

文章编号:1001—7380(2022)05—0001—05

# 彩色树种抗火性测定

徐明,郑华英,李沛峰

(江苏省林业科学研究院,江苏 南京 211153)

**摘要:**选取木荷、红楠、北美枫香、红果冬青等12种彩色树种,测定叶片的含水率、抽提物含量、抽提后余物发热量、着火点以及枝条的含水率、残炭生成率、发热量、残炭发热量、着火点等指标;以鲜叶中乙醚抽提物燃烧释放出来的热量与水分蒸发所消耗的热量之差作为叶易燃性综合指标,并以鲜枝有焰燃烧释放出来的热量作为枝易燃性综合指标,得出12个彩色树种的易燃性顺序为红果冬青>茶树>油樟>北美枫香>红楠>桂花>油茶>红叶石楠>杨梅>红花深山含笑>木荷>檫树。对可燃性指标较低的檫树、木荷、红叶石楠、红花深山含笑和杨梅等5树种的枯枝叶分别进行火烧强度测定,其中檫树、木荷、红叶石楠3树种的火烧强度最低,抗火烧效果好。

**关键词:**彩色树种;含水率;着火点;生物防火;抗火效果

**中图分类号:**S762.3<sup>+</sup>4 **文献标志码:**A **doi:**10.3969/j.issn.1001-7380.2022.05.001

## Comparative study on flammability of fresh leaves and living branches of 12 color woody species

Xu Ming, Zheng Huaying, Li Peifeng

(Jiangsu Academy of Forestry, Nanjing 211153, China)

**Abstract:** The flammability of fresh leaves of 12 color woody species (*Schima superba*, *Machilus thunbergii*, *Liquidambar styraciflua*, *Ilex purpurea*, *Cinnamomum longipaniculatum*, *Myrica rubra*, *Osmanthus fragrans*, *Camellia oleifera*, *C. sinensis*, *Photinia × fraseri*, *Michelia maudiae* and *Sassafras tsumu*) was evaluated by means of comparing the differences between the heat released from the burning of fresh leaf extracts and consumed by moisture evaporation from the same extracts. The flammability of their living branches was also evaluated by comparing their heat released in the process of flaming combustion. It was showed that their flammability was ranked, from high to low, as *I. purpurea*, *C. sinensis*, *C. longipaniculatum*, *L. styraciflua*, *M. thunbergii*, *O. fragrans*, *C. oleifera*, *P. × fraseri*, *M. rubra*, *M. maudiae*, *S. superba*, and *S. tsumu*. With the latter 5 species to further compare the fire intensity in dry sample burning, we got their fire suppression order, from strong to weak, as *S. tsumu*, *S. superba*, *P. × fraseri*, *M. rubra*, and *M. maudiae*, that was, for fire suppression, *S. tsumu* was regarded as preferable to *S. superba*.

**Key words:** Color woody species; Moisture content; Ignition point; Biological fire control; Fire suppression

近年来,随着林业生态建设不断发展,森林资源和蓄积量不断增加,森林旅游业蓬勃发展,吸引了越来越多游客,因此,森林防火工作愈发重要。江苏苏南丘陵山区森林面积较大,名胜古迹众多,人为活动频繁,寺庙道观香火旺盛,森林火灾潜在

隐患巨大,森林防火面临形势严峻,在全面做好森林防火工作的同时,构建生物防火林带具有十分重要的意义。江苏苏南丘陵山区林相改造配置了许多彩色树种,充分发挥彩色树种景观功能和生物防火潜能,构建彩色树种生物防火林带可有效阻减森

收稿日期:2022-07-19;修回日期:2022-08-30

基金项目:江苏省重点研发计划(社会发展)项目“苏南丘陵山区新型彩色树种生物防火林带构建技术与示范”(BE2019772)

作者简介:徐明(1982-),男,江苏苏州人,副研究员,博士。研究方向:林业资源保护与有害生物的防治。E-mail:xuming2009@126.com

林火灾的发生和发展,对于实现江苏省丘陵山区森林树种“珍贵化、彩色化、效益化”,保护森林生态环境,筑牢生态防火屏障,促进美化丘陵山区具有重要意义。

森林可燃物含水率是影响林火发生发展的重要因素,其大小决定了森林燃烧的难易程度<sup>[1]</sup>。目前,美国、加拿大、澳大利亚等国均研制出了可燃物含水率模型<sup>[2-3]</sup>。木本植物叶片发热量的研究可以为科学评估其火灾危险性提供基础数据<sup>[4-5]</sup>。1970年,Anderson对植物的易燃性进行了研究,最早提出植物易燃性定义<sup>[6]</sup>。我国对不同树种的理化性状指标、燃烧性指标、抗火性指标、生物学特性、生态学特性综合评价树种的易燃难燃和抗火程度等抗火性能的研究较多<sup>[7-18]</sup>;彩色生物防火林带树种树叶水分的蒸发需要消耗热量,对着火及火的蔓延具有抑制作用,抽提物具有燃点低、发热量高的特点,燃烧释放出来的热量对相邻可燃物的预热、热分解具有积极作用,对树枝叶的燃烧放热机理等研究较少<sup>[19-22]</sup>。本文在试验区选用树叶中乙醚抽提物燃烧释放出来的热量与水分蒸发所消耗的热量之差作为叶易燃性的评判指标,选用树枝净释放热量中有焰燃烧阶段释放出来的热量作为枝易燃性评判的指标,并对易燃性低的树种开展其室内抗火强度测定,为选择生物防火树种提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

试验地点位于南京市南郊江苏省林业科学研究院实验林场(118°25'63"E,32°01'88"N)。该区属北亚热带季风气候,年均气温为15.4℃,年日照2116h,全年无霜期229d,年降水量1000—1050mm,秋冬降水量少,较为干燥,是林火高发期<sup>[23]</sup>。

### 1.2 材料

1.2.1 供试树种 选择木荷(*Schima superba*)、红楠(*Machilus thunbergii* Sieb. et Zucc.)、北美枫香(*Liquidambar styraciflua* L.)、红果冬青(*Ilex purpurea*)、油樟[*Cinnamomum longipaniculatum* (Gamble) N. Chao ex H. W. Li]、杨梅[*Myrica rubra* (Lour.) S. et Zucc.]、桂花[*Osmanthus fragrans* (Thunb.) Lour.]、油茶(*Camellia oleifera* Abel.)、茶树[*C. sinensis* (L.) O. Ktze]、红叶石楠(*Photinia × fraseri* Dress)、红花深山含笑(*Michelia maudiae* Dunn)、檫树

(*Sassafras tsumu* Hemsl.)等12个苏南丘陵山区常用的彩色树种进行抗火性指标测定。

1.2.2 样品采集和处理 采样时间为2021年4月8日。采样地点为南京南郊丘陵山区江苏省林业科学研究院实验林场;树种立地条件基本一致,采集带叶树枝长1.0m,装入保湿膜袋,并带回实验室。样品分成成熟新叶、老叶和2年生小枝,均在相同条件下进行烘干、粉碎处理,并过100目筛备用。

### 1.3 方法

1.3.1 树叶、枝的易燃性指标测定 采用烘干恒重法测定含水率,测定温度为103—105℃;着火点采用DW-2着火点温度测定仪测定<sup>[8]</sup>。树叶的易燃性采用索氏提取法测定,以乙醚为有机溶剂,测定抽提物含量<sup>[8]</sup>,用XRY-1C型微机氧弹式热量计测定热量值,计算式为 $Q(\text{J/g}) = k[(T - T_0 + \Delta_t)]/G$ , $Q$ 表示预测可燃物的发热量, $k$ 为水当量( $\text{kJ}/^\circ\text{C}$ ), $T_0$ 为点燃前的温度( $^\circ\text{C}$ ), $T$ 为点燃后的温度( $^\circ\text{C}$ ), $\Delta_t$ 为温度校正值( $^\circ\text{C}$ ), $G$ 为样品质量( $\text{g}$ )<sup>[9]</sup>。采用DW-3着火点温度测定仪测定树枝残炭生成率,将装有干枝的容器放入500℃的测定仪炉体内,热分解4min后取出,测定生成的残炭质量,计算残炭生成率:残炭生成率(%)=炭质量/枝质量 $\times 100$ <sup>[15]</sup>。因树枝段不易在氧弹式热量计中被点燃,试验时加入少量干松枝段作“引火物”测定混合样的发热量和干松枝段的发热量。其计算式为枝发热量( $\text{J/g}$ )=(混合样发热量 $\times$ 质量-干松枝段发热量 $\times$ 质量)/(混合样质量-干松枝段质量)<sup>[7,15]</sup>。

1.3.2 树叶、枝易燃性综合指标测算 根据 $\Delta E = E_1 - E_2$ ,其中, $\Delta E$ 为树叶易燃性综合指标( $\text{J/g}$ ),即树叶中抽提物燃烧释放出的热量与水分汽化所消耗的热量之差; $E_1$ 为抽提物放出的热量; $E_2$ 为可燃物中水分汽化所需要的热量。 $E_2 = \text{水的汽化潜热}(2260 \text{ J/g}) \times \text{可燃物含水率}^{[7]}$ ;树枝有焰燃烧性综合指标根据 $\Delta E$ [树枝有焰燃烧( $\text{J/g}$ )=树枝发热量( $\text{J/g}$ )-残炭发热量( $\text{J/g}$ ) $\times$ 干枝段的残炭生成率(%) $\times$ (1-树枝相对含水率(%))]<sup>[18]</sup>。

1.3.3 不同树种枝叶的火烧强度测定方法 用燃烧床法的火焰高度( $h$ )来估算火烧强度( $I$ ): $I = 273h^{2.17}$ <sup>[13,19]</sup>。方法是在室内用砖砌高50cm的燃烧灶,上面铺上铁丝网,构成1.0m $\times$ 1.0m的燃烧床,床边立有刻度测高标杆,称取相同质量枯枝叶样品放在燃烧床上,点燃后用秒表计时,测定平均火焰高度,应用参考文献<sup>[19]</sup>计算不同树种的火烧

强度  $I=273h^{2.17}$ 。 $I$  为火烧强度 (kW/s),  $h$  为火焰高度 (m)。

### 1.4 数据统计分析

数据列表作图和计算采用 Microsoft Excel 2010 软件完成。

## 2 结果与分析

### 2.1 树叶、树枝易燃性分析

2.1.1 不同树种树叶、树枝含水率分析 树叶、树枝含水率是反映树木抗火性的物理指标之一。结果表明,各树种树叶的含水率排序为:茶树<红果冬青<油樟<桂花<红楠<北美枫香<油茶<木荷<红叶石楠<红花深山含笑<檫树<杨梅。杨梅树叶含水率最高,为 60.44%;茶树树叶含水率最低,为

49.13%;各种树枝的含水率排序为:红果冬青<茶树<油樟<桂花<深山含笑<油茶<红楠<木荷<红花深山含笑<杨梅<檫树<红叶石楠。红叶石楠树枝含水率最高,为 59.01%;红果冬青树枝含水率最低,为 48.77%。木荷、檫树、红叶石楠、红花深山含笑、杨梅 5 种树种树叶枝的含水率均较高(见表 1,2)。

2.1.2 不同树种树枝、树叶的着火点分析 树种枝、树叶是否容易着火主要取决于枝叶着火点的高低。测定发现檫树树枝、树叶的着火点最高,分别为 255,291 °C;茶树叶和桂花树枝的着火点最低,分别为 237,244 °C。檫树、木荷、红叶石楠、红花深山含笑和杨梅 5 树种树枝叶的着火点均高于其他树种,其易燃性弱(见表 1,2)。

表 1 彩色生物防火林带树种树叶的易燃性相关因子测定值

树种	含水率 /%	抽提物含量 /%	发热量 /(J/g)	抽提后余物发热量 /(J/g)	着火点 /°C
木荷	57.40 b	4.55 c	16 212 c	15 533 c	253 a
杨梅	60.44 a	4.83 c	16 911 bc	16 154 bc	254 a
油茶	56.88 bc	5.57 bc	17 802 ab	17 091 b	249 ab
红果冬青	50.29 c	5.11 bc	18 750 a	17 950 a	245 b
油樟	51.97 c	5.81 bc	17 009 b	16 267 bc	239 bc
北美枫香	55.18 bc	6.05 b	17 910 ab	17 105 b	238 bc
红叶石楠	58.76 b	4.63 c	16 318 c	15 419 c	250 a
桂花	53.98 bc	7.05 a	17 522 b	16 755 bc	233 c
红楠	55.08 bc	6.22 b	17 813 ab	17 099 b	238 bc
茶树	49.13 d	6.28 b	17 981 ab	17 139 b	237 bc
红花深山含笑	59.06 b	7.55 a	16 160 c	15 441 c	241 b
檫树	60.22 a	4.25 d	15 398 d	14 988 d	255 a

注:表中数据后不同小写字母表示经邓肯氏新复极差检验法(DMRT)检验在  $P<0.05$  水平差异显著。

表 2 彩色生物防火林带树种树枝的易燃性相关因子测定值

树种	含水率 /%	残炭生成率 /%	树枝发热量 /(J/g)	残炭发热量 /(J/g)	树枝着火点 /°C
木荷	55.06 b	24.52 c	6 536 c	25 533 c	285 a
杨梅	56.09 b	24.83 c	6 811 c	26 154 bc	280 a
油茶	52.33 bc	25.57 bc	7 077 bc	26 891 bc	277 b
红果冬青	48.77 d	29.85 a	8 950 a	27 950 a	246 c
油樟	49.08 c	25.81 bc	7 109 bc	26 267 bc	275 b
北美枫香	50.99 bc	27.05 bc	7 710 bc	27 105 b	262 bc
红叶石楠	59.01 a	24.63 c	6 718 c	25 419 c	283 a
桂花	50.22 bc	27.55 b	7 422 bc	25 655 bc	244 c
红楠	53.11 bc	27.63 b	7 813 bc	27 099 b	249 c
茶树	48.90 c	27.88 b	8 128 b	27 139 b	248 c
红花深山含笑	55.67 b	26.55 bc	7 180 bc	25 441 c	278 b
檫树	56.82 b	24.25 d	6 328 d	24 988 d	291 a

注:表中数据后不同小写字母表示经邓肯氏新复极差检验法(DMRT)检验在  $P<0.05$  水平差异显著。

2.1.3 不同树种树叶中抽提物含量分析 树叶单位质量叶中抽提物燃烧释放出的热量小于其所含水分汽化所消耗的热量,则叶不容易着火。测定发现檫树树叶的干叶发热量和抽提后余物发热量最低,分别为 15 398, 14 988 J/g;红果冬青树叶的干叶发热量和抽提后余物发热量最高,分别为 18 750, 17 950 J/g。檫树、木荷、红叶石楠、红花深山含笑和杨梅 5 树种的干叶发热量和抽提后余物发热量均很低,说明这 5 种树种树叶的易燃性较低(见表 1)。

2.1.4 不同树种树枝有焰燃烧分析 树枝有焰燃烧与易燃性测定发现,檫树树枝的发热量和余炭发热量最低,分别为 6 328, 24 988 J/g;红果冬青树枝的发热量和余炭发热量最高,分别为 8 950, 27 950 J/g。檫树、木荷、红叶石楠、红花深山含笑和杨梅 5 树种的树枝发热量和余炭发热量均较低,说明这 5 种树种树枝有焰燃烧性较低,其易燃性也较低(见表 2)。

## 2.2 树叶、树枝的易燃性综合指标分析

2.2.1 不同树种树叶的易燃性综合指标分析 通过以树叶中抽提物燃烧释放出来的热量与水分蒸发所消耗的热量之差作为易燃性的评判指标,发现檫树的树叶  $\Delta E$  值最低,为 -951.01 J/g;红果冬青的树叶  $\Delta E$  值最高,为 -236.61 J/g。12 种彩色生物防火林带树种树叶易燃性由强到弱的顺序为红果冬青>茶树>油樟>北美枫香>红楠>桂花>油茶>红叶石楠>杨梅>红花深山含笑>木荷>檫树。测定发现檫树、木荷、红花深山含笑、红叶石楠和杨梅 5 种树种树叶的易燃性综合指标均明显低于其他树种,说明这 5 树种的抗火性均较强(见图 1)。

2.2.2 不同树种树枝的易燃性综合指标分析 通过树种树枝在有焰燃烧阶段释放出来的热量作为易燃性评判的指标,发现檫树的树枝  $\Delta E$  值最低,为 267.84 J/g;红果冬青的树枝  $\Delta E$  值最高,为 606.44 J/g。12 种树种树枝易燃性由强到弱的顺序为红果冬青>茶树>油樟>北美枫香>红楠>桂花>油茶>红叶石楠>杨梅>红花深山含笑>木荷>檫树,测定发现檫树、木荷、红叶石楠、红花深山含笑和杨梅 5 树种的树枝易燃性综合指标均明显低于其他树种,说明这 5 树种的抗火性均较强(见图 1)。

## 2.3 不同树种的室内抗火强度效果

室内人工模拟着火过火试验结果发现:檫树、木荷、红叶石楠、红花深山含笑和杨梅 5 种易燃性低的树种其火烧强度分别为 118.48, 124.41, 148.10,

189.57, 171.80 kW/s, 均明显低于对照红果冬青的 278.43 kW/s。因此,说明这 5 树种有较强的抗火强度,其中檫树、木荷、红叶石楠 3 树种火烧强度更低,有更强的抗火烧能力。

## 3 讨论

(1) 树枝、树叶含水率高、着火点温度高,其不易燃,不易着火,抗火性强。江津凡、万福绪研究发现 8 种树种的树叶、树枝的含水率和枯枝叶的最大持水率都有明显差异<sup>[21]</sup>。本研究发现檫树、木荷、红叶石楠、红花深山含笑和杨梅 5 种树种树枝、树叶的含水率、着火点温度均高于其他树种,说明这 5 树种的树叶、树枝易燃性较差,不易着火,这些均表明这 5 树种的抗火性较强;本研究的采样时间 2021 年 4 月 8 日,为南京地区植物春季生长期,其他季节未涉及。枝叶含水率、着火点温度等与燃烧相关的理化性质随季节呈动态变化,其不同季节的动态变化结果有待进一步研究。

(2) 树叶是否容易着火主要取决于叶中抽提物燃烧释放出的热量及水分汽化所消耗的热量等因素,如果单位质量叶中抽提物燃烧释放出的热量小于其所含水分汽化所消耗的热量则这种叶不容易着火。本研究发现檫树、木荷、红叶石楠、红花深山含笑和杨梅 5 种树种树叶的干叶发热量、抽提后余物发热量和树枝的发热量、残炭发热量均很低,说明这 5 种树种树叶、树枝的易燃性和有焰燃烧性较低、抗火性较强。据报道檫树、米槭、木荷 3 种板材的最高热释放率分别为 83.43, 73.21, 98.77 kW/m<sup>2</sup>, 均高于 FAA 要求的标准 (<65 kW/m<sup>2</sup>)<sup>[24]</sup>。报道表明木荷是抗火树种<sup>[3,8]</sup>, 实验说明从檫树板材燃烧的热释放率明显低于木荷,也从另一方面证明檫树的抗火性要强于木荷,所以檫木是一个很有前景的抗火树种。当然,候选树种的生物学、生态学特性和经济价值也是筛选防火树种时要考虑的因子<sup>[25]</sup>。檫木是先花后叶树种,早春满山的檫木黄花景观诱人,因此,檫木是一个很好的抗火景观树种;木荷、红叶石楠、红花深山含笑和杨梅也是很好的抗火景观树种,其经济价值均很高<sup>[23-24]</sup>。

(3) 彩色树种树叶、树枝易燃性综合指标测定发现,檫树、木荷、红花深山含笑、红叶石楠和杨梅 5 树种的树叶、树枝易燃性综合指标均明显低于其他树种,说明这 5 树种的抗火性均较强。特别是经过室内模拟抗火效果试验发现,5 树种的抗火效果明

显,檫树、木荷、红叶石楠的抗火效果更强。用红叶石楠密植灌木绿化带,间种檫树、木荷、红花深山含笑和杨梅等,构建彩色树种生物防火林带模式,形成乔灌立体抗火屏障,即乔木树种抗御林冠火,灌木树种抗御地表火,形成有效立体抗火屏障,其应用前景广阔,具有重要的研究意义<sup>[23-24]</sup>。

#### 参考文献:

- [1] 王瑞君,于建军,郑春艳.森林可燃物含水率预测及燃烧性等级划分[J].森林防火,1997(2):16-17.
- [2] 孙龙,刘棋,胡同欣.森林地表死可燃物含水率预测模型研究进展[J].林业科学,2021,57(4):142-152.
- [3] 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):42-51.
- [4] QUAAK P, KNOEF H, STASSEN H E. Energy from biomass: a review of combustion and gasification technologies[M]. Washington: World Bank Publications, 1999.
- [5] SUSOTT R A, DEGROOT W F, SHAFIZADEH F. Heat content of natural fuels[J]. Journal of Fire and Flammability, 1975, 6: 311-325.
- [6] ANDERSON H E. Forest fuel ignitibility[J]. Fire Technology, 1970, 6: 312-319.
- [7] GB/T 30727-2014 固体生物质燃料发热量测定方法[S].北京:中国标准出版社,2014.
- [8] 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.
- [9] 王秋华,闫想想,龙腾腾,等.昆明地区华山松纯林枯枝的燃烧性研究[J].江西农业大学学报,2020,42(1):66-73.
- [10] 田晓瑞,舒立福,乔启宇,等.南方林区防火树种的筛选研究[J].北京林业大学学报,2001,23(5):43-47.
- [11] 单延龙,李华,其其格.黑龙江大兴安岭主要树种燃烧性及理化性质的实验分析[J].火灾科学,2003,12(2):74-78.
- [12] 胡海清,鞠琳.小兴安岭8个阔叶树种的燃烧性能[J].林业科学,2008,44(5):90-95.
- [13] 肖金香,黄亚哲,李冬,等.江西常见树种抗火性研究[J].江西农业大学学报,2011,33(1):76-83.
- [14] 裴建元,严员英,叶清,等.10种常绿阔叶树种理化性质的研究[J].中南林业科技大学学报,2015,35(2):16-21.
- [15] 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].西南林业大学学报,2006,26(1):56-58.
- [16] 洗丽铎,陈嘉杰,陈红跃,等.28种防火林带树种树叶抗火性能研究[J].河南农业大学学报,2020,54(4):575-580.
- [17] 陶骏骏,王海晖,姚奉奇,等.木本植物叶片热值测试和分析[J].林业科学研究,2018,31(2):48-54.
- [18] 骆介禹.森林可燃物燃烧性研究的概述[J].东北林业大学学报,1994,22(4):95-101.
- [19] 胡海清.林火生态与管理[M].北京:中国林业出版社,2005:79-80.
- [20] SHI H, MAHINPEY N, AQSHA A, et al. Characterization, thermochemical conversion studies, and heating value modeling of municipal solid waste[J]. Waste Management, 2016, 48: 34-47.
- [21] WALTERS R N, HACKETT S M, LYON R E. Heats of combustion of high temperature polymers[J]. Fire and Materials, 2000, 24(5):245-252.
- [22] 江津凡,万福绪.防火林带不同树种枝叶持水率研究[J].南京林业大学学报(自然科学版),2011,35(5):151-154.
- [23] 韦苏晏,吴宝成,田方,等.江苏宝华山山区药用维管植物资源组成分析[J].植物资源与环境学报,2016,25(2):100-110.
- [24] 黄晓东,刘雁,刘武.檫树、米楮、木荷板材燃烧热释放率研究[J].木材工业,2001,28(1):17-19.
- [25] 顾汪明,卢泽洋,黄春良,等.云南省建水县防火树种筛选研究[J].北京林业大学学报,2020,42(2):49-60.