连接成网,把林地分隔成阻隔封闭区,才能发挥防火线的阻隔作用(田晓瑞等,2000)。可燃物和火行为特征是其中最

收稿日期:2008-04-16。

基金项目:国家科技支撑计划项目(2006BAD04B05)、火灾科学国家重点实验室基金(HZ2007-KF09)和北京市园林绿化局科技计划项目(2007年度)。

*舒立福为通讯作者。

关键的 2 个因素。森林火灾的发生和蔓延与可燃物尺寸、结构、组成、理化燃烧特性、载量、含水率等密切相关。对可燃物的研究涉及可燃物的理化性质(王希田等,1993),可燃物含水率(覃先林等,2001;金森等,2000),可燃物分类(覃先林等,2004;Tian et al.,2005),可燃物载量估算(胡海清等,2005;单延龙等,2004;2005)等方面,可以采用遥感(覃先林等,2004;Tian et al.,2005)、立地调查(胡海清等,2005;单延龙等,2004)、模型分析(胡海清等,2005)、试验分析(骆介禹等,1992)等方法。对火行为的描述可以通过野外火烧试验(王贤祥等,1995)、室内试验(张家来等,2002;林其钊等,2000)、模型模拟(朱霁平等,1999;张景群等,2001;George et al.,1999;Mark et al.,2001;唐晓燕等,2002)及遥感分析(舒立福等,2001)等方法,基于不同尺度和不同研究目的可以采用不同的研究方法。

可燃物空间分布特征与森林火灾行为特征密切相关,包括可燃物的水平分布和垂直分布及不同空间分布下的载量分布,对于火行为的强度和燃烧类型均有不同程度的影响。本文以北京市西山魏家村林场为研究区域,对风场进行模拟,进而计算地表火和树冠火的潜在火行为特征,为防火林带规划提供量化指标,对可燃物管理、扑火安全防范也有借鉴意义。

1 研究区域概况

北京市西山林场位于北京市近郊小西山,地跨海淀、石景山、门头沟 3 区,是以经营风景林为主的城市景观生态公益型国有林场,总面积为 5 949 hm²,森林覆盖率为 92.22%。西山林区是距北京市区最近的一处山林,与香山公园、卧佛寺、碧云寺、八大处等名胜古迹相邻,构成著名的西山风景旅游区。西山林场所处小西山属太行山系的低海拔石质山,山区平均海拔 200~400 m,最高峰克勒峪海拔 800 m,年降水量 660 mm,但近几年连续干旱,实际年降水量仅 400 mm 左右。小西山土层较薄,一般 30~50 cm,土壤中石砾含量多,立地条件较差,不利于造林和树木生长。小西山有维管束植物 90 科、286 属、517 种。自 1981 年以来,西山林场共发生森林火灾 200 多起,火灾成为威胁该地生态安全重要因素,本文以西山魏家村林场作为研究区域,区域面积为 701.2 hm²,对其可燃物特征和火行为特点进行研究。

2 材料与方法

2.1 样地调查、可燃物载量和热值

当地的植被类型乔木类主要包括:侧柏

(*Platyclusus orientalis*)、油松(*Pinus tabulaeformis*)、栓皮栎(*Quercus variabilis*)、刺槐(*Robinia pseudoacacia*),还有少量的山桃(*Amygdalus davidiana*)、黄栌(*Cotinus coggygia*)、桑树(*Morus alba*)、山杏(*Prunus armeniaca*)、元宝枫(*Acer truncatum*)、槲栎(*Quercus aliena*)、臭椿(*Ailanthus altissima*)、榆树(*Ulmus pumila*)、白蜡(*Fraxinus chinensis*)、蒙桑(*Morus mongolica*)、栎树(*Koelreuteria paniculata*)等。

灌木植被类型主要包括:荆条(*Vitex negundo* var. *heterophylla*)、孩儿拳头(*Grewia biloba* var. *parviflora*)、绣线菊(*Spiraea salicifolia*)、鼠李(*Rhamnus davurica*)、酸枣(*Ziziphus acidujuba*)、胡枝子(*Lespedeza bicolor*)、君迁子(*Diospyros lotus*)、河朔莢花(*Wikstroemia chamaedaphne*)、蛇葡萄(*Ampelopsis sinica*)等。

草本植被类型主要包括:荩草(*Arthraxon hispidus*)、北京隐子草(*Cleistogenes hancei*)、龙芽草(*Agrimonia eupatoria*)、紫花地丁(*Viola philippica*)、细叶苔草(*Carex stenophylla*)、铁杆蒿(*Artemisia sacrorum*)、野菊(*Flos chrysanthemi*)等。

根据森林清查数据及样地调查,将可燃物分为阔叶林、针叶林、混交林和疏林地 4 种可燃物类型,每一种类型设置 3 块 20 m × 20 m 样地,并用 GPS 标定。乔木主要测定胸径、树高、活枝枝下高、死枝枝下高,树种;灌木设置 5 m × 5 m 样方(每个标准地 1 个),调查灌木基径、灌木高、灌木种类,采用收割法,对全部样本称取鲜质量;草本采用 1 m × 1 m 样方(每个标准地 3 个),调查草本层盖度、草高、草本种类,并用收割法取样称取鲜质量;地表枯落物和半分解层用 20 cm × 20 cm 样方(每个标准地 3 个),主要测量枯落物和半腐层厚度,并取样称取鲜质量。

把取回样品放入烘箱内,在 105 ℃ 下连续烘干 24 h 至绝干质量,用电子天平称质量,计算出每个样方内不同种类可燃物含水率,进而计算出样方内灌木、草本、枯枝落叶层和半分解层可燃物的载量。

对于乔木可燃物载量的估算,采用乔木生物量的估算方法,国内外学者普遍接受相对生长模型 $W = a(D^2H)^b$ 估算生物量,根据当地典型乔木类型选择适当的生长模型(陈灵芝等,1984;1986;毕君等,1993;鲍显诚等,1984),基于其生长模型,对乔木的树叶、树枝和树干的生物量进行计算,进而计算得到各部分可燃物载量。

可燃物的热值与火烧强度密切相关,关于不同

植被热值的测定已有大量的研究,本文查阅相关文献(田晓瑞等 2002;徐永荣等 2004)基础上对不同可燃物类型的热值进行确定。

2.2 风速、风向的模拟

风速和风向对林火行为影响很大。统计 2000—2006 年北京地区 2 个气象站点(站点号:54416,54511)日值数据,计算得到最大平均风速的风向统计,根据风向玫瑰图,确定主风向为东北、西南方向,最大平均风速的平均值 $3.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

地形可以改变风速、风向,也可以产生涡流现象,地形和风场的共同作用会对火行为产生很大影响,用于天气预报的全球尺度和中尺度的风场模型并不能满足小尺度的火行为模拟的需要。其原因在于许多全球尺度的模型假设重力场与压力场存在平衡,然而在小尺度上由于惯性载荷在垂直方向对压力的影响并不能完全忽略,并且中尺度模型不能很好地解决地形的变化对风产生的影响。本文使用 wind_ninja 软件对风场进行模拟,建立风向和风速图层,然后再转换为栅格数据,在 ArcGIS 中进行火行为模拟。

一般认为,在裸地或林冠上的风廓线均呈对数规律变化,但是在单株树木和林分内风速随高度的变化则不呈对数规律。单株针叶树树冠内的风速廓线呈指数形式分布,在林分内的风速廓线可用风的减弱系数来表示(Zhu *et al.*, 2004)。关德新等(2000)根据风洞模型试验,分析了树冠结构参数疏透度 β 和透风系数 α 与附近的风速场特征,表明透风系数与疏透度之间符合幂函数关系。邓湘雯等(2002)通过试验确定防火林带疏透度 β 与透风系数之间有一定的相关性,关系式为: $\alpha = 1.09258\beta^{0.50847}$ 。

疏透度又称透光度,是表示林带疏密和透风程度的指标,可用林带纵断面透光孔隙总面积和林带纵断面垂直投影面积之比来表示,采用方格景框法、照相法和目测法测定。而疏透度的测量比透风系数方便,可用树木的测量数据计算得到,也可目测估计或用数字图像处理法,由照片精确测定。本文利用目测法估测林内疏透度,根据透风系数与疏透度之间的幂函数(邓湘雯等,2002)近似计算林内风速,进而计算地表火蔓延速度、火强度和火焰高度。

2.3 火行为的计算公式

2.3.1 蔓延速度 蔓延速度是指火头在单位时间内前进的距离,本文采用修正后王正非(1992a)的计算公式

$$R = R_0 K_s K_w K_\phi, \quad (1)$$

式中 R_0 是初始蔓延速度; K_s 是可燃物配置格局更正系数; K_w 是风力更正系数; K_ϕ 是地形坡度更正系数。

K_s 用来表征可燃物的易燃程度(化学特性)及是否有利于燃烧的配置格局(物理特性)的一个订正系数,它随地点和时间而变。对于某时、某地来说,整个燃烧范围和燃烧过程中, K_s 可以假定为常数,对于连续的林地类型, K_s 取值 1。

风速更正系数为

$$K_w = e^{0.1783V}, \quad (2)$$

地形更正系数为

$$K_\phi = e^{3.533(\text{tg}\phi)^{1.2}}, \quad (3)$$

式中 R_0 取决于细小可燃物的含水率,而细小可燃物的含水率又受气温、风速和空气湿度的影响。王正非(1992b)通过 100 余次野外试验,通过回归计算得出细小可燃物初始蔓延速度与日最高气温、中午平均风级、日最小湿度的回归方程:

$$R_0 = aT + bV + cH - D, \quad (4)$$

式中 T 为日最高气温; V 为中午平均风级; H 为日最小湿度(%); a, b, c, D 为常数,分别为 0.03, 0.05, 0.01, 0.3。统计 2000—2006 年北京地区气象指标,求得 $R_0 = 0.01113 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

2.3.2 火线强度 火线强度是指在单位时间内单位火线长度上向前推进发出的热量。一般火线强度的计算式采用白兰姆公式

$$I_1 = mcv, \quad (5)$$

式中 I_1 为火线强度, $\text{kW} \cdot \text{m}^{-1}$; m 为单位面积内的可燃物质量, $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$; c 为可燃物的平均发热量, $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$; v 为火线前进速度, $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

2.3.3 火焰高度计算 火焰高度指垂直于地面连续的火焰高度(王正非,1992a),可用下式表示:

$$h = \sqrt{a\left(\frac{I_1}{250}\right)}, \quad (6)$$

式中 h 为火焰高度, m ; I_1 为火线强度, $\text{kW} \cdot \text{m}^{-1}$; a 为可燃物类型常数,草原或连续型植被的 $a = 1$ 。

2.4 地理数据处理

在 ArcGIS 中将 1:10 000 地形图进行数字化,生成等值线,并转换成栅格数据,对其坡度进行提取,进一步得出地形更正系数(公式 3)。将 DEM 数据由 GRID 格式转换为 ASCII 格式,用 wind_ninja 软件在平均最大风速平均值 $3.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 和东南方向为主风向条件下,输入 DEM 数据,对风场进行模拟,计算出风速场,进一步计算出风速更正系数(公式 2),根据公式(1)计算出火蔓延速度场,进一步对火强度和火焰高度分布进行计算。

地表火和树冠火发生时可燃物消耗量的假设：地表火发生后，地表枯枝落叶层、半分解层、草本和灌木全部消耗完，地表有效可燃物的载量为上述各部分的总和。树冠火发生时按树叶、树枝消耗完计算。

3 结果与分析

3.1 可燃物垂直特征

森林可燃物是森林燃烧的物质基础，可燃物不

但有其一定的动态变化规律，而且也与环境条件密切相关。可燃物类型，可燃物载量，可燃物组成和结构，可燃物高度或厚度等对火行为都有深刻的影响。

研究区域内不同可燃物类型的载量有很大的不同(图 1)，地上部分可燃物总载量针叶林为 $81.93 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，阔叶林为 $57.46 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，混交林为 $107.01 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，疏林地为 $51.91 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

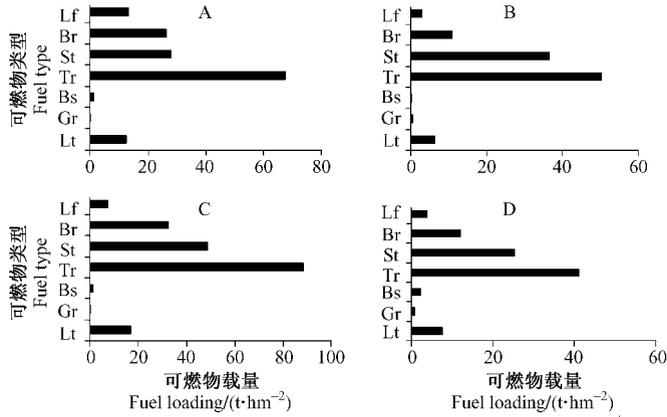


图 1 不同可燃物类型垂直分布

Fig. 1 Vertical distribution of different fuel types

A. 针叶林 Coniferous forest ; B. 阔叶林 Broadleaf forest ; C. 混交林 Mixed forest ; D. 疏林地 Sparse forest

Lt: 枯落物半分解层 Litter and duff ; Gr: 草本 Grass ; Bs: 灌木 Bush ; Tr: 整树 Tree ; St: 树干 Trunk ; Br: 树枝 Branch ; Lf: 树叶 Leaf.

细小可燃物是决定火险高低的主要因素，其中草、枯落物等的载量和分布是决定火灾初始蔓延速度的重要因素。树冠可燃物的载量是决定树冠火火强度和蔓延速度的重要因素。研究区域内，由于森林郁闭度高，林冠层在空间上呈连续分布，树冠火的危险性加大，有计划地对林中可燃物进行分割，如修建防火林带、防火公路等，加大可燃物的不连续性，将有效地降低树冠火和地表火的火烧面积。

可燃物的高度对于火烧类型从地表火向树冠火过渡起决定性作用，研究区域内灌木层和草本层的高度不但对地表火的火强度具有影响，也成为地表火向树冠火过渡的通道(表 1)，在进行防火林带管理和可燃物管理过程中，要根据当地的火行为特征，对枝下高、草本、灌木、枯落物等进行清理，将有效地减少地表火的火强度，降低火焰高度，使梯形可燃物的有效高度增加，减少树冠火发生的危险性。

表 1 不同类型可燃物平均高度或平均厚度

Tab. 1 Mean height or thickness of different fuel type

可燃物类型 Fuel type	针叶林 Coniferous forest	阔叶林 Broadleaf forest	混交林 Mixed forest	疏林地 Sparse forest
树高 Height of tree/m	6.60	5.25	6.63	5.80
枝下高 Height of crown base/m	2.30	2.00	2.00	2.80
灌木高度 Height of bush/cm	148.0	115.0	141.0	126.0
草高 Height of grass/cm	17.0	27.0	3.0	51.0
枯落物层厚度 Thickness of litter and duff/cm	2.7	2.5	3.4	2.5

3.2 火行为相关指标

影响火蔓延速度的主要因素为风速、地形条件，以及由前期气象条件决定的可燃物湿度。地形对火灾的发生发展有明显的影 响，不同的地形条件会构成不同的森林小气候，引起生态因子的重新分配，使可燃物数量、类型都发生变化，直接影响到林火的蔓

延和火强度。在文中设定的气象条件下，地表火的蔓延速度为 $0.01 \sim 0.22 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ，树冠火的蔓延速度为 $0.12 \sim 2.25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ，由于冠层外风速比林内风速明显偏大，使得在同一风速背景下林内地表火蔓延速度比树冠火蔓延速度显著降低。

火线强度是林火行为重要标志之一。森林燃烧

时,火强度变化幅度为相差极大。有些林火专家认为,当火强度超过 $4\,000\text{ kW}\cdot\text{m}^{-1}$ 时,林内所有生物都会烧死,只有火强度小于 $4\,000\text{ kW}\cdot\text{m}^{-1}$ 时,才有生态意义。森林火灾的火强度变化很大,一般将火强度分为:低强度 $750\text{ kW}\cdot\text{m}^{-1}$ 以下,中强度 $750\sim 3\,500\text{ kW}\cdot\text{m}^{-1}$,高强度 $3\,500\sim 4\,000\text{ kW}\cdot\text{m}^{-1}$ (舒立福等,2004)。地表火的火线强度为 $144\sim 6\,595\text{ kW}\cdot\text{m}^{-1}$,树冠火的火线强度为 $3\,214\sim 189\,002\text{ kW}\cdot\text{m}^{-1}$,由图2可以看出,在设定的气象背景林内地表火以中低强度为主,对林内生物影响不是很大,但树冠火的火强度以中高强度为主,这时不但扑救

难度加大,对林内生物的伤害也极大。因此,避免发生高强度的树冠火是减少火灾损失的重要措施。

地表火的火焰高度为 $0.37\sim 2.50\text{ m}$,在本文所设定的条件下,由于地表火、灌木等可燃物的存在,林内枝下高偏低,很容易由地表火引发树冠火。树冠火的火焰高度为 $1.75\sim 13.4\text{ m}$,大部分火焰高度小于 10 m (图3)。一旦发生树冠火,由于空中可燃物连续性高,火蔓延速度比地表火显著加快,火强度极高,扑救难度大。在进行防火公路和防火林带建设时,可以参考相关火行为参数,进行合理设计。

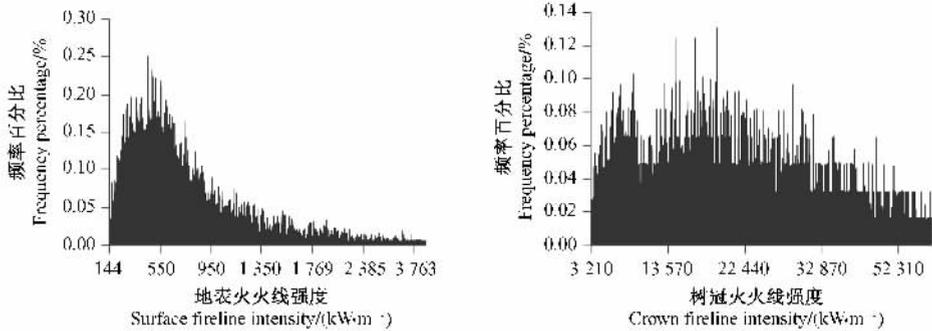


图2 火线强度频率

Fig. 2 Frequency of fireline intensity

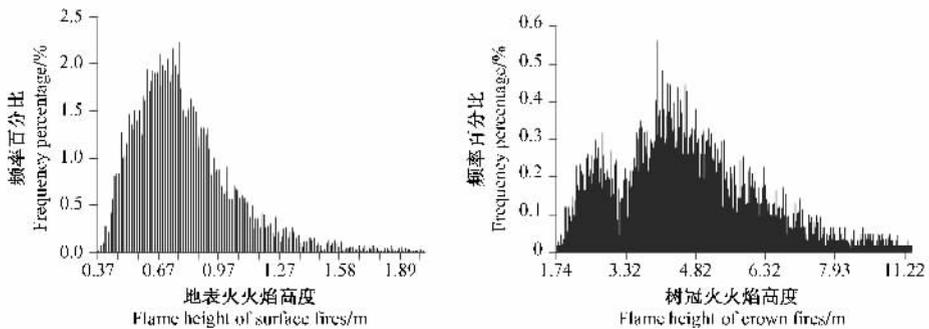


图3 火焰高度频率分布

Fig. 3 Frequency of flame height

山地条件下,陡坡会自然地改变林火行为,尤其是林火的蔓延速度。随着坡度的增加,火焰由垂直发展状态而转变成为水平发展状态,大大提高了辐射热能的传播。火焰上空形成对流柱,产生高温使林冠层和空中可燃物预热。浓烟为受热气体上升到冠层提供了良好的通道。树冠层到地面的距离较近。使地表火的火焰更容易达到树冠,也增加了地表火向树冠的热辐射强度,使树冠火形成的可能性增大;其次,上山火火强度显著增加,表现为火焰高度和辐射强度均比无坡度时大,这也是树冠火形成的有利条件(寇晓军等,1998)。

4 结论与讨论

可燃物分布和载量是决定林火行为的重要因素,本文根据历史气象数据对研究区域的主风向和最大平均风速进行确定,在此背景下对火行为进行模拟计算。分别地表火发生时的地表有效可燃物载量和树冠火有效可燃物载量进行计算,并在此基础上对地表火和树冠火的火行为进行了分析。

其中地表有效可燃物载量为草、枯落物和灌木层的总和,针叶林为 $14.09\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$,阔叶林为 $7.14\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$,混交林为 $18.38\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$,疏林地 10.75

$t \cdot \text{hm}^{-2}$ 。其树冠火的有效可燃物载量,针叶林为 $39.87 t \cdot \text{hm}^{-2}$,阔叶林为 $13.82 t \cdot \text{hm}^{-2}$,混交林为 $39.74 t \cdot \text{hm}^{-2}$,疏林地为 $15.9 t \cdot \text{hm}^{-2}$ 。枝下高:针叶林为 230.0 cm ,阔叶林为 200.0 cm ,混交林为 200.0 cm ,疏林地为 280.0 cm 。

地表火和树冠火的火行为特征包括,地表火的火蔓延速度为 $0.01 \sim 0.22 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,树冠火的火蔓延速度为 $0.12 \sim 2.25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,地表火的火线强度为 $144 \sim 6595 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-1}$,树冠火的火线强度为 $3214 \sim 189002 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-1}$,地表火的火焰高度为 $0.37 \sim 2.50 \text{ m}$,树冠火的火焰高度为 $1.75 \sim 13.4 \text{ m}$ 。

在防火林带规划时主要涉及的火行为指标的火焰高度,地表火的火焰高度决定的地表可燃物和枝下高清理的程度,在进行林带管理时,要将枝下高控制在火焰高度以下,本文估算的地表火的火焰高度为 $0.37 \sim 2.50 \text{ m}$ 之间,因此对于防火林带进行管时,枝下高要空控制在 2.50 m 以上,对林下的枯落物、草本和灌木进行有效的清理,通过这些措施将有效降低地表火的火强度和火焰高度,提高梯形可燃物的有效高度,降低树冠火发生的危险。

树冠火的火焰高度用于估算防火林带规划时的林带宽度,根据树冠火火焰高度分布图可以确定林带不同位置的有效宽度。不同的地段,由于坡度、风速、可燃物类型和载量的原因,防火林带的有效宽度有不同程度的降低。树冠火只在极端的天气情况下才会发生,本文计算的气象条件风速为最大平均风速,因此树冠火的火焰高度只是发生树冠火时极端天气条件下的火焰高度,在实际中很少发生。

本文根据历史气象数据,在对可燃物载量分布的基础上对森林火灾的火行为进行分析,在进行防火林带规划时,可以参考相关火行为指标进行合理规划。在不同的位置根据火强度和火焰高度设置相应的林带宽度,进行林带内可燃物管理时,可以结合地表火火焰高度,对林带内树木的枝下高进行管理,使得枝下高控制在火焰高度以上,减少树冠火发生的可能性。在进行可燃物管理、扑救森林火灾时,也可参考文中计算的火行为特征,使管理和扑救更加有效。

参 考 文 献

鲍显诚,陈灵芝,陈清朗,等.1984. 栓皮栎林的生物量. 植物生态学与地植物学丛刊 8(4):313-320.

毕君,黄则舟,王振亮.1993. 刺槐单株生物量动态研究. 河北林学院学报 8(4):278-282.

陈灵芝,陈清朗,鲍显诚,等.1986. 北京山区的侧柏林(*Platycladus orientalis*)及其生物量研究. 植物生态学与地植物学丛刊,10(1):17-25.

陈灵芝,任继凯,鲍显诚,等.1984. 北京西山(卧佛寺附近)人工油松林群落学特性及生物量的研究. 植物生态学与地植物学丛刊 8(3):173-181.

邓湘雯,文定元,张卫阳.2002. 山脊防火林带透风系数的确定. 中南林学院学报 22(2):62-65.

关德新,朱廷耀.2000. 树冠结构参数及附近风场特征的风洞模拟研究. 应用生态学报,11(2):202-204.

胡海清,王强.2005. 利用林分因子估测森林地表可燃物负荷量. 东北林业大学学报 33(6):17-18.

金森,李绪尧,李有祥.2000. 几种细小可燃物失水过程中含水率的变化规律. 东北林业大学学报 28(1):35-38.

寇晓军,林其钊,王清安.1998. 山地林火特征与扑救的若干问题. 火灾科学 7(2):35-42.

林其钊,余汇成,王清安,等.2000. 林火蔓延初期的增长模型与室内模拟实验研究. 燃烧科学与技术 6(3):218-221.

骆介禹,陈英海,张秀成,等.1992. 森林可燃物的燃烧性与化学组成. 东北林业大学学报 20(6):35-42.

单延龙,刘乃安,胡海清,等.2005. 凉水自然保护区主要可燃物类型凋落物层的含水率. 东北林业大学学报 33(5):41-43.

单延龙,舒立福,李长江.2004. 森林可燃物参数与林分特征关系. 自然灾害学报 13(6):70-75.

舒立福,寇晓军.2001. 森林特殊火行为格局的卫星遥感研究. 火灾科学 10(3):140-148.

舒立福,王明玉,田晓瑞,等.2004. 关于森林燃烧火行为特征参数的计算与表述. 林业科学 40(3):179-183.

覃先林,易浩若.2004. 基于 MODIS 数据的森林可燃物分类方法——以黑龙江省为实验区. 遥感技术与应用,19(4):236-239.

覃先林,张子辉,易浩若,等.2001. 一种预测森林可燃物含水率的方法. 火灾科学 10(3):159-162.

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):87-91.

田晓瑞,舒立福,阎海平,等.2002. 华北地区防火树种筛选. 火灾科学 11(1):43-48.

田晓瑞,舒立福.2000. 防火林带的应用与研究现状. 世界林业研究,13(1):20-26.

王明玉,舒立福,田晓瑞,等.2003a. 林火在空间的波动性及对全球变化的响应(I). 火灾科学 12(3):165-170.

王明玉,舒立福,田晓瑞,等.2003b. 林火在空间的波动性及对全球变化的响应(II). 火灾科学 12(3):170-175.

王希田,刘自强,陈大我,等.1993. 大兴安岭各种森林群落有效可燃物燃烧值的估算. 东北林业大学学报,21(3):84-88.

王贤祥,韩树庭,王刚,等.1995. 大兴安岭林火蔓延规律的野外试验研究. 林业科技 20(1):21-24.

王正非.1992a. 通用森林火险级系统. 自然灾害学报,1(3):41-44.

王正非.1992b. 通用森林火险系统构型. 林业科技 17(2):23-25.

徐永荣,冯宗炜,朱敬恩.2004. 武汉和天津园林植物叶片热值比较研究. 生态学杂志 23(6):11-14.

张家来,曾祥福,胡仁华,等.2002. 湖北主要森林可燃物类型及潜在火行为研究. 华中农业大学学报 21(6):550-554.

张景群,康永祥,吴宽让,等.2001. 秦岭森林潜在火行为数量分类及划分指标研究. 林业科学 37(1):101-106.

- 朱霁平,刘小平,林其钊,等. 1999. 变坡度情况下森林地表上坡火行为若干特征实验研究. 火灾科学, 8(2): 63 - 71.
- George L M P, Ashley D S, Lan F O. 1999. A GIS - supported model for the simulation of the spatial structure of wildland fire, Cass Basin, New Zealand. Journal of Applied Ecology, 36(4): 502 - 518.
- Mark A F. Design of regular landscape fuel treatment patterns for modifying fire growth and behavior. Forest Science, 47(2): 219 - 228.
- Tian X R, Douglas J M, Shu L F, *et al.* 2005. Fuel classification and mapping from satellite images. Journal of Forestry Research, 16(4): 311 - 316.
- Zhu J J, Li X F, Gonda Y, *et al.* 2004. Wind profiles in and over trees. Journal of Forestry Research, 15(4): 305 - 312.

(责任编辑 朱乾坤)