

# 江西常见树种抗火性研究

肖金香<sup>1</sup>, 黄亚哲<sup>2</sup>, 李冬<sup>1</sup>, 张林平<sup>1</sup>, 刘兴平<sup>1</sup>, 叶清<sup>1</sup>

(1. 江西农业大学 园林与艺术学院 江西 南昌 330045; 2. 江西省工商行政管理学校 江西 南昌 330046)

摘要: 在对江西 28 种常见树种不同器官理化性状测定分析、燃烧试验和抗火性试验的基础上, 应用灰色关联分析法, 选择树种的含水率、燃点、热值、粗灰分、粗脂肪、木质素、粗纤维、燃烧时间、火烧强度、树皮厚度、热辐射作用下树皮的质量剩余率和内表面升温速率以及其生物学特性等 17 个指标值作为评价因素, 对 28 种常见树种的抗火性进行综合评价。结果表明: 抗火性强的有 5 种, 由强到弱依次是四川山矾、冬青、火力楠、木荷和樟树; 抗火性较强的有 9 种, 由强到弱依次是喜树、阴香、大叶樟、苦槠、鹅掌楸、山杜英、油茶、厚皮香、石栎; 抗火性一般的有 3 种, 由强到弱依次是加杨、泡桐和圆柏; 抗火性较弱的有 5 种, 由强到弱依次是毛竹、龙柏、马尾松、杉木和湿地松; 抗火性差的有 6 种, 由强到弱依次是红翅槭、柳杉、雪松、水杉、罗汉松和金钱松。

关键词: 常见树种; 理化性状; 燃烧性; 抗火性; 关联度分析

中图分类号: S763.306.1 文献标志码: A 文章编号: 1000-2286(2011)01-0076-08

## A Study on Fire - resistance of Mountain Tree Species in Jiangxi

XIAO Jin-xiang<sup>1</sup>, HUANG Ya-zhe<sup>2</sup>, LI Dong<sup>1</sup>,  
ZHANG Lin-ping<sup>1</sup>, LIU Xing-ping<sup>1</sup>, YE Qing<sup>1</sup>

(1. College of Landscape Architecture and Art, JAU, Nanchang 330045, China; 2. Industrial and Commercial Administration School of Jiangxi Province, Nanchang 330046, China)

**Abstract:** Twenty - eight mountain tree species from the western suburbs and the northern suburbs of Nanchang were harvested to determine the physical and chemical properties of different organs, for combustion and fire - resistance test. 17 factors, namely moisture content, ignition temperature, heat value, ash content, crude fat content, lignin content, crude fiber content, burning time, burning intensity, bark thickness, the remaining rate of the bark quality and the heating rate of the inner bark surface under thermal radiation, and biological and ecological characteristics and so on, were chosen as the evaluation indexes, by using grey relational analysis a comprehensive evaluation of fire - resistance of twenty - eight mountain tree species was conducted. Of the 28 species, five were of strongest fire - resistance, they were *Symplocos setchuancensis* Brand, *Ilex purpurea* Hassk., *Michelia macclurei*, *Schima superba* Gardn. et Champ., and *Cinnamomum camphora* (L.) Presl in order. Nine species were of relatively strong fire - resistance, they were *Camptotheca acuminata* Decne., *Cinnamomum burmannii*, *Cinnamomum Camphora* (Linn) Presl, *Castanopsis sclerophylla* (Lindl.) Schott., *Liriodendron chinense* (Hemsl.) Sarg., *Elaeocarpus sylvestris* (Lour.) Pior., *Thea Oleosa* Lour. (*Camellia oleifera* Abel.), *Ternstroemia gymnanthera* (Wight et Arn.) Sprague, *Lithocarpus glaber* (Thunb.) Nakai in order. *Populus Canadensis* Moench., *Paulownia fortunei* Hemsl., and *Sabina chinensis* (Linn.) Ant.

收稿日期: 2010 - 09 - 09 修回日期: 2010 - 10 - 24

基金项目: 江西省科技厅课题(20072425)

作者简介: 肖金香(1952—), 女, 教授, 主要从事林火管理教学和研究工作, E-mail: Xiaojinxiangjx@126.com。

were of common fire - resistance *Phyllostachys pubescens*, *Sabina chinensis* cv. *kaizuka*, *Pinus massoniana* Lamb., *Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook., *Pinus elliottii* Engelm were of relatively weak fire - resistance. Six species, namely (*Acer fabri* Hance., *Cryptomeria fortunei* Hooibrenk ex Otto et Dietr., *Cedrus deodara* (Roxb.) G. Don., *Metasequoia glyptostroboides* Hu et cheng, *Podocarpus macrophyllus* (Thunb.) D. Don, *Pseuxdolarix kaempferi* (Lindl) Gord.) were of poor fire - resistance.

**Key words:** mountain tree species; physical and chemical properties; combustion; fire - resistance; grey relational analysis

森林火灾是全球十大自然灾害之一。不但破坏森林资源,造成人民生命财产安全,还会使生态环境恶化。在 20 世纪 80 年代前,江西平均每年发生森林火灾 800 余起。1988 年我国颁布了国家《森林防火条例》,1989 年江西省又颁布了《江西省森林防火条例》,由于政府对森林火灾的高度重视,20 世纪 80 ~ 90 年代江西的森林火灾下降到平均每年 400 起左右。随着全球气候变暖,2003 年又发生了 1000 多起。2008 年初的冰冻雪害使林内可燃物载量增加了 49%,仅 2008 年春节到 3 月 6 日全省就发生了 277 起。开展森林防火的研究对保护森林资源、保护生态环境、保护人民生命财产和国民经济发展具有重大意义,开展树种的抗火性研究是预防森林火灾的重要措施之一。

国外对树种的抗火性研究较早,美国学者 Byram G M 早在 1959 年就对森林可燃物的燃烧性进行了研究<sup>[1]</sup>。1970 年,Anderson H E 对植物的易燃性进行了研究,最早提出植物易燃性定义<sup>[2]</sup>。1984 年 Penafiel S R 在菲律宾通过火烧试验,对几种抗火性树种进行了燃烧性试验,认为赤杨树种抗火性能较强<sup>[3]</sup>。1985 年, Dickinson K J M and Kirkpatrick J B 对塔斯马尼亚的一些重要树种及可燃物的易燃性及热值进行了实验研究,认为针叶比阔叶易燃<sup>[4]</sup>。1990 年 Wilgen B W 对南非某些树种的燃烧性研究选用了生物量、可燃物的垂直分布和大小、叶含水率、热值和粗脂肪含量等指标<sup>[5]</sup>。

我国对树种抗火性能的研究始于 20 世纪 80 年代中期,虽然较国外发达国家晚,但发展速度较快,研究技术也较先进,研究内容的范围较广,在近 30 年的发展中取得了许多成果。国内众多学者选用了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<sup>[6-17]</sup>,评价的方法有综合评价指标法、AID 法、层次分析法、多元线性回归、主成分分析法、加权赋值、模糊聚类、灰色理论、Fuzzy 逻辑的思想和专家咨询法、多目标决策法<sup>[18-23]</sup>等。

本研究选择江西常见的 28 种山上树种抗火性试验,利用树种间的燃烧性和抗火性差异,用关联度方法选择出抗火性强的树种,旨在为防火树种的筛选提供理论依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验材料

本研究选择南昌西郊梅岭山区、湾里山区和北郊江西农业大学后山,采集 28 种山上树种作为研究材料。选择的主要树种为阴香(*Cinnamomum burmanii* (C. G. et Th. Nees) Bl.)、大叶樟(*Cinnamomum bodinieri* Levl.)、圆柏(*Sabina chinensis* (Linn.) Ant.)、龙柏(*Sabina chinensis* (Linn.) Ant. 'Kaizuka')、罗汉松(*Podocarpus macrophyllus* (Thunb.) D. Don)、厚皮香(*Ternstroemia gymnanthera* (Wight et Arn.) Sprague)、苦槠(*Castanopsis sclerophylla* (Lindl.) Schott.)、毛竹(*Phyllostachys pubescens*)、樟树(*Cinnamomum camphora* (L.) presl.)、马尾松(*Pinus massoniana* Lamb.)、山杜英(*Elaeocarpus sylvestris*(Lour.) Pior)、木荷(*Schima superba* Gardn. et Champ.)、加杨(*Populus Canadensis* Moench.)、冬青(*Ilex purpurea* Hassk.)、杉木(*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.)、泡桐(*Paulownia fortunei* Hemsl.)、油茶(*Camellia oleifera* Abel.)、四川山矾(*Symplocos setchuancensis* Brand)、水杉(*Metasequoia glyptostroboides* Hu et cheng)、雪松(*Cedrus deodara* (Roxb.) G. Don.)、湿地松(*Pinus elliottii* Engelm.)、中国柳杉(*Cryptomeria fortunei* Hooibrenk ex Otto et Dietr.)、火力楠(*Michelia niacclurei* Dandy.)、红翅槭(*Acer fabri* Hance)、金钱松(*Camptotheca acuminata* Decne.)、石栎(*Lithocarpus glaber*(Thunb.) Nakai)、喜树(*Camptotheca acuminata* Decne.)、鹅掌楸(*Liriodendron chinense* (Hemsl.) Sarg.)。

## 1.2 样品采集与制备

按春季、秋季、冬季3个季节,选择晴天在树冠阳面不同部位采集鲜叶,秋季采集了枝条及树皮,均3次重复。试样的采集规格如下:(1)叶。选择功能叶片,去除老叶、病叶、残叶,每个重复500g;(2)枝。直径0.5~1.5cm,长度10cm左右,每个重复500g;(3)皮。取树干离地面1.3m处,大小7cm×7cm。样品采下后用塑料袋封好带回室内,用电子天平称鲜重,然后将样品在室内铺开,边晾边置于烘箱烘至恒重,计算含水率。将恒重的样品一半做室外燃烧试验,留一半做化学成分分析。将烘干留取的一半样品用粉碎机粉碎,过60目筛,装入试剂瓶中备试(参照中华人民共和国林业行业标准LY/T 1267-1999森林植物与森林枯枝落叶层样品的制备)。

## 1.3 研究方法

1.3.1 理化性质指标测定 含水率测定采用105℃烘干恒重法;粗灰分测定采用干灰化法;粗脂肪采用索氏残余法测定;木质素采用硫酸水解法测定;纤维素采用硫酸和氢氧化钠先后沸腾水解的方法来测定。

1.3.2 树皮厚度的测定 利用游标卡尺对采回的鲜树皮进行厚度测定,并对其结构进行描述。测定方法参照GB/T 19367.1—2003。厚度测定4周取8次实测值的平均值为这块树皮的厚度值,做3个重复即得某种树种树皮的平均厚度。

1.3.3 热辐射作用下树皮质量剩余率及内表面温度升高速率的测定 采用李世友方法<sup>[24]</sup>,将树皮置于电子天平上,利用电炉进行热辐射,时间10min,每20s读1次失重值,同时用红外测温仪测量树皮内表面温度。本研究统一采用10min质量剩余率,即在同一热源热辐射10min后的质量剩余率。

$$\text{计算公式为: } V(\%) = \left[1 - \frac{L}{M}\right] \times 100\% \quad (1)$$

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

1.3.4 不同树种枝叶燃烧试验 将烘至绝干的枝叶样品,取相同重量放置自制燃烧床上,点燃后用秒表计时,观测火焰高度、燃烧时间,计算不同树种的火烧强度。火焰高度、燃烧时间实测。火烧强度用火焰高度来估算,计算公式如下<sup>[25]</sup>:

$$I = 273 h^{2.17} \quad (2)$$

$I$ : 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 按树冠结构、萌芽力、自然整枝、环境适应性和物候特征5个因子对28种山上树种进行评价。

1.3.6 不同树种抗火性综合评价方法 本研究应用灰色关联分析对不同树种抗火性进行综合评价。灰色系统理论(Grey Theory,简称灰理论)由我国学者邓聚龙于20世纪70年代末、80年代初提出,已广泛应用于社会、经济、科技、农业、生物等各个领域<sup>[23]</sup>。

(1) 灰色关联分析基本原理。灰色关联分析是定量地比较或描述系统之间或系统中各因素之间,在发展过程中随时间而相对变化的情况,即分析时间序列曲线的几何形状,用它们变化的大小、方向与速度等的接近程度,来衡量它们之间关联性大小。如果两比较序列的变化态势基本一致或相似,其同步变化程度较高,即可以认为两者关联程度较大;反之,两者关联程度较小。这种用于度量系统之间或因素之间随时间变化的关联性大小的尺度,称为关联度。关联度分析实质上是几何曲线间几何形状的分析比较,即几何形状越接近,发展变化态势越接近,则关联度越大。

(2) 灰色关联分析基本步骤。①对原始数据进行无量纲化处理。由于原始数据量纲不同,各指标之间不便于比较,或在比较时难以得到正确的结论。因此在进行灰色关联分析时,一般都要进行无量纲化的数据处理。处理的主要方法有初值化变换、均值化变换、极差变换、效果测度变换等。本研究采用效果测度变换方法。对于抗火能力随指标值增加而增强的因素,采用上限测度,计算公式为:

$$X_{ij} = \frac{Y_{ij}}{Y_{j\max}} \quad (3)$$

对于抗火能力随指标值增加而减弱的因素,采用下限测度,计算公式为:

$$X_{ij} = \frac{Y_{j\min}}{Y_{ij}} \quad (4)$$

②确定参考数列  $X_0$  和比较数列  $X_i$ 。参考数列一般指由理想指标组成的数列,反映各指标的最佳值。

③求参考数列与比较数列的灰色关联系数。设参考数列为  $X_0 = \{X_0(1), X_0(2), \dots, X_0(n)\}$ , 被比较数列为  $X_i = \{X_i(1), X_i(2), \dots, X_i(n)\} (i = 1, 2, \dots, m)$ 。则实数:

$$\zeta_i(k) = \frac{\min_j |X_0(k) - X_i(k)| + \rho \max_j |X_0(k) - X_i(k)|}{|X_0(k) - X_i(k)| + \rho \max_j |X_0(k) - X_i(k)|} \quad (5)$$

为  $X_i$  对于  $X_0$  在  $k$  点的关联系数。 $\rho$  为分辨系数,是 0 与 1 之间的某一取定的数,  $\rho$  值不同,关联系数的取值不同,一般取  $\rho = 0.5$ 。

④求关联度  $r_i$ 。定义  $X_i$  对于  $X_0$  的关联度为:

$$r_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \zeta_i(k) \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (6)$$

⑤排关联序。为准确评价各比较数列对参考数列的关联程度,需将关联度依大小顺序排成一列  $r_1, r_2, \dots, r_m$ , 称为关联序。关联度越大,即表明评价对象与参考对象越接近,据此可对不同评价对象进行排序。

## 2 结果与分析

通过实验测定,得到不同树种抗火性能各指标数据(表 1)。

表 1 28 种常见树种抗火性能实测值

Tab. 1 The measured value of fire resistance of 28 mountain species

树种 Species	不同器官理化性质 Physics and chemistry features in different organs							燃烧特性 Burning features		树皮抗火性 Fire resistance of barks			生物生态学特性 Biological and ecology features				
	含水率 Moisture content	树叶 Leaves		粗灰分 Crude ash	粗脂肪 Crude fat	木质素 Lignin	粗纤维 Curde fiber	燃烧时间 Burning times	火烧强度/ (Kcal (s·m) <sup>-1</sup> ) Fire intensity	树皮厚度 Barks thickness	质量内表升温 Remain Temperature		树冠结构 Structure	萌芽率 Bud rate	自然整枝 Natural Pruning	环境适应性 Environ-ment adapt	物候特征 Bio-logical climate features
		热值 /(KJ·kg <sup>-1</sup> ) Leaves heating value	热值 /(KJ·kg <sup>-1</sup> ) Leaves heating value								速率/% -ing rate	速率/(℃·s <sup>-1</sup> ) - rising					
四川山矾 <i>Symplocos setchuanensis</i> Brand	54.832	280	8359.62	13.844	2.269	24.357	33.416	104.47	100.295	6.50	89.34	0.1183	3	2	3	3	3
冬青 <i>Ilex purpurea</i> Hassk.	49.988	264	9127.38	5.577	4.07	37.611	28.082	59.65	172.105	5.80	85.03	0.1817	3	3	3	3	3
火力楠 <i>Michelia niaclurei</i> Dandy.	55.075	260	9518.22	4.616	2.934	41.984	37.408	81.615	148.555	4.60	84.85	0.1833	3	3	3	3	3
木荷 <i>Schima superba</i> Gardn. et Champ.	54.048	282	8256.61	7.648	1.808	42.128	37.746	97.34	224.08	5.30	81.66	0.1683	3	3	2	3	3
樟树 <i>Cinnamomum camphora</i> (L.) presl.	51.773	255	11257.21	6.242	3.942	40.359	44.406	78.19	195.865	12.30	67.72	0.1733	3	3	2	3	3
喜树 <i>Camptotheca acuminata</i> Decne.	61.649	263	12537.43	10.69	2.294	34.369	32.298	61.47	126.55	11.20	61.48	0.1250	2	3	3	1	1
阴香 <i>Cinnamomum burmanii</i> (C. G. et Th. Nees) BL.	54.959	250	12061.25	6.849	3.081	43.854	32.074	87.165	143.49	6.30	93.26	0.1500	3	2	3	2	3
大叶樟 <i>Cinnamomum bodinieri</i> Levl.	49.777	254	11629.86	6.386	3.715	49.384	35.523	92.835	152.45	9.52	94.13	0.0783	3	3	2	1	3



应用灰色关联分析法,选择各树种的含水率、燃点、热值、粗灰分、粗脂肪、木质素、粗纤维、燃烧时间、火烧强度、树皮厚度、热辐射作用下树皮的质量剩余率和内表面升温速率以及其生物生态学特性等 17 个指标值作为评价因素,分别对 28 种常见树种抗火性进行综合评价。各个因素指标值采用加权法进行计算,计算公式为: 指标值 = 树叶实测值 × 0.4 + 树枝实测值 × 0.3 + 树皮实测值 × 0.3。不同树种的抗火性能指标值构成一个比较序列,山上树种共 28 个比较序列。为使各指标值具有可比性,采用效果测度变换对原始数据进行无量纲化处理。经效果测度变换后,抗火性能指标值均在 0 ~ 1,且各抗火性能指标的最佳值均为 1。取各抗火性能指标的最佳值为理想对象,由此得到参考数列:  $X_0 = \{1, 1, \dots, 1\}$ 。根据参考数列及效果测度变换后的抗火性能指标值,利用公式计算关联系数和关联度,结果如表 2 所示。

表 2 28 种常见树种抗火性的关联系数和关联度

Tab. 2 The grey correlation coefficient and correlation degree of fire resistance of 28 mountain species

树种 Species	不同器官理化性质 Physics and chemistry features in different organs						燃烧特性 Burning features		树皮抗火性 Fire resistance of barks			生物生态学特性 Biological and ecology features					总排抗火 关联度 Corre Alw Fire - lation - aysisis degree sor - tan - ting - ce					
	含水 率 Moisture content /%	树叶 燃点 Leaves flash point /°C	树叶 热值 Leaves heating value (KJ · kg <sup>-1</sup> )	粗灰分 Crude ash /%	粗脂肪 Crude fat /%	木质素 Lignin /%	粗纤维 Curdle fiber /%	燃烧 时间 Burning times (s)	强度/ (Kcal · s <sup>-1</sup> )	树皮 厚度 Barks thickness /cm	剩余 率/% Remain - ing rate	内表升温 速率/(°C · s <sup>-1</sup> ) Temperature - rising	树冠 结构 Struc - ture	萌芽 力 Bud rate	自然 整枝 Natural Pruning	环境 适应性 Environ - ment adapt		物候 特征 Bio - logical climate features				
																			关联度 Corre Alw Fire - lation - aysisis degree	排序 sor - tan - ting - ce	关联度 Corre Alw Fire - lation - aysisis degree	排序 sor - tan - ting - ce
四川山矾 <i>Symplocos setchuanensis</i> Brand	0.770 3	0.984 2	0.972 8	1.000 0	0.473 6	1.000 0	0.351 3	0.506 8	1.000 0	0.418 3	0.851 2	0.442 9	1.000 0	0.569 5	1.000 0	1.000 0	1.000 0	0.784 8	1	强		
冬青 <i>Ilex purpurea</i> Hassk.	0.679 3	0.873 5	0.822 1	0.424 7	0.381 2	0.555 8	0.361 5	1.000 0	0.513 8	0.402 4	0.783 8	0.383 1	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	0.716 5	2		
火力楠 <i>Michelia niaclurei</i> Dandy.	0.775 5	0.849 7	0.768 9	0.398 1	0.421 3	0.512 2	0.345 9	0.621 0	0.5758	0.377 8	0.781 3	0.382 3	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	0.694 7	3		
木荷 <i>Schima superba</i> Gardn. et Champ.	0.754 0	1.000 0	1.000 0	0.496 3	0.550 5	0.511 1	0.345 5	0.532 4	0.443 9	0.391 8	0.738 1	0.390 9	1.000 0	1.000 0	0.569 5	1.000 0	1.000 0	1.000 0	0.689 6	4		
樟树 <i>Cinnamomum camphora</i> (L.) presl.	0.710 2	0.821 6	0.623 2	0.445 3	0.384 3	0.526 5	0.338 9	0.650 3	0.474 7	0.622 1	0.594 8	0.387 8	1.000 0	1.000 0	0.569 5	1.000 0	1.000 0	1.000 0	0.655 8	5		
喜树 <i>Camptotheca acuminata</i> Decne.	0.949 4	0.867 4	0.563 6	0.659 3	0.470 8	0.602 2	0.353 1	0.937 1	0.680 0	0.569 5	0.547 2	0.432 6	0.569 5	1.000 0	1.000 0	0.398 1	0.398 1	0.398 1	0.646 9	6	较强	
阴香 <i>Cinnamomum burmanii</i> (C. G. et Th. Nees) BL.	0.773 0	0.795 3	0.582 9	0.466 0	0.413 8	0.497 9	0.353 5	0.582 8	0.594 3	0.413 6	0.923 4	0.404 7	1.000 0	0.569 5	1.000 0	0.569 5	1.000 0	0.643 5	7			
大叶樟 <i>Cinnamomum bodinieri</i> Levl.	0.675 8	0.816 2	0.603 2	0.450 1	0.390 4	0.465 2	0.348 3	0.552 3	0.563 1	0.504 3	0.941 1	0.574 2	1.000 0	1.000 0	0.569 5	0.398 1	1.000 0	0.638 3	8			
苦槠 <i>Castanopsis sclerophylla</i> (Lindl.) Schott.	0.662 8	0.954 0	0.579 7	0.419 6	0.464 0	0.496 0	0.340 0	0.576 8	0.449 0	0.674 2	0.756 2	0.5223	0.569 5	0.569 5	0.569 5	1.000 0	1.000 0	0.623 7	9			
鹅掌楸 <i>Liriodendron chinense</i> (Hemsl.) Sarg.	1.000 0	0.785 3	0.5466	0.612 8	0.345 2	0.854 7	0.361 6	0.9256	0.454 0	0.363 0	0.814 2	0.423 6	1.000 0	0.569 5	0.569 5	0.569 5	0.398 1	0.623 1	10			
山杜英 <i>Elaeocarpus sylvestris</i> (Lour.) Pior	0.975 6	0.879 7	0.501 0	0.489 1	1.000 0	0.580 8	0.354 4	0.584 7	0.560 0	0.356 0	0.6362	0.3846	0.5695	0.569 5	0.569 5	1.000 0	0.569 5	0.622 3	11			
油茶 <i>Thea Oleosa</i> Lour. ( <i>Camellia oleifera</i> Abel.)	0.815 8	0.810 9	0.531 2	0.4507	0.700 4	0.605 9	0.338 9	0.590 5	0.488 6	0.338 1	0.7828	0.3821	0.569 5	1.000 0	0.569 5	0.569 5	1.000 0	0.620 3	12			
厚皮香 <i>Ternstroemia gymnanthera</i> (Wight et Arn.) Sprague	0.720 6	0.905 3	0.637 6	0.403 1	0.429 5	0.545 7	0.374 3	0.715 4	0.539 3	0.4295	1.0000	0.627 3	1.000 0	0.398 1	0.569 5	0.569 5	0.569 5	0.613 8	13			
石栎 <i>Lithocarpus glaber</i> (Thunb.) Nakai	0.659 9	0.838 2	0.4828	0.444 4	0.422 4	0.489 3	1.000 0	0.528 4	0.4136	0.368 4	0.655 1	0.401 9	1.000 0	0.569 5	0.569 5	0.569 5	1.000 0	0.612 5	14			

续表 2 28 种常见树种抗火性的关联系数和关联度

Tab. 2 The grey correlation coefficient and correlation degree of fire resistance of 28 mountain species

加杨 <i>Populus Canadensis</i> Moench.	0.793 7	0.800 4	0.490 3	0.508 3	0.429 5	0.550 2	0.346 7	0.714 9	0.465 1	0.477 7	0.576 0	0.392 0	0.569 1	1.000 0	1.000 0	0.5695	0.398 1	0.593 0	15	一般
泡桐 <i>Paulownia fortunei</i> Hemsl.	0.923 1	0.790 3	0.494 7	0.422 8	0.405 7	0.550 9	0.343 9	0.594 4	0.645 8	0.398 1	0.540 9	0.414 2	1.000 0	1.000 0	0.569 5	0.569 5	0.398 1	0.591 9	16	
圆柏 <i>Sabina chinensis</i> (Linn.) Ant.	0.673 3	0.775 5	0.483 0	0.452 4	0.338 5	0.505 0	0.350 2	0.465 8	0.493 6	0.400 2	0.711 6	0.426 8	1.000 0	1.000 0	0.398 1	0.569 5	1.000 0	0.590	17	
毛竹 <i>Phyllostachys pubescens</i>	0.677 5	0.770 7	0.477 7	0.476 3	0.440 2	0.915 3	0.334 0	0.684 7	0.386 1	0.643 7	0.637 0	1.000 0	0.398 1	0.398 1	0.398 1	0.569 5	0.569	0.575 1	18	较弱
龙柏 <i>Sabina chinensis</i> (Linn.) Ant. 'Kaizuka'	0.775 9	0.765 9	0.457 7	0.531 4	0.356 4	0.529 3	0.351 4	0.440 8	0.763 7	0.373 6	0.504 5	0.364 8	0.569 5	1.000 0	0.398 1	0.569 5	1.000 0	0.573 7	19	
马尾松 <i>Pinus massoniana</i> Lamb.	0.691 4	0.705 1	0.463 2	0.358 1	0.370 0	0.467 7	0.339 5	0.693 0	0.656 5	0.747 7	0.801 5	0.492 1	0.398 1	0.398 1	0.398 1	1.000 0	0.569 5	0.561 7	20	
杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i> (Lamb.) Hook.	0.684 6	0.639 8	0.450 6	0.387 5	0.354 2	0.5578	0.335 1	0.636 6	0.447 0	0.387 7	0.62 4	0.419 7	0.398 1	1.000 0	0.569 5	0.569 5	1.000 0	0.556 4	21	
湿地松 <i>Pinus elliotii</i> Engelm.	0.778 3	0.663 7	0.472 3	0.344 2	0.352 3	0.449 4	0.342 3	0.555 4	0.570 2	1.000 0	0.791 0	0.537 1	0.569 5	0.398 1	0.569 5	0.398 1	0.569 5	0.550 6	22	
红翅槭 <i>Acer fabri</i> Hance	0.726 8	0.649 8	0.465 0	0.522 7	0.482 7	0.598 0	0.333 3	0.634 6	0.484 7	0.361 2	0.617 7	0.376 5	0.569 5	0.569 5	0.569 5	0.569 5	0.569 5	0.535 3	23	弱
中国柳杉 <i>Cryptomeria fortunei</i> Hooibrenk ex Otto et Dietr.	0.748 6	0.697 2	0.465 4	0.418 7	0.357 9	0.525 7	0.336 3	0.482 4	0.433 7	0.354 3	0.502 2	0.368 7	1.000 0	0.569 5	0.398 1	0.398 1	1.000 0	0.532 8	24	
雪松 <i>Cedrus deodara</i> (Roxb.) G. Don.	0.696 5	0.667 3	0.458 3	0.391 3	0.388 7	0.460 6	0.346 8	0.657 3	0.5268	0.477 7	0.742 3	0.409 2	1.000 0	0.398 1	0.398 1	0.398 1	0.569 5	0.528 6	25	
水杉 <i>Metasequoia glyptostroboides</i> Hu et cheng	0.909 9	0.646 4	0.448 6	0.560 5	0.382 5	0.496 0	0.348 4	0.596 5	0.806 0	0.425 5	0.581 7	0.381 4	0.569 5	0.398 1	0.569 5	0.398 1	0.398 1	0.524 5	26	
罗汉松 <i>Podocarpus macrophyllus</i> (Thunb.) D. Don	0.745 0	0.693 3	0.456 3	0.501 9	0.400 3	0.506 0	0.344 6	0.510 0	0.434 5	0.360 1	0.931 9	0.450 5	0.398 1	0.569 5	0.569 5	0.398 1	0.569 5	0.519 9	27	
金钱松 <i>Camptotheca acuminata</i> Decne.	0.899 2	0.678 2	0.453 5	0.417 3	0.413 5	0.510 1	0.345 4	0.567 8	0.650 3	0.428 0	0.431 5	0.370 5	0.398 1	0.398 1	0.569 5	0.398 1	0.569 5	0.499 9	28	

根据关联度计算结果(表 2) 按总排序,把关联度在 0.66 以上的划分为抗火性强的树种 0.61 ~ 0.65 为较强抗火树种 0.59 ~ 0.60 为一般抗火树种 0.55 ~ 0.58 为抗火性较弱的树种 0.50 ~ 0.54 为弱的抗火树种。结果表明:抗火性强的树种有 5 种,由强到弱依次是四川山矾、冬青、火力楠、木荷和樟树;抗火性较强的有 9 种,由强到弱依次是喜树、阴香、大叶樟、苦槠、鹅掌楸、山杜英、油茶、厚皮香、石栎;抗火性一般的有 3 种,由强到弱依次是加杨、泡桐和圆柏;抗火性较弱的有 5 种,由强到弱依次是毛竹、龙柏、马尾松、杉木和湿地松;抗火性差的有 6 种,由强到弱依次是红翅槭、柳杉、雪松、水杉、罗汉松和金钱松。

### 3 讨论

本试验结果符合阔叶树难燃和抗火性强、针叶树易燃和抗火性差的规律。与前人的研究结果是一致的。对抗火性较强的喜树、抗火性一般的加杨、泡桐 3 个树种有待进一步研究确定。因这 3 个树种均为落叶树种,有可能试验误差所致。抗火性强的树种有待下一步防火林带建设的实践应用。

#### 参考文献:

[1]Byram 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 312 - 319.

- [3] Penafiel S R. Determination of plant species for fuel breaks [J]. *Sylvatrop*, 1984, 12(9): 21–23.
- [4] Dickinson K J M, Kirkpatrick J B. The flammability and energy content of some important plant species and fuel components in the forests of southern Tasmania [J]. *J Biogeography*, 1985, 2(12): 121–134.
- [5] Wilgen B W. The role of vegetation structure and fuel chemistry in excluding fire from forest patches in the fire prone fynbos shrub lands of South Africa [J]. *Journal of Ecology Oxford*, 1990, 78(1): 210–222.
- [6] 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.
- [7] 薄颖生, 韩恩贤, 韩刚, 等. 陕西省生物防火林带树种选择研究 [J]. *西北林学院学报*, 1997, 12(4): 24–30.
- [8] 王得祥, 张景群, 吴宽让, 等. 可燃性气体逸出指标应用于树种燃烧性评价的研究 [J]. *西南林学院学报*, 1999, 19(3): 176–181.
- [9] 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): 2–6.
- [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] 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.
- [13] 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.
- [14] 鞠琳, 胡海清, 孙龙, 等. 东北三大硬阔的阻火性能 [J]. *东北林业大学学报*, 2008, 36(1): 28–30.
- [15] 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.
- [16] 李世友, 罗文彪, 舒清志, 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.
- [17] 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): 1097–1103.
- [18] 顾凤岐, 王世江. 大兴安岭主要树种的燃烧性和火性状的 Fuzzy 的综合排序 [J]. *森林防火*, 1995, 12(2): 17–20.
- [19] 张景群, 康永祥, 徐钊. 秦岭松科常绿种叶燃烧性排序 [J]. *东北林业大学学报*, 2001, 29(4): 16–17.
- [20] 乐新贵, 刘细燕, 杨帆, 等. 层次分析法在防火林带树种选择上的应用 [J]. *江西林业科技*, 2002(2): 12–14.
- [21] 李立伟. 树种防火性能的灰色综合评判 [J]. *防护林科技*, 2006, 23(4): 17–18.
- [22] 王益和. 灰色关联分析在树种抗火性能评价中的应用 [J]. *防护林科技*, 2007, 24(5): 21–22.
- [23] 邓聚龙. 灰理论基础 [M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2002: 30–35.
- [24] 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.
- [25] 胡海清. 林火生态与管理 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2005: 79–80.

(上接第 46 页)

- [7] 中华人民共和国农业部公告. 中华人民共和国进境植物检疫性有害生物名录 [S]. 北京, 2007.
- [8] 文朝慧, 刘雅莉, 刘箐, 等. 从进境黄瓜种子中截获黄瓜绿斑驳花叶病毒 [J]. *植物检疫*, 2010, 23(5): 82.
- [9] Varveri C, Vassilakos N, Bem F. Characterization and detection of *Cucumber green mottle mosaic virus* in Greece [J]. *Phytoparasitica*, 2002, 30(5): 493–501.
- [10] 赵世恒, 李明福, 张永江, 等. 引进种质西瓜中黄瓜绿斑驳花叶病毒的检测 [J]. *北京农学院学报*, 2007, 22(2): 32–34.
- [11] Shim C K, Han K S, Lee J H, et al. Isolation and characterization of watermelon isolate of *Cucumber green mottle mosaic virus* (CGMMV-HY1) from watermelon plants with severe mottle mosaic symptoms [J]. *Plant Pathology*, 2005, 2(2): 167–171.
- [12] Yoon J Y, Choi G S, Choi S K, et al. molecular and biological diversities of *Cucumber green mottle mosaic virus* from cucurbitaceous crops in Korea [J]. *Phytopathology*, 2008, 156: 408–412.
- [13] Slavokhotova A A, Andreeva E N, Shijan A N, et al. Specifics of the coat protein gene in russian strains of the *Cucumber green mottle mosaic virus* [J]. *Russian Journal of Genetics*, 2007, 43(11): 1221–1226.
- [14] Lee G P, Min B E, Kim C S, et al. Plant virus cDNA chip hybridization for detection and differentiation of four cucurbit-infecting tobamoviruses [J]. *Virological Methods*, 2003, 110: 19–24.
- [15] 邓丛良, 江明, 汪万春, 等. 应用 MNP-RT-PCR 方法检测黄瓜绿斑驳花叶病毒 [J]. *植物病理学报*, 2008, 38(4): 436–440.
- [16] Chen H Y, Zhao W J, Gu Q S, et al. Real time TaqMan RT-PCR assay for the detection of *Cucumber green mottle mosaic virus* [J]. *Virological methods*, 2008, 149: 326–329.