

昆明地区 25 种木本植物的燃烧性及防火树种筛选

李世友, 罗文彪, 舒清态, 马长乐, 马爱丽, 张桥蓉

(西南林学院 保护生物学学院 云南省森林灾害预警与控制重点实验室, 云南 昆明 650224)

摘要: 用自行设计的燃烧试验装置对昆明地区 25 种木本植物的活枝叶进行了燃烧试验, 在测定和分析样品引燃时间、有焰燃烧阶段烟气温度变化和质量损失过程等基础上, 提出了植物的燃烧性参数, 即单位质量可燃物在有焰燃烧阶段产生的烟气温升峰面积与引燃时间之比。根据燃烧性参数值大小对 25 种植物的燃烧性进行了排序。结合这些植物的生物学、生态学、造林学特性及经济价值, 筛选出东魁杨梅 *Myrica rubra* var. *typica*, 荸荠杨梅 *Myrica rubra* var. *atropurpurea*, 油茶 *Camellia aleifera*, 野八角 *Illicium simonsii*, 大树杨梅 *Myrica esculenta*, 银荆 *Acacia dealbata*, 尼泊尔桉木 *Alnus nepalensis*, 马蹄荷 *Exbucklandia populnea* 等为昆明地区的防火树种, 东魁杨梅、荸荠杨梅和油茶是营林防火和营造防火林带的首选树种, 小白花杜鹃 *Rhododendron siderophyllum*, 大白花杜鹃 *Rhododendron decorum*, 米饭花 *Vaccinium sprengelii*, 云南含笑 *Michelia yunnanensis*, 岗桉 *Eurya groffii*, 厚皮香 *Ternstroemia gymnanthera* 等是难燃树种, 但不是理想的防火林带树种, 可以应用于营林防火中。图 2 表 2 参 25

关键词: 森林保护学; 木本植物; 燃烧性参数; 防火树种; 生物防火

中图分类号: S762.3

文献标志码: A

文章编号: 1000-5692(2009)03-0351-07

Combustibility of 25 woody plants for selection of fire-resistant tree species in Kunming area

LI Shi-you, LUO Wen-biao, SHU Qing-tai, MA Chang-le, MA Ai-li, ZHANG Qiao-rong

(Key Laboratory of Forest Disaster Warning and Control in Yunnan Province, Faculty of Conservation Biology, Southwest Forestry College, Kunming 650224, Yunnan, China)

Abstract: Combustion experiments of living branches and leaves of 25 woody plants in Kunming area were conducted with a combustion device designed by the authors. The combustion characteristic parameters, namely the ratio between area of smoke temperature net rising curves apices per unit mass fuel in flaming stage and ignition time, were put forward based on lighting time, smoke temperature and weight losing in flaming stage. The combustibility orders were put forward based on combustion characteristic parameters. According to the combustibility, biological, ecological, silvics and economic characters of 25 woody plants, *Myrica rubra* var. *typica*, *Myrica rubra* var. *atropurpurea*, *Camellia aleifera*, *Illicium simonsii*, *Myrica esculenta*, *Acacia dealbata*, *Alnus nepalensis* and *Exbucklandia populnea* were fire-resistant tree species. *Myrica rubra* var. *typica*, *Myrica rubra* var. *atropurpurea* and *Camellia aleifera* were the best choices as fire-prevention and fire-resistant tree species. *Rhododendron siderophyllum*, *Rhododendron decorum*, *Vaccinium sprengelii*, *Michelia yunnanensi*, *Eurya japonica* and *Ternstroemia gymnanthera* were hard combustible but not good fire-resistant tree species and could be applied as fire-prevention species for forestation. [Ch, 2 fig. 2 tab. 25 ref.]

Key words: forest protection; woody plant; combustion characteristic parameters; fire-resistant tree species; biological control of forest fire

收稿日期: 2008-06-13; 修回日期: 2008-12-30

基金项目: 云南省自然科学基金青年基金资助项目(2003C0021Q); 云南省昆明市科技局重点项目(06H114135)

作者简介: 李世友, 副教授, 硕士, 从事森林防火等研究。E-mail: lsy0703@163.com

昆明地处低纬度高原,特殊的地形地势、气候、森林类型及生产生活用火的多样性和复杂性,造成了昆明地区林火行为的复杂性和森林防火任务的艰巨性。在当前,昆明市森林防火面临着严峻的形势^[1]。虽然昆明地区树种资源丰富,具有开展生物防火的优越条件,但由于对昆明地区和西南林区森林树种燃烧性和防火树种筛选的研究相对较少,现有研究^[2-4]还不能满足生产的需要。随着集体林权制度改革的推进,昆明将会迎来又一个造林高潮,森林防火形势将更加严峻,因此,进行森林植物的燃烧性研究和防火树种筛选可以为集体林权制度改革后更加合理开展森林防火奠定理论基础。森林植物的燃烧性是进行森林火险区划、易燃林分辨识别与生态调控、营林防火、生物防火和计划烧除的基础。一些研究者根据植物的燃烧性等因子进行森林燃烧性等级^[5-6]和可燃物类型^[7-8]划分。由于在树木的各器官中,叶和小枝是最易燃的部分,大部分研究者主要根据叶和小枝的抗火性确定树木的抗火性。一些研究者通过叶和枝的直接燃烧试验研究树种燃烧性^[9-12],不少研究者采用间接方法研究树种燃烧性,即通过实验测定树种的叶、枝、皮的含水率、燃点、发热量、灰分含量、抽提物含量等来进行分级、分类和排序^[2,13-18],也有一些研究者用直接燃烧试验与实验测定法相结合研究树种燃烧性^[19-22]。森林燃烧虽然由一些枯枝落叶引燃,但燃烧的主体是活植物体^[23],森林火灾发生时,活可燃物主要起热沉作用或热源作用^[17]。昆明地区的春季防火期正值树木春季生长期,从昆明安宁市 2006 年“3·29”森林火灾火烧迹地可以看到,大部分受害林分的树冠着火,大部分树木的带叶活枝受害或被烧毁,所以,对候选树种的带叶活枝进行燃烧试验,进而筛选出防火树种,可以为合理搭配造林树种、林分燃烧性评价和开展营林防火、生物防火和计划烧除等提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 调查与采样

根据防火树种的要求,结合相关文献和火场植被调查法,确定了 23 个候选树种,以昆明地区分布面积大,受火灾危害严重,在针叶树种中耐火性较强的云南松 *Pinus yunnanensis* 和易燃的华山松 *Pinus armandii* 为燃烧性对比树种。通过火烧迹地和未烧林分调查、查阅文献及走访相关专家的形式完成树种的生物学、生态学、造林学特性及经济价值调查。由于在树木的各器官中,叶和小枝是最易燃的部分,故确定带叶小枝为燃烧试验对象。试验材料在防火戒严期取自昆明安宁市 2006 年“3·29”森林火灾火烧迹地周边林分、西南林学院树木园和江川县,采集地海拔约为 2 000 m,选择无其他林木遮荫的孤立木为采集木。对于适应性强,在阴、阳坡均能生长良好的树种,从阳坡上取样。对于耐荫树种,从阴坡空旷地上取样。为了使枝叶在实验前失水少,野外采样时要采集多株树木上 1 m 左右长的带叶枝条,用塑料袋密封后带回实验室,从枝顶向下剪取带叶的小枝为实验样品。

1.2 燃烧性试验方法

实验装置如图 1 所示。将带叶小枝自然堆放于燃烧试验盘中,各边不超出燃烧盘,燃烧盘上边缘与辐射源的距离为 5 cm。试验时,功率为 3 000 W 的辐射源电炉正面朝下放置于支架上,并将盛有样品的燃烧盘通过支架放置于天平上,然后在电炉上方,与燃烧盘同一高度处放置一个下部直径 50 cm,高 80 cm,上部出烟口直径 10 cm 的集烟罩,并在出烟口正中向下 3 cm 处放置一只热电偶,热电偶通过数据线、数据采集卡与计算机连接,温度数据通过 32 通道 100 K 高速数据采集卡进行采集并以 MDB 文件的形式存储到计算机硬盘。天平通过数据线与计算机,质量数据经专用软件处理后以 Word 文档的形式存储在计算机硬盘中。在电炉下方 2 cm 处放置一个由液化气燃

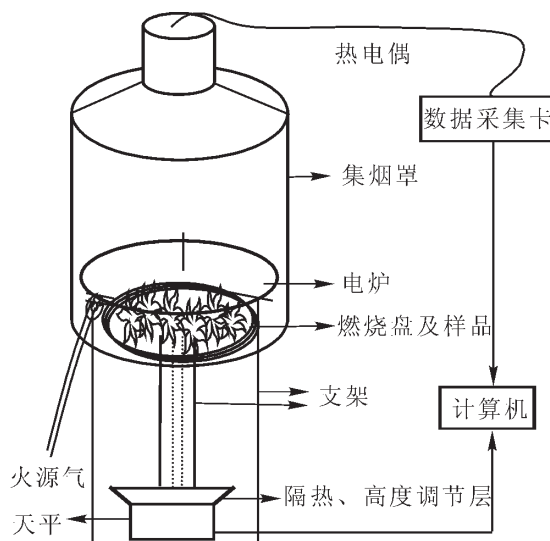


图 1 燃烧试验装置示意图

Figure 1 Scheme of experimental setup

烧提供的火源，火焰长度为 2.5 ~ 3.0 cm，当枝叶热解气达到一定浓度后就自行引燃。每次燃烧试验时电炉辐射源与数据采集同步启动，温度数据设置为 1 s 采集 1 次，质量数据设置为 2 s 采集 1 次。样品被引燃后，立即关闭电炉，待有焰燃烧熄灭一段时间后停止数据采集。

2 结果与分析

2.1 调查和试验结果

调查与试验结果见表 1 和图 2。由于试验的时间不同，实验室的室温略有差别，在绘制图 2 曲线时，各时刻的温度均减去了室温，即曲线上各点温度是试验过程中烟气净升高的温度。

由于岗枰燃烧试验样品采自阴坡沟谷空旷地，样品具有枝多、枝径中等而叶少、叶小和叶含水率高的特点，叶被点燃后，产生了一个较小的升温峰。在辐射源和叶燃烧释放出的热量先后作用下，燃烧盘中部的枝条被点燃，放出热量并将其他枝条点燃，由于叶、枝的有焰燃烧与枝的无焰燃烧同时存在，形成不稳定的燃烧，热量释放不稳定，表现为图 2 中烟气温度曲线的波动。云南松、马蹄荷和大

表 1 参试植物的生物学、生态学、造林学特性和经济价值

Table 1 Biological, ecological, silvics and economic values of 25 tree species

物 种	生长快慢	干扰后恢复能力	林地可燃物状况	生态适应性	大面积造林难易程度	经济价值
大白花杜鹃 <i>Rhododendron decorum</i>	较快	强	较少	强	难	低
滇润楠 <i>Machilus yunnanensis</i>	较快	强	较少	较强	易	低
茶树 <i>Camellia sinensis</i>	慢	强	较少	较强	易	高
大树杨梅 <i>Myrica esculenta</i>	较快	强	较少	强	易	较高
马蹄荷 <i>Exbucklandia populnea</i>	快	强	较少	较强	易	中等
滇青冈 <i>Cyclobalanopsis glaucoides</i>	较快	强	较少	较强	易	中等
光叶石栎 <i>Lithocarpus mairei</i>	快	强	较少	较强	易	中等
尼泊尔桤木 <i>Alnus nepalensis</i>	快	强	多	较强	易	中等
黑荆 <i>Acacia mearnsii</i>	快	极强	极少	强	易	中等
厚皮香 <i>Ternstroemia gymnanthera</i>	较快	较强	较少	较强	较易	中等
岗枰 <i>Eurya groffii</i>	慢	强	少	差	较易	低
米饭花 <i>Vaccinium sprengelii</i>	较快	强	较少	较强	易	低
南烛 <i>Lyonia ovalifoli</i>	较快	极强	较多	强	易	低
小白花杜鹃 <i>Rhododendron siderophyllum</i>	较快	强	较少	强	难	低
云南野山茶 <i>Camellia pitardii</i>	慢	强	少	差	易	高
银荆 <i>Acacia dealbata</i>	极快	极强	极少	极强	极易	中等
油茶 <i>Camellia oleifera</i>	较慢	强	较少	强	易	高
元江栲 <i>Castanopsis orthacantha</i>	快	强	少	较差	较易	中等
云南含笑 <i>Michelia yunnanensis</i>	较慢	强	较少	较强	较易	中等
荸荠杨梅 <i>Myrica rubra</i> var. <i>atropurpurea</i>	快	强	较少	强	易	高
东魁杨梅 <i>Myrica rubra</i> var. <i>typica</i>	快	强	较少	强	易	高
野八角 <i>Illicium simonsii</i>	快	强	少	较强	易	高
女贞 <i>Ligustrum lucidum</i>	较快	强	较少	较强	易	中等
华山松 <i>Pinus armandii</i>	快	差	多	较强	易	中等
云南松 <i>Pinus yunnanensis</i>	快	差	多	极强	易	中等

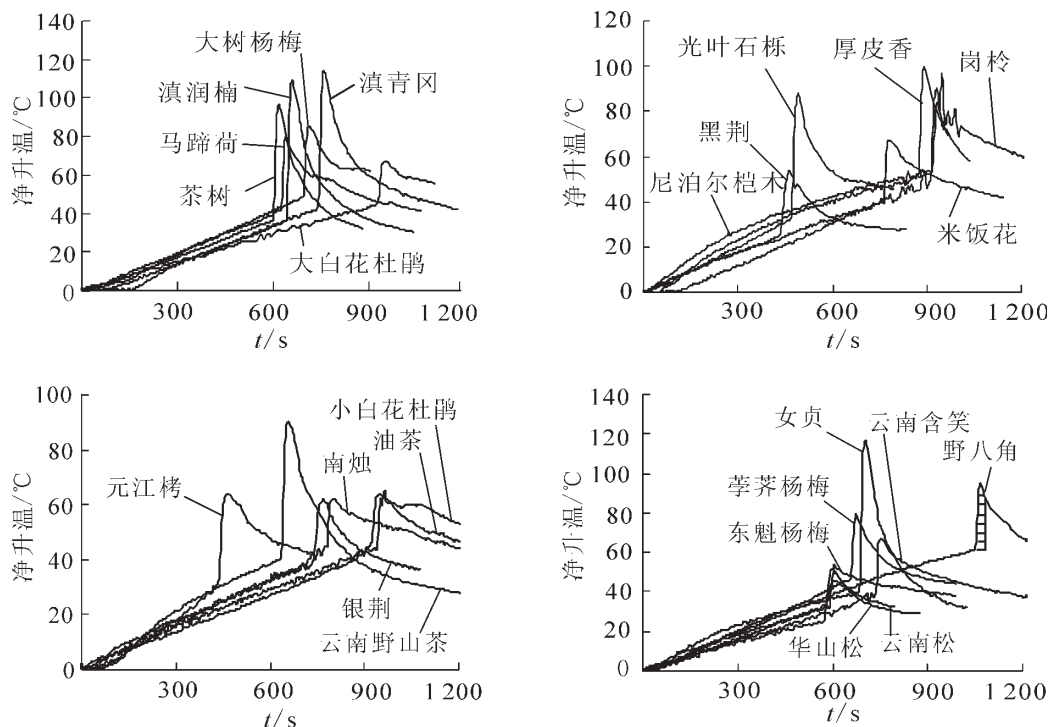


图 2 试验过程中烟气温度变化曲线

Figure 2 Smoke temperature curves in experimental course

白花杜鹃等枝条粗壮, 燃烧过程中枝条没有被点燃, 仅有叶进行稳定的有焰燃烧和极短暂的无焰燃烧, 具有被点后燃烧速率先急剧上升后迅速下降的特点, 所以图 2 中烟气温度曲线先上升后下降, 曲线比较平滑。滇润楠等大多数样品具有叶多、枝少和枝径较小的特点, 燃烧过程主要由叶的有焰燃烧所控制, 枝对烟气温度影响相对较小, 也形成比较平滑的烟气温度曲线。

2.2 燃烧性比较

可燃物的燃烧性是指可燃物是否容易着火以及着火后的难控程度。本研究应用文献[24-25]中的燃烧性参数 P 来综合评价不同树种的燃烧性, 即燃烧性参数 $P = 100 \times A / (m \times t_0)$ 。其中: m 为样品质量; t_0 为引燃时间, 即加热到有焰燃烧所需的时间; A 为有焰燃烧阶段烟气温升时间与温度(各时刻温度均减去引燃时的温度)的乘积之和($^{\circ}\text{C} \cdot \text{s}$), 即烟气温度变化曲线上有焰燃烧阶段烟气温升峰所对应的面积(如图 2 中野八角温升曲线下阴影部分的面积)。样品质量 m , 引燃时间 t_0 , 有焰燃烧阶段烟气温升峰面积 A , 燃烧性参数 P 和依据 P 值进行的 25 种植物的燃烧性排序如表 2 所示。

2.3 防火树种的筛选

良好的防火树种应具有抗火性强、生长快、林下易燃可燃物少、适应性广泛、外来干扰后恢复能力强、常绿、树冠结构紧密、大面积造林容易和经济价值高等特点。滇润楠、女贞、光叶石栎、滇青冈、元江栲、云南野山茶、茶树和黑荆等 8 种植物的枝叶燃烧性强于云南松, 这些易燃植物不宜作为防火树种种植在林带上。小白花杜鹃和大白花杜鹃虽然燃烧性差, 但由于大面积造林困难, 无法作为防火树种使用, 可以在森林抚育作业中尽可能保留这 2 种植物, 以降低林分的燃烧性。南烛枝叶难燃是由于其枝较粗, 叶较少, 在试验条件下放热量少, 但该植物在春季防火期落叶, 树冠稀疏, 林下干燥, 南烛林分防火作用差。米饭花、云南含笑、岗桧和厚皮香等 4 种植物的燃烧性较差, 但由于其经济价值不高, 难以作为防火树种大量推广应用, 但可用于营林防火。难燃的银荆、尼泊尔桤木和马蹄荷都具有生长快的特点: 银荆具有适应性强, 抗干扰能力强, 林下杂草少, 造林容易的优点; 尼泊尔桤木具有改良土壤的作用, 因其树皮厚而耐火性较强; 马蹄荷的树形优美。这 3 个树种是较好的防火树种。油茶、东魁杨梅、葶苈杨梅、大树杨梅和野八角等具有燃烧性差、种源丰富、造林容易和经济价值高的优点, 是优良的防火树种。特别是东魁杨梅、葶苈杨梅和油茶等 3 种植物在干旱土壤贫瘠的

表 2 样品的燃烧性参数与排序

Table 2 Combustion characteristic parameters and combustibility ordering of samples

物种	样品质量/g	引燃时间 t_0 /s	烟气净升温曲线峰面积 $A/(\text{℃} \cdot \text{s})$	燃烧性参数 $P/(\text{℃} \cdot \text{g}^{-1})$	燃烧性排序	物种	样品质量/g	引燃时间 t_0 /s	烟气净升温曲线峰面积 $A/(\text{℃} \cdot \text{s})$	燃烧性参数 $P/(\text{℃} \cdot \text{g}^{-1})$	燃烧性排序
大白花杜鹃	79.24	941	937.54	1.26	22	小白花杜鹃	77.12	929	826.26	1.15	25
滇润楠	51.93	650	2 602.49	7.71	1	云南野山茶	51.61	640	1 636.30	4.95	6
茶树	70.45	606	1 962.76	4.60	7	银荆	75.83	743	1 075.63	1.91	19
大树杨梅	72.53	715	1 403.58	2.71	12	油茶	72.72	948	859.81	1.25	23
马蹄荷	53.52	631	870.74	2.56	10	元江栲	72.48	444	1 639.26	5.09	5
滇青冈	70.26	746	2 769.18	5.28	4	云南含笑	80.33	738	1 147.68	1.94	18
光叶石栎	78.82	474	2 197.26	5.88	3	荸荠杨梅	71.73	661	1 191.65	2.51	14
尼泊尔桉木	50.70	921	995.95	2.13	16	东魁杨梅	75.01	599	876.81	1.95	17
黑荆	79.82	448	1 287.41	3.60	9	野八角	77.28	1 056	1 108.29	1.36	21
厚皮香	52.68	879	1 202.08	2.60	13	女贞	50.79	692	2 136.89	6.08	2
岗桉	70.56	916	1 498.64	2.32	15	华山松	50.58	565	1 117.55	3.91	8
米饭花	76.23	770	943.30	1.61	20	云南松	50.02	568	783.64	2.76	11
南烛	73.32	787	697.95	1.21	24						

云南松和地盘松林下能正常生长、结实，在安宁市青龙镇关山场自然村、昆明市野生动物园附近有成功种植的例子，果实的高经济价值驱使林农自觉维护林带，林下杂草少，林分的燃烧性差，所以，这 3 种植物是营林防火和营造防火林带的首选树种。

3 结论与讨论

通过燃烧性试验，25 种植物的燃烧性由弱到强的顺序为小白花杜鹃、南烛、油茶、大白花杜鹃、野八角、米饭花、银荆、云南含笑、东魁杨梅、尼泊尔桉木、岗桉、荸荠杨梅、马蹄荷、厚皮香、大树杨梅、云南松、黑荆、华山松、茶树、云南野山茶、元江栲、滇青冈、光叶石栎、女贞和滇润楠。根据植物的燃烧性和生物学、生态学、造林学特性及经济价值，筛选出东魁杨梅、荸荠杨梅、油茶、野八角、大树杨梅、银荆、尼泊尔桉木和马蹄荷等为昆明地区的防火树种，东魁杨梅、荸荠杨梅和油茶是营造防火林带的首选树种，小白花杜鹃、大白花杜鹃、米饭花、云南含笑、岗桉和厚皮香等是难燃树种但不是理想的防火树种，可应用于营林防火。

从昆明安宁市 2006 年“3·29”森林火灾等火烧迹地可以看到，一些阴坡上的阔叶林分过火后几乎所有树冠均被烧毁。这表明，在高强度森林火灾条件下，树种间的燃烧性差异不大，防火树种的防火性是有限的。昆明的森林防火期长达半年，在这样的重点火险区，在山脊上营造防火林带具有成本高、周期长和阻火效果有限等不足，这可能是虽然昆明为云南和全国的森林火灾多发区、重灾区和重点火险区，森林的保护价值大，树种资源丰富，但防火林带建设相对较少的原因。而大量开设生土隔离带又会造成水土流失，破坏森林景观，维护成本高。所以，开展生物防火可以选择在山沟、阴坡等火灾相对较难发生的地段，即通过在山沟中上部和阴坡种植难燃植物，伐除易燃植物等措施，降低这些地段林分的燃烧性，使之成为阻火林，以阻止林火沿山腰横向蔓延，这样既可以达到生物防火的功

参考文献：

- [1] 李世友, 袁俊杰. 昆明市森林防火面临的严峻形势及对策[J]. 林业调查规划, 2006, 31 (6): 93 - 95.
- LI Shiyu, YUAN Junjie. The challenge to forest fire prevention in Kunming City and the countermeasures[J]. *For Invent Plann*, 2006, 31 (6): 93 - 95.

- [2] 王革, 柯玉鹏. 昆明地区防火林带设计树种选择[J]. 林业调查规划, 2006, **31** (1): 109 – 112.
WANG Ge, KE Yupeng. Tree species selection for firebreak forest mantle design in Kunming area [J]. *For Invent Plann*, 2006, **31** (1): 109 – 112.
- [3] TIAN Xiaorui, SHU Lifu, HE Qingtang. Selection of fire-resistant tree species for southwestern China [J]. *For Stu China*, 2001, **3** (2): 32 – 38.
- [4] 李世友, 王秋华, 张尚书, 等. 滇东北中高海拔地区防火树种筛选[J]. 西南林学院学报, 2006, **26** (3): 55 – 58.
LI Shiyu, WANG Qiuhua, ZHANG Shangshu, *et al.* Selection of fire resistant tree species for the middle-high altitude areas in northeastern part of Yunnan Province [J]. *J Southwest For Coll*, 2006, **26** (3): 55 – 58.
- [5] 牛树奎, 崔国发, 雷鸣, 等. 北京喇叭沟门林区森林燃烧性及防火区研究[J]. 北京林业大学学报, 2000, **22** (4): 109 – 112.
NIU Shukui, CUI Guofa, LEI Ming, *et al.* Study on the forest combustibility and the fire districts in Labagoumen forest region [J]. *J Beijing For Univ*, 2000, **22** (4): 109 – 112.
- [6] 鲁绍伟, 余新晓, 刘凤芹, 等. 北京八达岭林场森林燃烧性及防火措施研究[J]. 北京林业大学学报, 2006, **28** (3): 109 – 114.
LU Shaowei, YU Xingxiao, LIU Fengqin, *et al.* Forest fuel combustibility and methods for fire prevention at the Badaling Forestry Center, Beijing [J]. *J Beijing For Univ*, 2006, **28** (3): 109 – 114.
- [7] 顾省亚, 赵升平, 杨么明, 等. 湖北省森林可燃物类型区划[J]. 湖北林业科技, 1999 (1): 22 – 24.
GU Shengya, ZHAO Shengping, YANG Meming, *et al.* Division of forest fuel types in Hubei province [J]. *J Hubei For Sci Technol*, 1993 (1): 22 – 24.
- [8] 张家来, 曾祥福, 胡仁华, 等. 湖北主要森林可燃物类型及潜在火行为[J]. 华中农业大学学报, 2002, **21** (6): 550 – 554.
ZHANG Jialai, ZENG Xiangfu, HU Renhua, *et al.* Study on the type of forest fuel and the latent fire behavior in Hubei Province [J]. *J Huazhong Agric Univ*, 2002, **21** (6): 550 – 554.
- [9] 吴道圣, 张新民, 蒋明田. 生物防火适宜树种的综合评定[J]. 林业科技开发, 2001, **15** (1): 17 – 19.
WU Daosheng, ZHANG Xingmin, JIANG Mingtian. Comprehensive evaluating of biological fire-prevention tree species [J]. *China For Sci Technol*, 2001, **15** (1): 17 – 19.
- [10] 李振问, 阮传成, 李春林. 火力楠防火性的初步研究[J]. 福建林学院学报, 1991, **11** (4): 369 – 373.
LI Zhenwen, RUAN Chuancheng, LI Chunlin. A preliminary study on the fire-prevention of Homnan [J]. *J Fujian Coll For*, 1991, **11** (4): 369 – 373.
- [11] 朱忠保, 刘云国. 南方主要山脊树种燃烧物理学特性的研究[J]. 中南林学院学报, 1993, **13** (1): 69 – 73.
ZHU Zhongbao, LIU Yunguo. Physical burning characteristics of major trees in southern China [J]. *J Central South For Univ*, 1993, **13** (1): 69 – 73.
- [12] 邵占杰, 林其钊, 路长, 等. 防火树种阻火特性的实验研究[J]. 火灾科学, 2002, **11** (4): 222 – 227.
SHAO Zhanjie, LIN Qizhao, LU Chang, *et al.* Experimental study on the characteristics of fire-resistant tree species [J]. *Fire Saf Sci*, 2002, **11** (4): 222 – 227.
- [13] 李世友, 王秋华, 李本飞, 等. 滇中 10 种木本植物鲜叶枝易燃性比较[J]. 西南林学院学报, 2006, **26** (1): 56 – 58.
LI Shiyu, WANG Qiuhua, LI Benfei, *et al.* Comparative study on flammability of fresh leaves and Living branches of 10 tree species in central Yunnan Province [J]. *J Southwest For Coll*, 2006, **26** (1): 56 – 58.
- [14] 张家来, 曾祥福, 刘学全, 等. 湖北森林防火树种选择的研究[J]. 华中农业大学学报, 2000, **19** (1): 84 – 90.
ZHANG Jialai, ZENG Xiangfu, LIU Xuequan, *et al.* Study on the selection of fireproof trees in Hubei Province [J]. *J Huazhong Agric Univ*, 2000, **19** (1): 84 – 90.
- [15] 舒立福, 田晓瑞, 李红, 等. 我国亚热带若干树种的抗火性研究[J]. 火灾科学, 2000, **9** (2): 1 – 7.
SHU Lifu, TIAN Xiaorui, LI Hong, *et al.* Studies on fire resistance forest species [J]. *Fire Saf Sci*, 2000, **9** (2): 1 – 7.
- [16] DIMITRAKOPOULOS A P, PANOV P I. Pyric properties of some dominant Mediterranean vegetation species [J]. *Int J Wildland Fire*, 2001, **10**: 23 – 27.
- [17] 马丽华, 李兆山. 大兴安岭 6 种活森林可燃物含水率的测试与研究[J]. 吉林林学院学报, 1998, **14** (1): 21 – 23.
MA Lihua, LI Zhaoshan. On the six forest active combustible plants moisture model in Daxingan Mountains [J]. *J Jilin*

- For Univ*, 1998, **14** (1): 21 – 23.
- [18] 李世友, 李小宁, 李生红, 等. 3 种针叶树种树皮的阻燃性研究[J]. 浙江林学院学报, 2007, **24** (2): 192 – 197.
LI Shiyu, LI Xiaoning, LI Shenghong, *et al.* Flame retardancy of wood bark from *Keteleeria evelyniana*, *Pinus yunnanensis* and *Pinus armandii* in Yunnan Province [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2007, **24** (2): 192 – 197.
- [19] 高国平, 迟功德, 周绍林, 等. 辽宁省主要造林树种抗火性能测定及其抗火树种的筛选[J]. 沈阳农业大学学报, 1995, **26** (2): 177 – 182.
GAO Guoping, CHI Gongde, ZHOU Shaolin, *et al.* Studies on fire-resistant properties and selection of fire-resistant afforesting tree species in Liaoning Province [J]. *J Shenyang Agric Univ*, 1995, **26** (2): 177 – 182.
- [20] 陈存及, 何宗明, 陈东华, 等. 37 种针阔树种抗火性能及其综合评价的研究[J]. 林业科学, 1995, **31** (2): 135 – 143.
CHEN Cunji, HE Zongming, CHEN Donghua, *et al.* Studies on the fire-resistance of 37 species of coniferous and broadleaf trees and it's appraisal [J]. *Sci Silv Sin*, 1995, **31** (2): 135 – 143.
- [21] 徐六一, 罗宁, 刘桂华, 等. 安徽省防火树种的选择及评价研究[J]. 安徽农业大学学报, 2005, **32** (3): 349 – 353.
XU Liuyi, LUO Ning, LIU Guihua, *et al.* Selection and evaluation of fire-resistant tree species in Anhui Province[J]. *J Anhui Agric Univ*, 2005, **32** (3): 349 – 353.
- [22] 宋春涛, 汤访评. 防火林带树种筛选研究[J]. 江苏林业科技, 2007, **34** (3): 1 – 4.
SONG Chuntao, TANG Fangping. Selection of fire resistant tree species [J]. *J Jiangsu For Sci Technol*, 2007, **34** (3): 1 – 4.
- [23] 姚树人, 文定元. 森林消防管理学[M]. 北京: 中国林业出版社, 2002.
- [24] 李世友, 马长乐, 罗文彪, 等. 昆明地区 35 种森林木本植物的燃烧性排序与分类[J]. 生态学杂志, 2008, **27** (6): 867 – 873.
LI Shiyu, MA Changle, LUO Wenbiao, *et al.* Combustibility ordering and sorting of 35 woody plants in Kunming area [J]. *Chin J Ecol*, 2008, **27** (6): 867 – 873.
- [25] 李世友, 马长乐, 袁俊杰, 等. 昆明地区 4 种外来植物对火的生态适应对策[J]. 江西农业大学学报, 2008, **30** (2): 268 – 274.
LI Shiyu, MA Changle, YUAN Junjie, *et al.* A study on ecological adaptability strategies to wildland fire of 4 exotic species in Kunming area [J]. *Acta Agric Univ Jiangxi*, 2008, **30** (2): 268 – 274.