

DOI: 10.11929/j.swfu.201811023

引文格式: 闫想想, 王秋华, 李彩松, 等. 昆明重大森林火灾火烧迹地可燃物研究 [J]. 西南林业大学学报 (自然科学), 2019, 39(5): 157–164.

昆明重大森林火灾火烧迹地可燃物研究

闫想想¹ 王秋华¹ 李彩松¹ 李晓娜² 李世友¹ 韩永涛¹

(1. 西南林业大学土木工程学院/云南省森林灾害预警与控制重点实验室, 云南 昆明, 650233;

2. 西南林业大学地理与生态旅游学院, 云南 昆明, 650233)

摘要: 为评估火烧迹地内可能再次发生火灾的危险性以及潜在火行为等, 对西山区团结街道小妥吉村 10 多年后的重大森林火烧迹地进行外业调查, 通过设置样地, 测量样地内植被高度、盖度、冠幅等, 采集样地内可燃物, 包括地盘松幼、中林, 光叶石栎的地表可燃物, 紫茎泽兰的整个植株, 在实验室测定并计算可燃物的载量、热值、灰分含量和火强度等。结果表明: 地盘松幼林、中林, 光叶石栎, 紫茎泽兰的可燃物载量分别为 0.40、0.44、0.47、1.13 kg/m², 4 种林型的灰分含量分别为 2.64%、2.24%、6.52%、2.25%, 热值分别为 20 730、21 510、20 557、19 138 kJ/kg, 火强度分别 1 426、1 590、745、524 kW/m; 均属于中、低强度火, 在有火源的情况下很有可能再次发生重大森林火灾。

关键词: 地盘松; 光叶石栎; 紫茎泽兰; 重大森林火灾; 火烧迹地; 昆明

中图分类号: S762.2

文献标志码: A

文章编号: 2095–1914(2019)05–0157–08

Combustibles in Fires of Major Forest Fires in Kunming

Yan Xiangxiang¹, Wang Qiuhua¹, Li Caisong¹, Li Xiaona², Li Shiyu¹, Han Yongtao¹

(1. Yunnan Key Laboratory of Forest Disaster Warning and Control / College of Civil Engineering, Southwest Forestry University, Kunming Yunnan 650233, China; 2. College of Geography and Ecotourism, Kunming Yunnan 650233, China)

Abstract: In order to assess the risk of fires that may occur again in the burning area and the potential fire behavior, a field survey was conducted on the major forest fires in the village of Xiaotuo Village, Tuanjie Street, Xishan District. By setting the plot, measuring the vegetation height, coverage, crown width, etc. Collecting combustibles in the plot, including the surface combustibles of young and middle age of *Pinus yunnanensis* var. *pygmaea*, *Lithocarpus mairei*, and the whole plant of *Eupatorium adenophora*. The load, calorific value, ash content and fire intensity of combustibles were measured and calculated in the laboratory. Results show that the combustible content loads of the young and middle *Pinus yunnanensis* var. *pygmaea* forest, *Lithocarpus mairei* and *Eupatorium adenophora* are 0.40, 0.44, 0.47 kg/m² and 1.13 kg/m², respectively. The ash content of 4 forest types is 2.64%, 2.24%, 6.52% and 2.25%, respectively, with their corresponding calorific value as 20 730, 21 510, 20 557 kJ/kg and 19 138 kJ/kg, respectively. Also, fire intensity of 4 forest types is 1 426, 1 590, 745 kw/m and 524 kw/m, respectively, which should belong to the category of medium and low-intensity fires, and it is very likely that major forest fires will occur again in the case of fire.

收稿日期: 2018–11–21; 修回日期: 2019–04–08

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31660210) 资助。

第 1 作者: 闫想想 (1994—), 女, 硕士研究生。研究方向: 森林防火。Email: yxx238516618616@163.com。

通信作者: 王秋华 (1978—), 男, 博士, 教授。研究方向: 森林防火。Email: qhwang2010@swfu.edu.cn。

Key words: *Pinus yunnanensis* var. *pygmaea*; *Lithocarpus mairei*; *Eupatorium adenophorum*; major forest fire; fire sites; Kunming

森林火灾不断发生,使大片森林毁灭,导致人类生存的环境受到较大威胁^[1]。森林可燃物是森林燃烧的基础,是构成林火行为的主体,其结构和组成影响林火发生与蔓延林火强度及火烧后的损失^[2-7]。目前,研究火烧迹地可燃物的方法和领域多样化。基于 HJ-1B 卫星数据以及使用遥感数据预处理对火烧迹地可燃物调查研究^[8-9],在人工更新的情况下对北京西山林场 4 种林分类型下的火烧迹地植被更新^[10],在火灾后 6 a 左右,有不同强度火烧干扰^[11]、滇中安宁“3·29”重大森林火灾^[12]、森林湿地火灾^[13]和次生林火^[14]的可燃物的研究,在没有人干扰的条件下,有滇中安宁地区火烧迹地光叶石栎(*Lithocarpus mairei*)^[15]、芒萁(*Dicranopteris dichotoma*)、马尾松(*Pinus massoniana*)^[16]以及大兴安岭呼中林区可燃物的研究^[17]。在国外有关于美国俄勒冈州东北部^[18]、华达山脉^[19]、美国内华达山脉中部和南部^[20]、美国西部^[21]、加利福尼亚^[22]、美国斯托里^[23]、新西兰的南岛^[24]、美国暖干混合针叶^[25]、希腊克里特岛^[26]和墨西哥恰帕斯的拉恩鲁西加达^[27]等火烧迹地地下可燃物的研究。

前人的工作对于火烧迹地可燃物的研究大多是在人为干扰的条件下或者是火灾发生后年限时间短的情况下进行的,对于火烧迹地可燃物在 10 多 a 后变化的研究很少。本研究为滇中昆明安宁 2006 年“3·29”重大森林火灾后的火烧迹地,尽管火灾过火面积较大,但火灾过后的 10 多 a 里火烧迹地人为干扰很少,可燃物保留较完整。选择过火范围内的小妥吉村进行调查,对发生重大森林火灾 10 多 a 后火灾迹地地盘松(*Pinus yunnanensis* var. *pygmaea*)幼、中林的林下可燃物,光叶石栎、紫茎泽兰(*Eupatorium adenophorum*)

等可燃物进行调查,并分析可燃物特征,评估火烧迹地内可能再次发生火灾的危险性以及潜在火灾行为等,根据可燃物状况,判定再次发展为重大森林火灾的可能性,为火烧迹地管理、可燃物治理等方面提供参考,更好地贯彻“预防为主,积极消灭”的森林防火方针。

1 研究地概况

团结街道办事处小妥吉村位于云南省昆明市西山区西北部,全村面积 34.38 km²,地处东经 102°20′58″~102°36′54″,北纬 24°58′25″~25°12′51″,海拔高度 1 890~2 366 m,山势陡峭,相对高差约 460 m,属于半湿润季风气候,境内四季变化明显,夏无酷暑,冬少严寒,干湿季分明^[28]。年平均气温约为 14℃,年均降水量 800~1 200 mm,年降水量集中在 5—10 月(占全年降水量的 88%左右),11 月至翌年 4 月降水极少(约占全年降水量的 12%)^[29]。2006 年 3 月 29 日发生了重大森林火灾,从昆明安宁市蔓延到昆明西山区,过火面积约 1 333 hm²,火灾持续时间为 10 d^[30]。火势猛烈,快速蔓延,地下火、地表火、树冠火立体推进,2 次燃烧、火爆、矿石自燃等异常现象频频发生,在极短时间内形成了高强度的森林火灾^[31]。

2 研究方法

2.1 样地设置

2018 年 3 月 11 日、4 月 1 日到小妥吉村的 2006 年“3·29”重大森林火灾迹地进行取样调查(云南防火紧要期为 3—4 月份,此时的森林火险等级最高,调查最具代表性),调查样地特征见表 1。

表 1 火烧迹地样地特征

Table 1 The characteristics of forest plots in fire sites

样地	样方丛数	每丛的株数	植株高度/cm	盖度/%	样地数/个	海拔/m	坡度/(°)	地理位置
地盘松幼林	5~11	3~19	76~83	30~40	3	2 340	5	102°26′10″E, 25°3′26″N
地盘松中林	8~9	4~10	200~400	55~60	1	2 380	10	102°26′20″E, 25°3′29″N
光叶石栎	/	/	250~300	80~90	1	2 370	10	102°26′20″E, 25°3′29″N
紫茎泽兰	8~10	9~10	148~150	70~75	1	2 270	15	102°26′23″E, 25°3′28″N

地盘松幼林样地设置2个规格为5 m×10 m的样地,1个10 m×10 m的样地,在样地内按对角线的方式各设置3个1 m×1 m的样方;地盘松中林样地设置规格为10 m×10 m,在样地内以四角及中心的方式设置5个1 m×1 m的样方;光叶石栎样地设置规格为10 m×10 m,采用四角及中心的方式设置3个1 m×1 m的样方;紫茎泽兰样地设置规格为5 m×10 m,在样地内以对角线的方式设置3个1 m×1 m的样方。

2.2 可燃物调查

在设置的地盘松幼龄林、中龄林样地中,计算丛数,用钢卷尺测高度,用测树钢围尺测量其地径,然后将每个样方里的地表可燃物收集,称量,写上标签(标签包括样地、样方、树种、质量),共收集14个样方的样品(9个幼林样方,5个中林样方);在设置的光叶石栎样地中,收集样方内的地表可燃物,进行分样装袋、称量、标记,共5个样方的样品;在设置的紫茎泽兰样地中,计算丛数,选5丛计算其株数,测量其高度,计算盖度,收集枯死紫茎泽兰整个植株,称重,记上样方标签,共有9个样方的样品。

2.3 指标分析

2.3.1 绝对含水率

绝对含水率的公式为:

$$AMC = (W_H - W_D) / W_D \times 100\% \quad (1)$$

式中:AMC为绝对含水率(%), W_H 为可燃物的湿质量(取样时的样品质量,g); W_D 为可燃物的干质量(样品烘干后的绝干质量,g)。

2.3.2 载量

载量计算方法:

$$\text{载量} = \frac{\text{样方内可燃物绝干质量}}{\text{样方面积}} \quad (2)$$

通过跟绝对含水率的结合,可以对换成:

$$\text{载量} = \frac{\text{样方内可燃物质量}}{1 + \text{绝对含水率}} \times 100\% \quad (3)$$

将地盘松14个样方内收集到的可燃物,半分解的粗木质残体5个样方内收集到的可燃物,紫茎泽兰3个样方内收集到的可燃物依次用电子秤称出,计算各个出样方内载量,取平均值。

2.3.3 灰分含量

灰分含量的计算方法:

$$\text{灰分含量} = \frac{\text{灰分质量}}{\text{烘干样品粉末质量}} \times 100\% \quad (4)$$

采用干灰化法。地盘松幼林3个样地9个样方的样品,地盘松中林样地5个样方的样品,共14组灰化测定。半分解的粗木质残体15组、紫茎泽兰9组进行灰化测定。

2.3.4 热值

用XRY-1C微机氧弹式热量计,采用量热法测定热值。计算公式如下:

$$Q = K \frac{[(t - t_0) + \Delta t]}{m} \quad (5)$$

式中: Q 为预测可燃物的发热量(kJ/kg); K 为水当量(kJ/℃); t_0 为点燃前的温度(℃); t 为点燃后的温度(℃); Δt 为温度校正值(℃); m 为样品质量(g)。

将样品在电热鼓风干燥箱内烘干后,放入XRY-1C微机氧弹式热量计内安装好,各项实验步骤准备好后,启动电脑开始实验。注意内桶低于外桶温度0.5℃。期间观察是否正常点火,是否完全燃烧,如实验异常,需重做实验。

2.4 燃烧实验

在燃烧室内设置铁质燃烧床(长203 cm,宽127 cm,高34 cm),底部覆盖一层2 cm厚的石膏板,以减少热量损失。坡度设为10°,模拟近似无风状态下的燃烧。在燃烧床4个角设置铁质标杆(长200 cm)测火焰高度,以每个刻度5 cm标记出高度。凋落物上层和下层尽可能保持野外的状态,均匀铺在燃烧床内(厚度为10 cm),枯枝质量在1.5 kg左右,用钢卷尺测厚度。用秒表计时,记点着时间和熄灭时间。当火焰高度达到最大时,用手持红外测温SL-309(量程-40~999.9℃,精度±1℃)测火焰的温度。在距离火焰最高处,用SFR-III数字式辐射热计(热量范围:0~10 kW/m²,误差≤±2.5%)分别在距离最大火焰10、20、30、40、50、60、80、100、150、200 cm处的热辐射,同时用钢卷尺测量火焰长度。每个试样同时做3组试验,进行对比分析^[32]。

2.5 数据处理

用WPS 2015表格处理数据,通过计算得出数据的平均值、最大值、最小值和标准差等,列表比较分析。

3 结果与分析

3.1 样地和可燃物特征

经过设置样地和分析火烧迹地主要林分特征(表1)可知,地盘松幼林、中林和紫茎泽兰的

样方丛数分别为5~11、8~9丛和8~10丛,地盘松幼林、中林和紫茎泽兰每丛的株数分别为3~19、4~10株和9~10株,相比之下,紫茎泽兰最大,比较密集,这与其生长特性有关,生命力强、生长迅速、繁殖率高,属阳性偏阴植物,喜温喜湿耐旱耐贫瘠等,主要靠种子繁殖,能迅速形成单生优势^[33],多年生丛生型半灌木状杂草,根系发达,茎秆粗壮且直立^[34]。地盘松幼林、中林,光叶石栎和紫茎泽兰的植株高度分别为76~83、200~400、250~300 cm和148~150 cm,其中地盘松中林的高度最高,由于地盘松属暖性常绿针叶林,生长于海拔2 200~3 100 m地区,常在干燥瘠薄的阳坡形成高山矮林或灌丛^[35]。地盘松幼林、中林,光叶石栎和紫茎泽兰的盖度分别为30%~40%、55%~60%、80%~90%和70%~75%,其中光叶石栎的盖度最大,因为光叶石栎是云南特有树种,主要分布于滇中高原山地海拔1 200~2 500 m的向阳山坡,多散生于半湿润常绿阔叶林中,是阳性、早生的常绿灌木^[13]。

3.2 可燃物的理化特征

3.2.1 含水率和载量

可燃物含水率是森林火险预报中最主要的指标之一,是评价林火发生危险程度的最直接指标^[36],可燃物含水率影响着可燃物达到燃点的速度和可燃物释放的热量多少,影响到林火的发生、蔓延和强度,是进行森林火灾监测的重要因素^[37]。从图1可看出:地盘松幼林、中林、光叶石栎和紫茎泽兰可燃物含水量分别为13.35%、10.91%、11.96%和10.77%,4种可燃物的含水率相差不大,但都低于15%,由于4种可燃物均为阳坡生长,取样时间是3、4月份,正是昆明地区森林防火紧要期,风大、气温高且相对湿度低,所以含水率较低。地盘松幼林、中林,光叶石栎和紫茎泽兰的灰分含量分别为2.64%、2.24%、6.52%、2.25%,灰分含量也较低。说明10多a之后的火烧迹地非常危险,很有可能发生二次森林火灾。

可燃物载量决定森林火灾的大小,是估测潜在能量释放大小的重要参数,是燃烧的物质基础,显著影响着森林火灾的强度及蔓延,载量越大,火强度越大,产生的热量也越大^[11]。从图2可知:地盘松幼林、中林,光叶石栎和紫茎泽兰可燃物载量分别为0.40、0.44、0.47 kg/m²和1.13 kg/m²,

其中紫茎泽兰的载量与其他3种相差甚大,是因为地盘松和光叶石栎采集的样本仅为地表的粗木质残体,而紫茎泽兰采集的是所有地表以上可燃燃烧的部分,因为紫茎泽兰的燃烧是整个植株的燃烧,其他参数均是在相同条件下做的对比分析。相对地盘松来说,光叶石栎的载量较大,是因为光叶石栎的盖度较大,枝叶茂盛,掉落的枝叶也较多,且林内干燥,因此可燃物载量较大。4种可燃物的载量均超过0.40 kg/m²,一旦着火,再次发生大火的可能性较大。

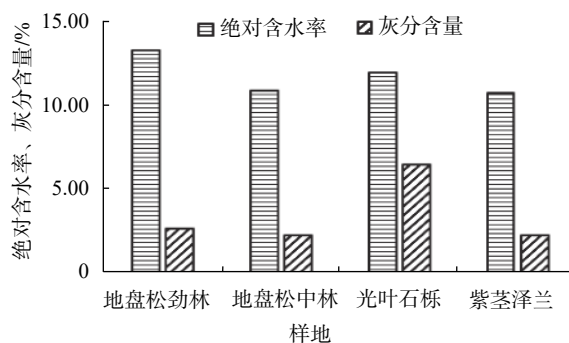


图1 火烧迹地可燃物含水率和灰分含量

Fig. 1 The moisture content and ash content of combustibles in fire sites

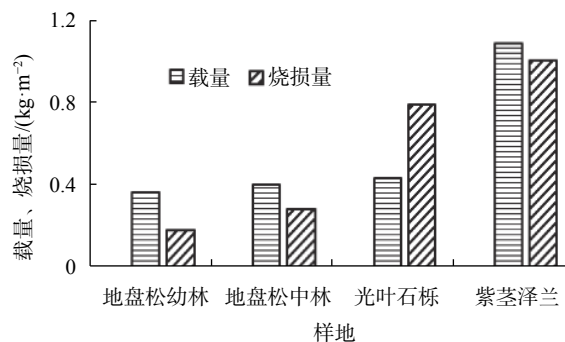


图2 火烧迹地可燃物载量和烧损量

Fig. 2 The load and amount of loss of combustibles in fire sites

3.2.2 热值

可燃物热值是单位可燃物干物质完全燃烧之后释放出来的能量值,是可燃物燃烧的重要特征,是可燃物有机化合物组成及其含量的综合反映,能有效评价植物化学能积累效率的高低,影响着火温度和火的蔓延过程,与火强度也有关,热值越大,火强度越大^[32]。从图3可知:地盘松幼林、中林,光叶石栎和紫茎泽兰热值分别为20 730、21 510、20 557 kJ/kg和19 138 kJ/kg,其中地盘松中林的热值最大,紫茎泽兰的热值最小,这与林分特征、生长特性有关:地盘松属耐

旱植物，在火后的山脊上连片出现，林内干燥，密度极大；主干不明显，贴伏地面，基部生多干，呈丛生状，叶易燃，常生长在干燥、瘠薄的阳坡，形成高山矮林或灌丛，林分易燃，但其本身适应能力强，在干燥、瘠薄的立地条件下也能更新。

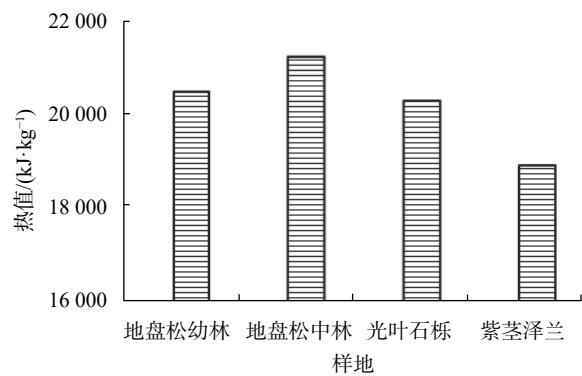


图 3 火烧迹地可燃物的热值
Fig. 3 Heat values of combustibles in fire sites

3.3 可燃物的燃烧特征

3.3.1 火强度和热辐射

火强度是森林可燃物燃烧时的热量释放速度，是林火行为的重要标志之一，在组织灭火时要根据火强度的大小来配备相应的扑火力量，一般将火强度分为：低强度 750 kW/m 以下，中强

度 750 ~ 3 500 kW/m，高强度 >3 500 kW/m^[38]。由表 2 可知，地盘松幼林、中林，光叶石栎和紫茎泽兰火强度分别为 1 426、1 590、745 kW/m 和 524 kW/m，其中，地盘松幼林和地盘松中林的火强度为中强度火，而光叶石栎为低强度火，接近中强度火，紫茎泽兰的火强度为低强度火。地盘松中林的火强度最大，燃烧时产生热量的速度最快，火灾危险性最大。其原因主要在于可燃物的热力学性质不同，特别是热值的差异。地盘松林地表可燃物具有很大的燃烧能量，一旦着火，很有可能释放出大量的热量，发展成中、高强度火灾，扑救非常困难，与地盘松林地表可燃物的燃烧火行为研究结果相似^[39]。

在森林火灾初期，热辐射是最主要的热量传递方式，它预热了火焰前方未被点燃的可燃物，使其很快达到着火温度，从而发生燃烧，同时也是地表火传播的重要途径^[39]。热辐射最大的是紫茎泽兰为 6.27 kW/m²，最小的是地盘松幼林为 2.98 kW/m²，说明发生火灾时，紫茎泽兰最容易预热前方未被点燃的可燃物，因为其为阳性密集丛生型，地上部分叶和杆枯死后也不会倒伏，仍然直立，是很好的过火通道，能够加速火灾的蔓延。

表 2 火烧迹地可燃物燃烧火行为参数

Table 2 Fire behavior and parameters of combustibles in fire sites

可燃物 类型	点燃时间/s	最大辐射热/ (kW·m ⁻²)	火焰最大高度/ cm	火强度 (kW·m ⁻¹)	蔓延速度/ (cm·min ⁻¹)	烧损率/%
地盘松幼林	1	2.98	41	1426	2.50	54.7
地盘松中林	1	5.25	64	1590	2.40	75.2
光叶石栎	65	4.85	75	745	0.75	74.1
紫茎泽兰	1	6.27	180	524	0.35	87.8

3.3.2 火焰特征

1) 引燃时间。地盘松幼林、中林，紫茎泽兰的引燃时间均为 1 s，而光叶石栎的引燃时间最长为 65 s，因为光叶石栎采取的是粗木质残体，其灰分含量大，难以点着。

2) 火焰维持时间及最大温度。由图 4 可知，地盘松幼林、中林，光叶石栎和紫茎泽兰的火焰维持时间分别为 262、2 123、1 158 s 和 415 s。由图 5 可知，地盘松幼林、中林，光叶石栎和紫茎

泽兰的火焰最大温度分别为 536、608、715 ℃ 和 719 ℃。其中，紫茎泽兰的火焰最高温度最大为 719 ℃，但与光叶石栎相差不大，但光叶石栎的火焰维持时间却是紫茎泽兰的 2 倍多，说明地盘松燃烧时产生的能量值最大，火灾危险性也越大。说明火烧 10 多 a 之后，可燃物的能量得到了蓄积，一旦发生火灾，很可能再次酿成大火。

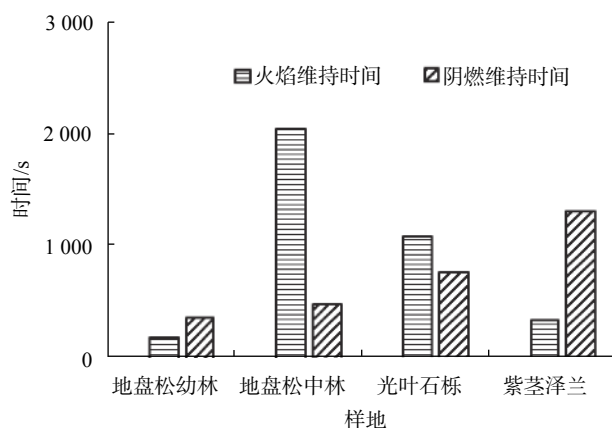


图4 火烧迹地可燃物的火焰维持时间和阴燃维持时间

Fig. 4 Flammable flame maintenance time and smolder maintenance time of combustibles in fire sites

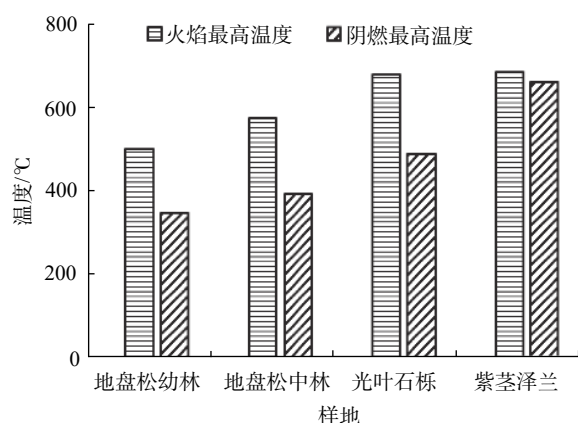


图5 火烧迹地可燃物火焰最高温度和阴燃最高温度

Fig. 5 Maximum flame temperature and maximum smolder temperature of combustibles in fire sites

3) 火焰高度。用来表示火势凶猛的程度。当火焰高度达到 0.5 m 时, 扑火人员可靠近这种火焰, 直接用工具将其扑灭, 当火焰高度达 1.5 m 时, 扑火人员能用风力灭火器和地面消防车喷水或化学灭火剂等方法将其扑灭, 当火焰高度大于 2.5 m 时, 任何地面灭火机械都将无效^[7]。由表 2 可知, 地盘松幼林、中林, 光叶石栎和紫茎泽兰的火焰高度分别为 0.41、0.64、0.75 m 和 1.8 m, 紫茎泽兰的火焰高度最高, 由于紫茎泽兰是阳性草本, 枯死后叶子和茎秆不会倒伏, 呈现垂直燃烧, 整个植株燃烧状态。总的来说, 林地内 4 种可燃物的火焰高度均小于 2 m, 扑火人员可以控制, 但在野外, 4 种可燃物一起燃烧时, 火焰高度有可能远远超过 2 m, 扑火人员将很难直接扑灭、很难控制。

3.3.3 阴燃特征

由图 4 可知, 地盘松幼林、中林、光叶石栎和紫茎泽兰的阴燃维持时间分别为 432、557、

836 s 和 1 380 s; 由图 5 可知, 地盘松幼林、中林、光叶石栎和紫茎泽兰的阴燃最高温度分别为 384、428、524 °C 和 695 °C, 阴燃时间和阴燃最高温度均是紫茎泽兰最大, 因为它是强阳性草本植物, 能够吸收更多的阳光, 积累了更多的能量, 同时, 紫茎泽兰枯死后不会倒伏, 呈直立状, 有利于通风, 燃烧更完全。阴燃进入稳定燃烧状态后无烟、气, 难以被发现, 在风的作用下可能引发二次燃烧, 是一种安全隐患^[40]。

4 结论与讨论

在云南的森林防火紧要期内, 对滇中安宁 2006 年“3·29”重大森林火灾的火烧迹地进行了外业调查, 并进行了相关实验测定、分析和计算, 结果显示: 一旦发生火灾, 火烧迹地上地盘松林的火势会比光叶石栎和紫茎泽兰林大很多, 蔓延速率也更快, 而紫茎泽兰发生 2 次火灾的可能性较大。地盘松幼林、中林, 光叶石栎, 紫茎泽兰的火强度分别为 1 426、1 590、745、524 kW/m², 紫茎泽兰属于低强度火, 光叶石栎接近中强度火, 地盘松幼林和中林都属于中强度火。原因在于载量、热值和灰分含量等的区别。地盘松幼林、中林, 光叶石栎, 紫茎泽兰的可燃物载量分别为 0.40、0.44、0.47 k、1.13 kg/m², 紫茎泽兰的可燃物载量较大, 载量越大, 火强度越大; 地盘松幼林、中林, 光叶石栎和紫茎泽兰的热值分别为 20 730、21 510、20 557、19 138 kJ/kg; 而光叶石栎单位面积热量为 9 464.4 kJ/m², 与王秋华等^[32]在相似地方光叶石栎灌木林死可燃物的单位面积热量为 98 512.51 kJ/m², 相差 10 倍左右, 原因在于其采集的是整个光叶石栎林内所有的死可燃物, 而本实验仅采集了光叶石栎与地盘松交界处的地表可燃物, 差异明显。地盘松幼林、中林, 光叶石栎和紫茎泽兰的灰分含量较低, 但热值很大, 说明可燃物干燥易燃, 在防火期有可能再次发生火灾, 一旦火灾发生, 火强度大, 难以控制, 使损失加重。

火烧迹地森林更新是生态恢复与重建的重要途径之一, 也是维持森林动态稳定和可持续发展的基础^[41], 火烧迹地上的地盘松林易燃, 林下枯枝落叶可燃物多, 呈丛生状, 当发生火灾时, 易从地表火蔓延到树冠, 继而引发树冠火, 形成高强度火。需要采取相应措施对火烧迹地可燃物进行清理, 如移除或者就地掩埋部分可燃物, 或允许当地老百姓在非防火期收集粗大可燃物, 降低

可燃物载量,减轻防火压力。结合可燃物燃烧性、地形地貌和气象特征进行火险区划,特别是划分重点火险监控区域,在防火期内制定日常巡护、重点看守路线,在防火紧要期,专业扑火队靠前部署,实现重点布防、快速出击。尽管人为干扰较少,但火烧迹地可燃物的自然状态每年都有改变,需要建立固定样地,进行多年连续跟踪调查,建议每隔5 a进行1次系统、全面的调查,制定出可行的可燃物处理预案。

致谢:西南林业大学消防工程2018届毕业生费昌称、徐文勇、房高义等一起参与了外业调查,云南生物多样性研究院的李伟副研究员帮忙修改了英文摘要,在此一并表示感谢!

[参 考 文 献]

- [1] 田昆. 火烧迹地土壤磷含量变化的研究 [J]. 西南林学院学报, 1997, 17(1): 21-25.
- [2] 李世友, 杨清, 张凯, 等. 从预防树冠火角度确定云南松的最低修枝高度 [J]. 江西农业大学学报, 2009, 31(1): 99-103.
- [3] 李景侠, 康永祥. 观赏植物学 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2005.
- [4] 刘仁林. 园林植物学 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2003.
- [5] 王蕾, 王志, 刘连友, 等. 城市园林植物生态功能及其评价与优化研究进展 [J]. 环境污染与防治, 2006, 28(1): 51-54.
- [6] 刘奕清, 王大来. 观赏植物 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2009: 68-70.
- [7] 骆介禹. 森林燃烧能量学 [M]. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 1992: 45-85.
- [8] 包玉龙, 张继权, 刘兴朋, 等. 基于 HJ-1B 卫星数据的草原火烧迹地提取及灾前可燃物特征分析 [J]. 灾害学, 2013, 28(1): 32-35.
- [9] 田晓瑞, 殷丽, 舒立福, 等. 2005—2007 年大兴安岭林火释放碳量 [J]. 应用生态学报, 2009, 20(12): 2877-2883.
- [10] 刘晓东, 张彦雷, 金玉林, 等. 北京西山林场火烧迹地植被更新及可燃物负荷量的研究 [J]. 林业资源管理, 2011(2): 37-41.
- [11] 武超, 罗夏琴, 刘春延, 等. 不同强度火干扰对兴安落叶松林可燃物载量的影响 [J]. 森林工程, 2013, 29(5): 24-28.
- [12] 肖慧娟, 岳彩荣, 袁华, 等. 滇中安宁“3·29”重大森林火灾火烧迹地的可燃物特征初步分析 [J]. 林业调查规划, 2013, 38(6): 72-76.
- [13] 陈立光, 田晓瑞, 苗庆林, 等. 森林湿地火烧 6 年后地表可燃物变化 [J]. 广东农业科学, 2013, 40(20): 161-163.
- [14] 肖功武, 汤维波, 吴聚胜, 等. 次生林火烧后细小可燃物数量分布格局的调查研究 [J]. 林业科技, 1984, 9(2): 19-21.
- [15] 王秋华, 赵凤君, 肖慧娟, 等. 滇中安宁地区火烧迹地光叶石栎灌木林的火行为模拟 [J]. 沈阳农业大学学报, 2015, 46(1): 105-109.
- [16] 张思玉, 张运生, 黎义明. 芒萁马尾松林下可燃物分布及其燃烧性 [J]. 森林防火, 2005(4): 17-18.
- [17] 刘志华, 常禹, 陈宏伟, 等. 大兴安岭呼中林区地表死可燃物载荷量空间格局 [J]. 应用生态学报, 2008, 19(3): 487-493.
- [18] McIver J D, Ottmar R. Fuel mass and stand structure 13 years after logging of a severely burned ponderosa Pine forest in northeastern Oregon, USA [J]. Forest Ecology and Management, 2018, 424: 505-518.
- [19] McGinnis T W, Keeley J E, Stephens S L, et al. Fuel buildup and potential fire behavior after stand-replacing fires, logging fire-killed trees and herbicide shrub removal in Sierra Nevada forests [J]. Forest Ecology and Management, 2010, 260(1): 22-35.
- [20] Keifer M, van Wagendonk J W, Buhler M. Long-term surface fuel accumulation in burned and unburned mixed-conifer forests of the central and southern sierra nevada, CA USA [J]. Fire Ecology, 2006, 2(1): 53-72.
- [21] Stephens S L, Moghaddas J J, Edminster C, et al. Fire treatment effects on vegetation structure, fuels, and potential fire severity in western US forests [J]. Ecological Applications, 2009, 19(2): 305-320.
- [22] Eskelson B N I, Monleon V J. Post-fire surface fuel dynamics in California forests across three burn severity classes [J]. International Journal of Wildland Fire, 2018, 27(2): 114.
- [23] Nemens D G, Varner J M, Kidd K R, et al. Do repeated wildfires promote restoration of oak woodlands in mixed-conifer landscapes? [J]. Forest Ecology and Management, 2018, 427: 143-151.
- [24] Ledgard N, Davis M. Restoration of mountain beech(*Nothofagus solandri* var. *cliffortioides*) forest after fire [J]. New Zealand Journal of ecology, 2004, 28(1): 125-135.
- [25] Springer J D, Huffman D W, Stoddard M T, et al. Plant community dynamics following hazardous fuel treat-

- ments and mega-wildfire in a warm-dry mixed-conifer forest of the USA [J]. *Forest Ecology and Management*, 2018, 429: 278–286.
- [26] Elhag M, Yilmaz N, Dumitrache A. Post-fire fuel and vegetation dynamics in an ungrazed phrygane community of Crete, Greece [J]. *Applied Ecology and Environmental Research*, 2018, 16(3): 3289–3303.
- [27] Barrios-Calderón R, Infante-Mata D, Flores-Garnica J G, et al. Woody fuel load in coastal wetlands of the La Encrucijada Biosphere Reserve, Chiapas, Mexico [J]. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 2018, 24(3): 339–357.
- [28] 龙廷位, 胡文萍. 安宁市近期难造林地造林技术初探 [J]. *林业调查规划*, 2003, 28(2): 98–101.
- [29] 牛元帅. 昆明市团结镇少数民族产业体验式开发研究: 以乡村生态旅游为例 [J]. *安徽农业科学*, 2008, 36(27): 11909–11910, 11927.
- [30] 李世友, 陈宏刚, 董琼, 等. 山沟阻火作用的初步研究 [J]. *江西农业大学学报*, 2009, 31(4): 695–698.
- [31] 韩焕金, 周用武. 安宁市“3·29”重大森林火灾迹地现状及管理对策 [J]. *安徽农业科学*, 2009, 37(34): 17196–17198.
- [32] 王秋华, 肖慧娟, 徐盛基, 等. 滇中安宁“3·29”重大森林火灾火烧迹地灌木林的燃烧性研究 [J]. *安全与环境学报*, 2016, 16(1): 138–141.
- [33] 王秋华, 肖慧娟, 徐盛基, 等. 滇中地区紫茎泽兰的燃烧性研究 [J]. *林业资源管理*, 2014(2): 131–133.
- [34] 郑永波, 张雨瑶, 廖周瑜, 等. 紫茎泽兰茎叶的燃烧性 [J]. *浙江农林大学学报*, 2014, 31(3): 450–456.
- [35] 王秋华, 徐伟恒, 李伟, 等. 滇中地区地盘松林地表凋落物的潜在能量研究 [J]. *林业调查规划*, 2014, 39(6): 16–20.
- [36] 王秋华, 肖慧娟, 全艳民, 等. 滇中地区地盘松林凋落物燃烧特征 [J]. *林业科技开发*, 2014, 28(6): 83–86.
- [37] 舒立福, 刘晓东. 森林防火学概论 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2016: 29–33.
- [38] 舒立福, 王明玉, 田晓瑞, 等. 关于森林燃烧火行为特征参数的计算与表述 [J]. *林业科学*, 2004, 40(3): 179–183.
- [39] 王秋华, 徐伟恒, 李世友, 等. 地盘松林地表可燃物的燃烧火行为 [J]. *消防科学与技术*, 2015, 34(3): 281–284.
- [40] 李世友, 陈文龙, 王鹏, 等. 华山松朽木阴燃特性的初步研究 [J]. *林业调查规划*, 2009, 34(1): 63–65.
- [41] 叶江霞, 胥辉, 吴明山. 地形对滇西北高山松火烧迹地更新的影响 [J]. *西南林业大学学报*, 2013, 33(4): 49–52.

(责任编辑 张 坤)

