

江西省造林树种燃烧性研究

郑育桃¹ 祝必琴² 焦鸿渤³ 邹璐⁴ 张立存⁴ 黄淑娥² 肖金香^{4*}

(1. 江西省林业科学研究院, 江西 南昌 330046; 2. 江西省气象科学研究所, 江西 南昌 330046; 3. 江西省新余市渝水区林业局, 江西 新余 338000; 4. 江西农业大学 园林与艺术学院, 江西 南昌 330045)

摘要: 通过树种理化性状的研究, 筛选出抗火性强的树种, 对森林防火林带建设树种的应用有重要意义。采集江西 40 种常见树种不同器官理化性状测定分析、燃烧试验, 选择理化性状实测数据和燃烧数据, 结合生物生态学特性评分, 提取 17 个参数进行聚类, 应用 DPS 统计分析软件系统聚类的离差平方和方法进行聚类, 结果表明: 抗火性强的树种有 15 个: 四川山矾、大叶黄杨、海桐、法国冬青、冬青、醉香含笑、乐昌含笑、木荷、樟树、苦槠、阴香、大叶樟、油茶、女贞和含笑; 抗火性较强的有 10 个: 喜树、加杨、泡桐、红花檵木、鹅掌楸、夹竹桃、山杜英、白玉兰、巴东木莲、厚皮香; 抗火性一般的有 6 个: 石栎、山茶、桂花、桧柏、龙柏、柳杉; 抗火性差的有 9 个: 毛竹、杉木、红翅槭、罗汉松、马尾松、湿地松、雪松、水杉、金钱松。利用树种之间燃烧性的差异, 择优树种在防火林带建设中应用。

关键词: 树种; 理化性状; 燃烧性; 江西

中图分类号: S762.3⁺3 文献标志码: A 文章编号: 1000-2286(2012)01-0093-06

A Study on the Combustibility of Forestation Tree Species in Jiangxi Province

ZHEN Yu-tao¹, ZHU Bi-qin², JIAO Hong-bo³, ZOU Lu⁴,
ZHANG Li-cun⁴, HUANG Shu-e², XIAO Jin-xiang^{4*}

(1. Jiangxi Forestry Research Institute, Nanchang 330046, China; 2. Meteorological Research Institute of Jiangxi Province, Nanchang 330046, China; 3. Yushui Forestry Bureau of Xingyu City, Jiangxi Province, Xingyu 338000, China; 4. College of Landscape Architecture and Art, JAU, Nanchang 330045, China)

Abstract: Selection of strong fire-resistance tree species through study of their physical and chemical properties is important in construction of fire-preventing forest belt. Forty common tree species from Jiangxi Province were collected for determination of different organs' physical and chemical properties, and for combustion test. Seventeen factors such as moisture content, ignite temperature, energy content, ash content, crude fat content, lignin content, crude fiber content, burning time, burning intensity, bark thickness, were chosen as the classification indexes, through using DPS (Data Processing System), the species were clustered into four categories (strongest, stronger, general, and combustion species). The strongest fire-resistant species were *Symplocos setchuancensis* Brand, *Buxus megistophylla* Lévl., *Pittosporum Banks ex Soland*, *Viburnum awabuki*, *Ilex purpurea* Hassk., *Michelia chapensis*, *Michelia macclurei*, *Schima superba* Gardn. et Champ., and *Cinnamomum camphora* (L.) presl., *Cinnamomum burmannii*, *Castanopsis sclerophylla* (Lindl.) Schott., *Thea Oleosa* Lour. (*Camellia oleifera* Abel.), *Cinnamomum Camphora* (Linn) Presd., *Ligustrum*

收稿日期: 2011-08-16 修回日期: 2011-11-05

基金项目: 国家自然科学基金项目(40865004)

作者简介: 郑育桃(1979—), 男, 工程师, 主要从事林火管理研究工作; * 通讯作者: 肖金香, 教授, E-mail: Xiaojinxiangjx@126.com。

lucidum Ait. , *Michelia figo* (Lour.) Spreng. . The stronger fire-resistant species were *Camptotheca acuminata* Decne. , *Populus canadensis* Moench. , *Paulownia fortunei* Hemsl. , *Loropetalum Chinense* var. *rubrum* (Yieh.) , *Liriodendron chinense* (Hemsl.) Sarg. , *Nerium oleander* , *Elaeocarpus sylvestris* (Lour.) Pior. , *Magnolia denudata* Desr. , *Manglietia patungensis* Hu. , *Ternstroemia gymnanthera* (Wight et Arn.) Sprague. The general fire-resistant species were *Lithocarpus glaber* (Thunb.) Nakai. , *Camellia japonica* , *Osmanthus fragrans* , *Sabina chinensis* (Linn.) Ant. , *Sabina chinensis* cv. *kaizuka* , *Cryptomeria fortunei* Hooibrenk ex Otto et Dietr. . The weak fire-resistant species were *Phyllostachys pubescens* , *Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook. , *Aceraceae fabri* Hance. , *Podocarpus macrophyllus* (Thunb.) D. Don , *Pinus massoniana* Lamb. , *Pinus elliottii* Engelm. , *Cedrus deodara* (Roxb.) G. Don. , *Metasequoia glyptostroboides* Hu et cheng , *Pseudolarix kaempferi* (Lindl) Gord.

Key words: species; physical and chemical properties; combustibility; Jiangxi

有关树种的燃烧性试验,国外均有诸多学者研究^[1-5],最早是 1959 年美国学者 Byram G M 进行了可燃物燃烧试验,1985 年 Dickinson and Kirkpatrick 对重要树种进行了物理性质测定,得出了针叶比阔叶易燃。国内一大批学者针对南北方的重点林区主要树种进行了理化性质测定^[6-9],并结合生物学和物候学特点进行了不同树种的燃烧性实验,筛选出一批难燃抗火树种。2000 年肖金香和张景群等人分别对庐山主要 10 个树种及陕西栎属主要落叶树种枯叶行了燃烧性试验,划分出易燃、难燃和可燃树种^[10-11]。舒立福等人^[12]对南方 48 个树种进行了燃烧试验。2000 年后,以李世友为代表的南方燃烧性试验成果迅速掘起,燃烧实验方法不断改进^[13-18]。

树种的燃烧性与抗火性不同,燃烧性是指树种是否容易燃烧,随立地条件和树木含水率大小而变化;树种的抗火性是树种对火灾抵抗能力的大小,以及火灾后树种被危害的程度。森林火灾是八大自然灾害之一,森林火灾预防方法很多,如森林火灾监测,火险天气预报,生物防火林带,计划烧除,火源控制等,其中利用树种自身燃烧性的差异进行抵御外界火的干扰,在我国起始于 20 世纪 50 年代,起步早但发展慢,真正广泛深入的研究还是 20 世纪 80 年代以后,本文在原 28 种树种研究的基础上^[19],再扩大到 40 种树种,通过树种间的理化性质和生物生态学的差异,确定树种的易燃和难燃程度,为营建生物防火林带提供更宽广的防火树种。

1 材料和方法

1.1 实验材料

在江西范围内采集 40 种造林树种作为研究材料。其中常绿乔木 15 种,灌木 9 种,落叶树 5 种,针叶树 10 种,竹类 1 种,见表 1。

1.2 试样采集

在秋季,选择晴好天气在南昌西郊和北郊一带采集江西省常见树种的不同器官,叶为功能叶,枝条直径 2 cm 以下,每个样品 0.5 kg,3 次重复。在 1.3 m 树高处用刀画出 7 cm × 7 cm 的树皮,采下后及时用电子天平称出鲜质量,带回室内将样品放置烘箱烘至恒质量,根据公式计算出含水率。

$$\text{绝对含水率} = (\text{样品湿质量} - \text{样品干质量}) / \text{样品干质量} \times 100\% \quad (1)$$

将恒质量的样品留一半做室外燃烧试验,一半用粉碎机粉碎,过 60 目筛,做化学成分分析备用。

1.3 实验方法

1.3.1 树枝和树叶物理和化学成分测试 纤维素采用硫酸和氢氧化钠先后沸腾水解法;木质素采用硫酸水解法;粗脂肪采用索氏残余法;粗灰分采用干灰化法;含水率测定采用 105 °C 烘干恒重法。

1.3.2 树皮厚度的测定 参照 GB/T 19367.1—2003 方法,用游标卡尺夹住鲜树皮,四周测出 8 次厚度取平均值,3 次重复。

1.3.3 树皮质量剩余率及内表面温度升高速率的测定 自制一个树皮抗火装置,将电炉倒挂在支架上,通电后形成热源,树皮置于离热源 10 cm 处,树皮失重通过支架放在显示天平上来控制,每 20 s 读一次失重值,时间 10 min,同时用红外测温仪测量树皮内表面温度。

表 1 40 种造林树种一览表
Tab.1 List of 40 tree plants species

类型	序号	中文名	学名	类型	序号	中文名	学名
Type	Number	Chinese	A scientific name	Type	Number	Chinese	A scientific name
乔木	1	大叶樟	<i>Cinnamomum bodinieri</i> Levl.	灌木	21	法国冬青	<i>Viburnum odoratissimum</i> .
Tree	2	阴香	<i>Cinnamomum burmanii</i> (C. G. et Th. Nees) Bl.	Shrub	22	夹竹桃	<i>Nerium indicum</i> Mill.
	3	厚皮香	<i>Ternstroemia gymnanthera</i> (Wight et Arn.) Sprague		23	油茶	<i>Thea oleosa</i> Lour. (<i>Camellia oleifera</i> Abel.)
	4	苦槠	<i>Castanopsis sclerophylla</i> (Lindl.) Schott.		24	红翅槭	<i>Acer fabri</i> Hance
	5	樟树	<i>Cinnamomum camphora</i> (L.) presl	落叶树	25	喜树	<i>Camptotheca acuminata</i> Decne.
	6	秃瓣杜英	<i>Elaeocarpus sylvestris</i> (Lour.) Pior		Deciduous	26	加杨
	7	木荷	<i>Schima superba</i> Gardn. et Champ.	trees old		27	泡桐
	8	冬青	<i>Ilex purpurea</i> Hassk.		28	白玉兰	<i>Magnolia denudata</i> Desr.
	9	醉香含笑	<i>Michelia niacclurei</i> Dandy.		29	马褂木	<i>Liriodendron chinense</i> (Hemsl.) Sarg.
	10	石栎	<i>Lithocarpus glaber</i> (Thunb.) Nakai	针叶树	30	金钱松	<i>Camptotheca acuminata</i> Decne.
	11	乐昌含笑	<i>Michelia chapensis</i> Dandy		Conifers	31	马尾松
	12	桂花	<i>Osmanthus fragrans</i> (Thunb.) Lour.			32	湿地松
	13	巴东木莲	<i>Manglietia patungensis</i> Hu		33	龙柏	<i>Sabina chinensis</i> (Linn.) Ant. 'Kaizuka'
	14	女贞	<i>Ligustrum lucidum</i> Ait.		34	杉木	<i>Cunninghamia lanceolata</i> (Lamb.) Hook.
	15	四川山矾	<i>Symplocos setchuanensis</i> Brand		35	水杉	<i>Metasequoia glyptostroboides</i> Hu et cheng
	灌木	16	含笑	<i>Michelia figo</i> (Lour.) Spreng.	36	雪松	<i>Cedrus deodara</i> (Roxb.) G. Don.
Shrub	17	山茶	<i>Camellia japonica</i> Linn.	37	罗汉松	<i>Podocarpus macrophyllus</i> (Thunb.) D. Don)	
	18	海桐	<i>Pittosporum tobira</i> (Thunb.) Ait.	38	中国柳杉	<i>Cryptomeria fortunei</i> Hooibrenk ex Otto et Dietr.	
	19	大叶黄杨	<i>Euonymus japonicus</i> Thunb.				
	20	红花檵木	<i>Loropetalum chinense</i> (R. Br.) Oliv. var. <i>rubrum</i> Yieh	毛竹	39	桧柏	<i>Sabina chinensis</i> (Linn.) Ant.
				Bamboo	40	毛竹	<i>Phyllostachys pubescens</i>

$$V(\%) = [1 - \frac{L}{M}] \times 100 \tag{2}$$

V: 质量剩余率(%) ; L: 10 min 内试样总的损失质量(g) ; M: 试样总质量(g) 。

1.3.4 树种枝和叶燃烧实验 在室外用砖叠一个 50 cm 高的燃烧灶 ,上面铺上铁丝网 ,再用砖头压平 ,构成一张燃烧床 ,每一个树种的枝和叶 称出相同的量放在燃烧床上 ,点燃后用秒表计算燃烧时间 ,燃烧床边立一有刻度的标杆 ,用来观测火焰高度。根据火焰高度 ,利用 Byram1954 年^[20] 提出的公式进行计算火线强度:

$$I = 273 \cdot h^{2.17} \tag{3}$$

I: 火烧强度(kcal · s/m) ; h: 火焰高度(m) 。

1.3.5 树种的生物生态学特性 按物候特征、环境适应性、自然整枝、萌芽力和树冠结构 5 个因子对 40 个树种进行打分(表 1) ,打分标准 1 ~ 5 分。

1.3.6 聚类分析 根据实验实测数据 ,应用 SPSS13.0 系统聚类分析的离差平方和方法 ,对 40 个树种进行燃烧性聚类分析。

2 结果与分析

通过实验 ,得到 40 种树种燃烧性能实测数据(表 2) 。应用 SPSS13.0 系统聚类分析法 ,对 40 种树种的理化性状参数和燃烧指标及其生物生态学特性等 17 个指标值进行聚类排序 ,结果如图 1 所示。根据聚类结果 ,难燃树种有 15 个 ,依次是: 四川山矾、大叶黄杨、海桐、法国冬青、冬青、醉香含笑、乐昌含笑、木荷、樟树、苦槠、阴香、大叶樟、油茶、女贞和含笑; 较难燃树种有 10 个 ,依次是: 喜树、加杨、泡桐、红花檵木、鹅掌楸、夹竹桃、山杜英、白玉兰、巴东木莲、厚皮香; 可燃树种有 6 个 ,依次是: 石栎、山茶、桂花、桧柏、龙柏、柳杉; 易燃树种有 9 个 ,毛竹、杉木、红翅槭、罗汉松、马尾松、湿地松、雪松、水杉、金钱松。

3 讨 论

通过聚类排序,15 种难燃树种均属于常绿树种;9 种易燃树种除毛竹、红翅槭外均属于针叶类树种;较难燃 10 种树种除喜树、加杨、泡桐、白玉兰 4 种为落叶树种外,其余 6 种为常绿树种;6 种可燃树种均为常绿树种,2 种灌木、1 种乔木、3 种针叶。附合树种生物学特性,采用树种的理化性质、树皮火烧试验及生物生态学特性等实测指标来分析树种的易、难燃烧性,是能够说明问题的。珊瑚树、冬青、醉香含笑、木荷、油茶和女贞是南方公认的防火树种,也是难燃树种,在前人研究的基础上又筛选出四川山矾、大叶黄杨、海桐、乐昌含笑、红花檵木、苦槠、阴香、夹竹桃、山杜英为难燃和较难燃树种,这些树种有做防火林带的价值,可推广应用。樟树、大叶樟在试验中可能存在人为误差,有待进一步的验证。

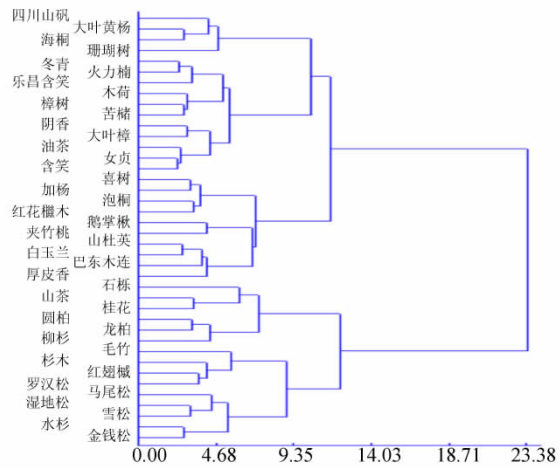


图 1 40 种树种聚类分析图

Fig. 1 Cluster analysis of 40 species

表 2 40 种树种燃烧性能实测值

Tab. 2 The measured value of Combustion of of 40 species

树种 Species	不同树种理化性质 Physics and chemistry features in different tree species						燃烧特性 Burning features			树皮燃烧性 Combustion of barks			生物生态学特性 Biological and ecology features				
	树叶燃点 Leaves flash point	含水率 Moisture content	树叶热值/ (KJ · kg ⁻¹) Leaves heating value	粗脂肪 Crude fat	粗灰分 Crude ash	粗纤维 Curde fiber	木质素 Lignin	火烧强度/ (Kcal · s ⁻¹) Fire intensity	燃烧时间 /S Burning times	质量剩余 率/% Remaining bark quality	树皮厚度 /cm Barks thickness	内表升温 速率/ (℃ · S ⁻¹) Temperature rising of inside surface	物候特征 climate features	环境适应 性 Environment adapt	萌芽力/cm Bud rate	自然整枝 Natural pruning	树冠结构 Crown structure
四川山矾 <i>Symplocos setchuensis</i> Brand	281	55.0	8 360.0	2.4	13.9	34.0	24.5	100.5	105.0	89.5	6.7	0.12	3	3	2	3	3
冬青 <i>Ilex purpurea</i> Hassk.	265	50.0	9 128.4	4.1	5.6	28.2	37.9	172.3	60.0	85.0	6.0	0.20	3	3	3	3	3
醉香含笑 <i>Michelia niaclurei</i> Dandy.	262	55.2	9 519.3	3.0	4.7	37.6	42.1	148.7	81.8	85.1	4.8	0.20	3	3	3	3	3
木荷 <i>Schima superba</i> Gardn. et Champ.	283	54.1	8 257.6	1.9	7.7	37.9	42.4	224.2	97.5	81.9	5.5	0.18	3	3	3	2	3
樟树 <i>Cinnamomum camphora</i> (L.) presl.	257	52.1	11 258.3	4.0	6.3	44.6	40.5	196.0	78.4	68.0	12.6	0.19	3	3	3	2	3
喜树 <i>Camptotheca acuminata</i> Decne.	265	61.8	12 538.5	2.4	10.9	32.5	34.5	126.7	61.7	61.7	11.4	0.14	1	1	3	3	2
阴香 <i>Cinnamomum burmanni</i> (C. G. et Th. Nees) BL.	251	55.0	12 062.3	3.2	7.0	32.2	44.0	143.6	87.4	93.5	6.5	0.17	3	2	2	3	3
大叶樟 <i>Cinnamomum bodinieri</i> Levl.	255	49.8	11 623.0	3.7	6.4	35.5	49.4	152.5	92.9	94.2	9.6	0.08	3	1	3	2	3
苦槠 <i>Castanopsis sclerophylla</i> (Lindl.) Schott.	277	49.0	12 136.3	2.4	5.5	43.3	44.2	218.7	88.4	83.2	13.4	0.10	3	3	2	2	2
马褂木 <i>Liriodendron chinense</i> (Hemsl.) Sarg.	249	63.2	13 017.1	7.2	10.1	28.1	26.5	213.7	62.0	87.3	4.0	0.15	1	2	2	2	3
山杜英 <i>Elaeocarpus sylvestris</i> (Lour.) Pior	266	62.5	14 724.4	1.2	7.5	31.8	35.8	153.6	87.0	72.6	3.6	0.19	2	3	2	2	2

续表 2 40 种树种燃烧性能实测值
Tab. 2 The measured value of Combustion of of 40 species

油茶 <i>Thea Oleosa</i>																			
Lour. (<i>Camellia oleifera</i> Abel.)	254	56.9	13 516.2	1.4	6.4	44.4	34.2	186.3	86.1	85.1	2.4	0.20	3	2	3	2	2		
厚皮香 <i>Ternstroemia gymnanthera</i> (Wight et Arn.) Sprague	270	52.3	11 018.4	2.8	4.8	23.7	38.5	161.0	72.4	96.9	7.1	0.08	2	3	1	2	3		
石栎 <i>Lithocarpus glaber</i> (Thunb.) Nakai	260	48.9	15 650.0	3.0	6.3	26.4	45.3	267.7	98.6	74.5	4.3	0.17	3	2	2	2	3		
加杨 <i>Populus Canadensis</i> Moench.	253	56.1	15 243.0	2.9	8.0	36.9	38.2	203.6	72.6	65.6	8.9	0.18	1	2	3	3	2		
泡桐 <i>Paulownia fortunei</i> Hemsl.	250	61.0	15 022.0	3.4	5.6	39.3	38.2	132.4	85.5	60.8	5.8	0.16	1	2	3	2	3		
圆柏 <i>Sabina chinensis</i> (Linn.) Ant.	247	49.6	156 363	8.4	6.5	34.2	43.0	183.2	120.8	80.0	5.8	0.13	3	2	3	1	3		
毛竹 <i>Phyllostachys pubescens</i>	246	49.9	15 939.0	2.7	7.2	51.4	25.5	335.8	75.1	72.7	12.9	0.07	2	2	1	1	1		
龙柏 <i>Sabina chinensis</i> (Linn.) Ant. 'Kaizuka'	245	55.1	17 287.3	5.7	8.5	33.4	40.2	116.2	135.4	55.0	4.5	0.24	3	2	3	1	2		
马尾松 <i>Pinus massoniana</i> Lamb.	232	51.1	16 887.5	4.7	3.0	43.8	49.1	130.5	74.3	86.4	14.5	0.11	2	3	1	1	1		
杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i> (Lamb.) Hook.	213	50.4	17 853.0	6.0	4.3	50.0	37.6	220.8	79.9	71.0	5.3	0.15	3	2	3	2	1		
湿地松 <i>Pinus elliottii</i> Engelm.	220	55.3	16 276.4	6.2	2.2	40.9	53.0	50.4	192.4	85.7	17.0	0.10	2	1	1	2	2		
红翅槭 <i>Acer fabri</i> Hance	216	52.7	16 756.0	2.2	8.3	52.6	34.6	188.8	80.1	70.5	3.8	0.20	2	2	2	2	2		
中国柳杉 <i>Cryptomeria fortunei</i> Hooibrenk ex Otto et Dietr.	229	53.8	16 728.0	5.5	5.4	47.8	40.5	236.5	113.3	54.6	3.4	0.22	3	1	2	1	3		
雪松 <i>Cedrus deodara</i> (Roxb.) G. Don.	221	51.1	17 244.3	3.9	4.5	36.8	50.5	166.2	77.7	82.2	8.9	0.16	2	1	1	1	3		
水杉 <i>Metasequoia glyptostroboides</i> Hu et cheng	215	60.4	18 029.3	4.1	9.1	35.5	44.2	112.3	85.1	66.2	6.9	0.19	1	1	1	2	2		
罗汉松 <i>Podocarpus macrophyllus</i> (Thunb.) D. Don	228	53.7	17 396.2	3.5	8.0	38.6	42.9	235.5	103.7	93.9	3.8	0.13	2	1	2	2	1		
金钱松 <i>Campotheca acuminata</i> Decne.	22460.1	17 620.0	3.1	5.3	37.8	42.3	131.5	90.0	40.7	7.0	0.22	2	1	1	2	1			
乐昌含笑 <i>Michelia chapensis</i> Dandy	288	57.5	9 577.1	5.1	7.7	27.7	37.5	172.8	80.0	92.64	0.11	3	3	3	2	3			
大叶黄杨 <i>Euonymus japonicus</i> Thunb.	271	61.7	10 019.2	6.5	9.5	32.4	34.5	110.5	86.6	3	3	3	2	3					
珊瑚树 <i>Pittosporum tobira</i> (Thunb.) Ait	279	63.4	98 524.0	5.6	13.7	30.2	39.0	200.3	63.3	87.0	6.2	0.17	3	2	3	2	3		
白玉兰 <i>Michelia figo</i> (Lour.) Spreng.	261	61.1	11 529.0	3.9	10.3	28.9	28.0	128.2	105.3	3	3	2	2	3					
女贞 <i>Michelia figo</i> (Lour.) Spreng.	278	59.0	10 863.3	2.2	13.6	36.240	3	189.6	74.3	87.7	7.7	0.15	3	2	2	2	3		
含笑 <i>Michelia figo</i> (Lour.) Spreng.	267	54.5	13 126.0	2.9	6.5	38.0	35.0	133.3	82.5	89.1	6.3	0.13	3	2	3	2	3		
夹竹桃 <i>Camellia japonica</i> Linn.	233	61.7	15 843.2	5.9	8.9	31.1	29.0	243.2	61.9	65.3	3.6	0.20	3	3	3	2	2		
山茶 <i>Camellia japonica</i> Linn.	253	52.4	17 264.4	6.4	5.2	35.0	34.1	174.1	103.9	3	2	3	3	3					
巴东木莲 <i>Manglietia patungensis</i> Hu	269	62.9	14 458.0	4.8	6.6	30.8	41.4	211.2	81.3	90.7	5.7	0.16	3	2	2	2	3		
桂花 <i>Osmanthus fragrans</i> (Thunb.) Lour.	249	44.5	18 166.4	5.2	4.4	36.8	38.7	184.4	87.3	92.5	7.4	0.13	2	1	2	3	3		
红花檵木 <i>Loropetalum chinense</i> (R. Br.) Oliv. var. <i>rubrum</i> Yieh	242	57.5	18 476.0	4.2	6.1	36.4	36.1	123.3	76.8	2	1	3	3	2					

红花檵木、山茶、女贞、海桐和大叶黄杨 5 个树种采不到树皮。

参考文献:

- [1] Byrm G M. Combustion of forest fuels. In Forest Fire: Control and Use (ed. K. P. Davis) [M]. McGraw - Hill: New York , 1959 61-89.
- [2] Anderson H E. Forest fuel ignitibility [M]. Fire Tech ,1970 6: 312-319.
- [3] Mutch R W , Philpot C W. Relation of silica content to flammability in grasses [J]. Forest Science ,1970(16) : 64-65.
- [4] Rothermel R C. A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels [M]. USDA Forest Service Research Paper INT - 115 , 1972: 40-42.
- [5] Dickinson , K J M , Kirkpatrick J B. The flammability and energy content of some important plant species and fuel components in the forests of Southeastern Tasmania [J]. J Biogeography , 1985(12) : 121-134.
- [6] 骆介禹 陈英海 张秀成 等. 森林可燃物的燃烧性与化学组成 [J]. 东北林业大学学报, 1992 20(6) : 35-42.
- [7] 刘自强 王丽俊 王剑辉 等. 大兴安岭森林可燃物含水率、燃点、灰分的测定及其对易燃性和燃烧性的影响 [J]. 森林防火 ,1993(4) : 9-12 , 15.
- [8] 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.
- [9] 谢玉敏 李军伟. 树种燃烧性的研究 [J]. 森林防火, 1999(3) : 38-39.
- [10] 肖金香 谢科峰 彭家武, 等. 庐山主要树种燃烧性研究 [J]. 江西农业大学学报, 2000 22(5) : 138-142.
- [11] 张景群 徐钊 康永祥 等. 陕西栎属 7 种枯叶燃烧性分析 [J]. 西北林学院学报, 2000 ,15(1) : 40-42.
- [12] 舒立福 田晓瑞 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.
- [13] 李世友 陈宏刚 罗文彪 等. 昆明地区主要造林树种鲜枝叶的燃烧性研究 [J]. 西北林学院学报 2008 23(5) : 148-151.
- [14] 李世友 罗文彪 舒清态 等. 昆明地区 25 种木本植物的燃烧性及防火树种筛选 [J]. 浙江林学院学报 2009 26(3) : 351-357.
- [15] 李世友 马爱丽 王少名 等. 14 种常绿木本植物活枝叶在防火期的易燃性比较 [J]. 生态学杂志 2009 28(4) : 601-606.
- [16] 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.
- [17] 李世友 王秋华 李本飞 等. 滇中 10 种木本植物鲜叶和鲜枝易燃性比较 [J]. 西南林学院学报 2006 26(1) : 56-58.
- [18] 李世友 王少名 年有春 等. 落叶灌木南烛在防火戒严期的燃烧性动态 [J]. 江西农业大学学报 2008 30(5) : 845-849.
- [19] 肖金香 黄亚哲 李冬 等. 江西常见 28 种树种抗火性试验研究 [J]. 江西农业大学学报 2011 33(1) : 76-83.
- [20] 胡海清. 林火生态与管理 [M]. 北京: 中国林业出版社 2005.