

亚热带季风区不同林型可燃物理化 性质及燃烧性研究

祝必琴¹, 黄淑娥¹, 田俊¹, 肖金香^{2*}

(1. 江西省气象科学研究所, 江西 南昌 330046; 2. 江西农业大学 园林与艺术学院, 江西 南昌 330045)

摘要:研究亚热带季风区内不同林型可燃物理化性质和燃烧性差异,用这种差异阻抗外界林火的干扰,对森林防火有极其重要意义。通过对亚热带季风气候区内不同林型理化性质及燃烧时间测定分析,结果表明:(1)不同林型中,针叶林含水率、燃点及粗灰分含量最低,粗纤维、粗脂肪及木质素含量最高,燃烧性最强。(2)不同树种均以树叶燃点最低、粗脂肪含量最高,树枝粗灰分及粗纤维含量最高;树叶易燃性强,而树枝则是燃烧性较强。(3)不同林型树叶燃烧时间与含水率显著相关,与粗灰分及粗纤维含量极显著相关;不同林型树枝燃烧时间与含水率、粗灰分及粗纤维含量显著相关,建立相关模型,可以揭示各种林型理化性质对可燃物燃烧性的影响机理。

关键词:森林可燃物;理化性质;燃烧性;林型

中图分类号:S762.1 文献标志码:A 文章编号:1000-2286(2011)06-1149-06

A Study on the Physical-chemical Properties and Flammability of Different Forest Types in Semi-tropical Monsoon Area

ZHU Bi-qin¹, HUANG Shu-e¹, TIAN Jun¹, XIAO Jin-xiang^{2*}

(1. Meteorological Research Institute of Jiangxi Province, Nanchang 330046, China; 2. College of Landscape Architecture and Art, JAU, Nanchang 330045, China)

Abstract: It is very important to study and use the difference in physical-chemical properties and flammability of different forest types in the Semi-tropical monsoon area. The physical-chemical properties and combustion time of different forest types in the Semi-tropical monsoon area were determined and analyzed, with the following result: (1) In different forest types, the coniferous forest the moisture content, ignition point, and crude ash content were the lowest in the coniferous forest; but the crude fiber content, crude fats content, and lignin content were the highest, so the flammability was the strongest. (2) In different species components, the ignition point of leaves was the lowest with the highest crude fat content; the crude ash content and crude fiber content were the highest in branches, so leaves were easier to start burning, while the flammability of branches was stronger. (3) In different forest types, the combustion time of leaves had a significant correlation with moisture content, and had a very significant correction with crude ash content and crude fiber content, the combustion time of branches had a significant correlation with moisture content, crude ash content and

收稿日期:2011-09-10 修回日期:2011-10-08

基金项目:国家自然科学基金项目(40865004)

作者简介:祝必琴(1983—),女,工程师,硕士,主要从事农业气象和卫星遥感监测应用研究, E-mail: zhubiqin@126.com; * 通讯作者:肖金香,教授,硕士生导师,主要从事林火管理教学与研究。

crude fiber content. Correlative models could reveal the influencing mechanism of physical-chemical properties of different forest types to flammability.

Key words: forest fuel; physical and chemical properties; flammability; forest types

森林燃烧必须具备3个要素,即森林可燃物、氧气和一定温度,而森林可燃物是森林火灾发生的物质基础,其理化性质直接影响森林燃烧性及其火行为特点。因此,对可燃物理化性质进行测定分析,是现代林火管理中最重要、最基础的工作。

森林可燃物理化性质的测定国外20世纪60年代就开始了这方面的研究工作。如 Van Dyuneetal 等^[1]测定了1955—1960年美国多种草本植物的抽提物和灰分含量等化学成分,得出这些化学成分随林龄增长有增加的趋势; Luke 等^[2]测定了澳大利亚多数可燃物的热值后,认为可用20 000 kJ/kg 作为热值平均数在实际中应用; Chandler^[3]测定了不同类型树种在各个季节树叶的含水率,得出阔叶和灌木叶含水率随季节变化很大,春季树叶刚萌发,含水率最大,以后随季节逐渐降低;针叶类树叶含水率随季节变化不明显, Jameson^[4]、Hough^[5]等也做了相关研究。我国森林可燃物理化性质的研究始于20世纪80年代中期,刘自强等^[6]、胡海清^[7]、单延龙等^[8]、骆介禹^[9]、王刚^[10]等人对大兴安岭多种森林可燃物含水率、燃点及灰分、热值和抽提物进行了测定分析,确定了森林不同类型可燃物理化性质的差异,根据这些差异,确定了燃烧性等级划分指标,将可燃物划分为易燃、可燃和难燃3类,建立了可燃物燃烧热值的回归方程;肖金香^[11-13]、祝必琴等人^[14]对亚热带季风气候区内的不同树种理化性状也进行过研究,筛选出了庐山易燃和难燃树种和江西森林防火树种。本研究开展亚热带季风气候区内不同林型可燃物含水率、燃点、粗灰分、粗脂肪、粗纤维及木质素含量理化性质测定,分析其对燃烧性的影响机理,旨在为亚热带地区森林着火、蔓延及防火树种的选择提供理论依据。

1 试验设计与实验方法

1.1 试验设计

本研究样品采集主要在江西井冈山自然保护区和南昌湾里区采集3种针叶树种:杉木 [*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.]、马尾松 (*Pinus massoniana* Lamb.)、黄山松 (*Pinus taiwanensis* Hayata)、12种常绿阔叶树种:红楠 (*Machilus thunbergii* Sieb. et Zucc.)、钩栲 (*Castanopsis tibetana* Hance)、青冈 [*Cyclobalanopsis glauca* (Thunberg) Oersted]、云山青冈 [*Cyclobalanopsis sessilifolia* (Blume) Schottky]、木荷 (*Schima superba* Gardn. et Champ.)、甜槠 [*Castanopsis eyrei* (Champ. ex Benth.) Tutch.]、苦槠 (*Castanopsis sclerophylla*)、樟树 [*Cinnamomum philippinense* (Merr.) C. E. Chang]、罗浮栲 (*Castanopsis fabri* Hance)、鹿角栲 (*Castanopsis lamontii* Hance)、杜英 (*Elaeocarpus decipiens* Hemsl.)、冬青 (*Ilex chinensis* Sims)、10种落叶阔叶树种:拟赤杨 [*Alniphyllum fortunei* (Hemsl.) Makino]、水青冈 (*Fagus longipetiolata* Seem.)、枫香 (*Liquidambar formosana* Hance)、麻栎 (*Quercus acutissima* Carr.)、化香 (*Platycarya strobilacea* Sieb. et Zucc.)、南酸枣 [*Choerospondias axillaria* (Roxb.) Burt et Hill]、青榨槭 (*Acer davidii* Franch.)、泡桐 [*Paulownia fortunei* (Seem.) Hemsl.]、油桐 [*Vernicia fordii* (Hemsl.) Airy Shaw]、加杨 (*Populus × canadensis* Moench) 及2种灌木:猴头杜鹃 (*Rhododendron simiarum* Hance)、油茶 (*Camellia oleifera* Abel) 的叶、枝、皮。叶为成熟功能叶,小枝直径为0.5~1.0 cm,枝、叶样品各采500 g,重复3次,树皮采自胸高处,为7×7 cm²,重复3次。将天平带到野外,采下的样品及时称鲜重,用塑料袋密封带回实验室,在105℃的烘箱内烘至恒重后,一半用粉碎机粉碎,过60目筛,制成试样备用;一半留于燃烧实验。

1.2 实验方法

1.2.1 可燃物含水率的测定 含水率测定采用烘干恒重法。将称好的鲜重,放入105℃的烘箱内烘烤24 h后取出并称其干质量。计算公式为:

$$\text{绝干含水率}(\%) = \frac{\text{样品鲜质量} - \text{样品干质量}}{\text{样品鲜质量}} \times 100 \quad (1)$$

1.2.2 可燃物燃点的测定 燃点采用DW-02型着火温度测定仪测定。

1.2.3 可燃物粗灰分含量的测定 粗灰分含量测定采用干灰化法。将试样放入茂福炉中,在一定温度下使有机质燃烧,生成二氧化碳和水而除去,剩余的不可燃部分(主要是一些矿质氧化物)总称为粗灰分。计算公式为:

$$\text{粗灰分含量}(\%) = \frac{\text{粗灰分质量}}{\text{烘干试样质量}} \times 100 \quad (2)$$

1.2.4 可燃物粗纤维含量的测定 粗纤维含量采用硫酸和氢氧化钠先后沸腾水解法。计算公式为:

$$\text{粗纤维含量}(\%) = \frac{\text{粗纤维质量}}{\text{烘干试样质量}} \times 100 \quad (3)$$

1.2.5 可燃物粗脂肪含量的测定 粗脂肪含量采用索氏残余法测定。计算公式为:

$$\text{粗脂肪含量}(\%) = \frac{\text{脱脂前试样干质量} - \text{脱脂后试样干质量}}{\text{脱脂前试样干质量}} \times 100 \quad (4)$$

1.2.6 可燃物木质素含量的测定 木质素含量采用硫酸水解法。计算公式为:

$$\text{木质素含量}(\%) = \frac{\text{木质素质量}}{\text{烘干试样质量}} \times 100 \quad (5)$$

1.2.7 燃烧时间测定 将不同林型的绝干树叶和树枝放在室外自制的燃烧床上,点燃后测定燃烧时间,3次重复求平均值。

1.2.8 数据处理 所有数据在 Excel 及统计软件 SPSS 13.0 for Windows 上处理,所获取的不同林型数据均采用平均值,并进行回归分析。

2 试验结果与分析

2.1 可燃物含水率分析

含水率的高低直接影响树种燃烧的预热时间、燃烧强度、可燃物气体浓度,因为树木内的水分在燃烧时需要吸收大量的热量,因而,一般情况下含水率高的森林类型,燃烧程度相对较低。

图 1 为不同林型可燃物各组成成分含水率大小,由图 1 可知,不同林型可燃物各组成成分的含水率变化较大。其中,针叶林树叶和树枝含水率均高于其他 3 种林型可燃物,但其树皮含水率又最低;落叶阔叶林树叶含水率明显低于其他林型,这主要是由于本试验样品采集于秋季,落叶阔叶林树叶已基本枯死,所以落叶阔叶林树叶最易燃。在实际中,树叶的蒸发要快于树枝及树皮,即树叶含水率高失水就快,表明树叶是主要易燃器官。

2.2 可燃物燃点分析

可燃物在受到外界火源的直接作用而开始的持续燃烧现象称为着火,而可燃物开始着火的最低温度即称为该可燃物的燃点,又称着火点。某一可燃物的燃点越高,其对外界火源的温度要求越高或加热时间越长,越难以被引燃,即表明其抗火性越强。

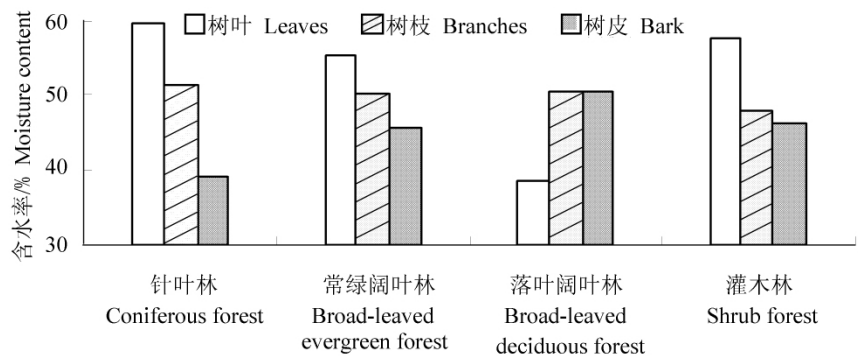


图 1 不同林型可燃物各组成成分含水率
Fig. 1 The moisture content of different forest types component

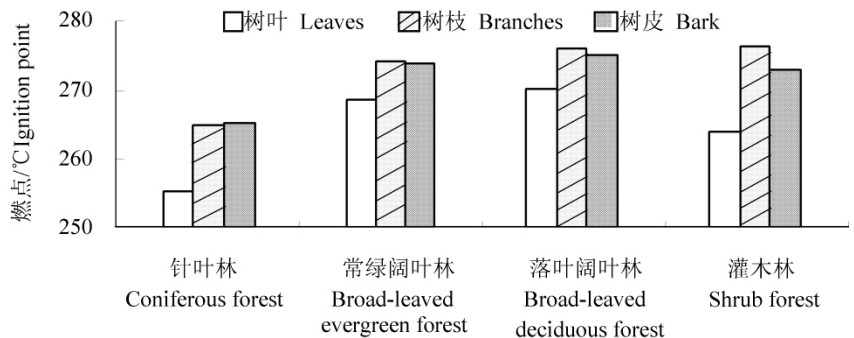


图 2 不同林型可燃物各组成成分燃点
Fig. 2 The ignition point of different forest types component

图 2 为不同林型可燃物各组成成分燃点图,由图 2 可知,不同林型可燃物各组成成分的燃点存在差异,变化范围为:250 ~ 280 ℃。其中,针叶林的燃点明显低于阔叶林和灌木林,说明针叶林更易被点燃;在树木各组成成分中,树叶的燃点最低,是最易燃的部分,树枝的燃点最高,最不易燃。

2.3 可燃物粗灰分含量分析

粗灰分含量是指可燃物中矿物质的含量,主要是由钠、钾、钙、镁、磷、硅等元素组成的无机物,即燃烧剩下的物质。各种矿物质通过催化纤维素的某些早期反应,可以增加木炭和减少焦油的形成,对燃烧有着明显的影响。可燃物灰分含量越高,燃烧性能越差,其抗火性也就越强。

图 3 为不同林型可燃物各组成成分粗灰分含量情况,由图 3 可知,(1)不同林型可燃物粗灰分含量存在显著差异,表现为针叶林和灌木林较低,阔叶林较高,说明阔叶林耐火性能好;(2)可燃物各组成成分中以树枝的粗灰分含量最低,树叶的粗灰分含量最高(常绿阔叶林则是树皮最高),说明树枝最易被完全燃烧。

2.4 可燃物粗纤维含量分析

通常,纤维素在 162 ℃时就开始进行明显的热分解反应,当温度达到 275 ℃时,呈现放热的热分解反应。纤维素是可燃物最基本的成分,对提高可燃物燃烧性有积极作用,纤维素含量高,会使燃烧物持火力增强。因而,纤维素含量的高低对植物抗火性能的影响起到了关键性的作用。

图 4 为不同林型可燃物各组成成分粗纤维含量情况。由 4 图可知,不同森林类型树枝、树皮的粗纤维含量差异不是很明显,而树叶则有明显的差异,落叶阔叶林树叶的粗纤维素最低,其次为灌木林,针叶林最高,说明针叶林树叶燃烧时持火力最强;不同林型可燃物各组成成分粗纤维含量存在明显差异,表现为树叶粗纤维含量最低,树枝最高,说明在树叶、树枝和树皮的燃烧过程中,树枝的持火力最强。

2.5 可燃物粗脂肪含量分析

脂肪在可燃物中占的比例并不大,但对燃烧性起的作用却非常大。脂肪含量的多少是可燃物易燃

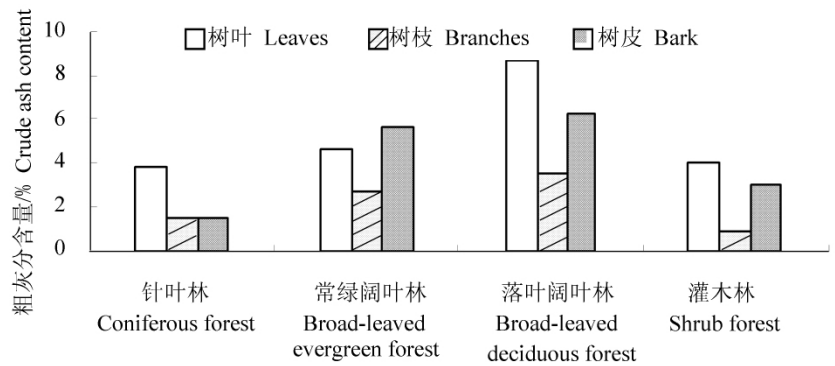


图 3 不同林型可燃物各组成成分粗灰分含量

Fig. 3 The crude ash content of different forest types component

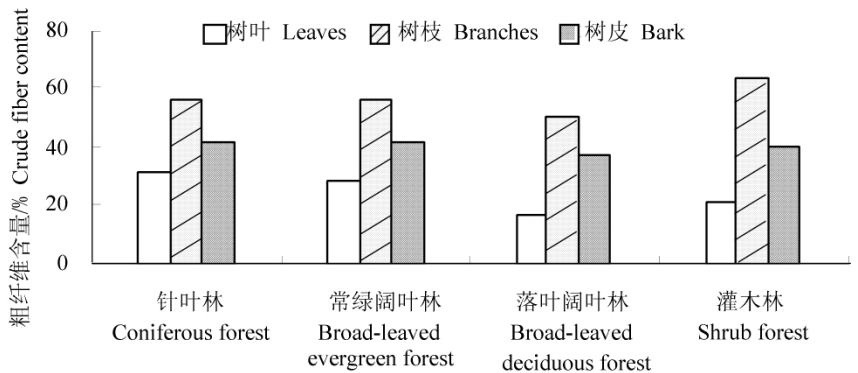


图 4 不同林型可燃物各组成成分粗纤维含量

Fig. 4 The crude fiber content of different forest types component

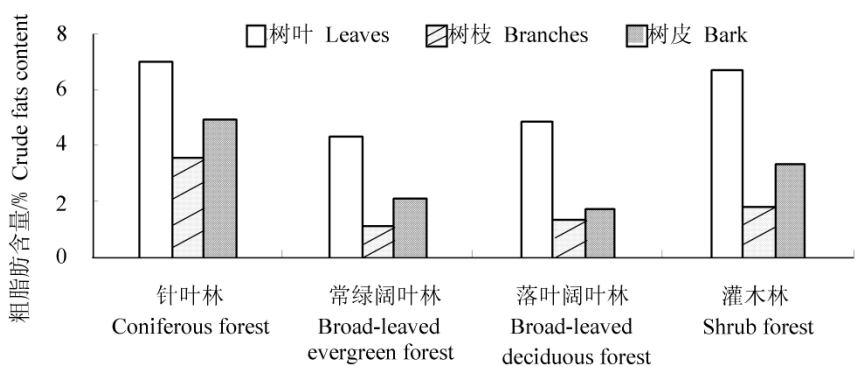


图 5 不同林型可燃物各组成成分粗脂肪含量

Fig. 5 The crude fats content of different forest types component

性的重要指标 脂肪含量越高可燃物越易燃,相反,可燃物脂肪含量越低则不易燃烧,其抗火性也就越强。

图5为不同林型可燃物各组成成分粗脂肪含量的情况。由图5可知,可燃物脂肪含量均在7%以下,但不同的林型,可燃物脂肪含量存在一定的差异,针叶林脂肪含量最高,其次为灌木林,阔叶林最低,说明针叶林抗火性最弱,最易燃烧;可燃物各组成成分的脂肪含量存在明显差异,树叶脂肪含量最高,树枝最低,说明树叶最易燃烧。

2.6 可燃物木质素含量分析

木质素是由苯丙烷基构成的交联芳香族高分子化合物,因含苯环,故热稳定性较半纤维素和纤维素好。通常,木质素在135℃左右开始热解反应,但十分缓慢,在

250℃时才开始明显的分解反应,在310~420℃内分解剧烈,在450~550℃内热分解反应才完全。木质素不易燃烧,但燃烧时却能释放出大量的热量,木质素含量高可延长着火感应的时间,但着火后却提高了着火的温度,进而影响火的蔓延,因而其抗火性能在不同阶段的作用是不一样的。

图6为不同林型可燃物各组成成分木质素含量情况。由图6可知,不同林型可燃物木质素含量存在一定差异,针叶林明显高于阔叶林和灌木林,这尤其以针叶林的树皮为明显,说明针叶林着火时间长,但着火后会加速火的蔓延;除灌木林外,针叶林和阔叶林树枝的木质素含量低于树叶和树皮。

2.7 理化性状对燃烧时间的影响分析

可燃物燃烧时间长短影响林火蔓延的速度,分析影响可燃物燃烧时间的相关因素,可以更好地揭示可燃物的燃烧特性。

(1) 不同林型可燃物各组成成分燃烧时间分析 将绝干的树叶和树枝放在室外自制的燃烧床上,点燃后测定燃烧时间,3次重复求平均值,结果见图7。从图7可知,不同类型可燃物树叶燃烧时间明显短于树枝,除落叶阔叶林树叶燃烧时间略偏长外,平均33s,其他林型树叶燃烧时间均较短,平均为25~27s;树枝燃烧时间也是以落叶阔叶林最长,其次为针叶林。

(2) 可燃物理化性状与燃烧时间相关分析 对不同林型可燃物各组成成分燃烧时间与理化成分进行Pearson相关性分析,结果表明(表1),不同林型树叶的燃烧时间与含水率显著相关,与粗灰分含量、粗纤维含量极显著相关;不同林型树枝的燃烧时间与含水率、粗灰分及粗纤维含量显著相关,而树叶和树枝与燃点、粗脂肪含量及木质素含量的关系均不密切,这主要是因为,当森林燃烧时,其火苗的温度已远高于燃点温度,对于燃点而言已处于过饱和状态,因而,燃点对燃烧时间的影响不明显;对于粗脂肪含量,由于主要影响易燃的程度,且多集中在树叶中,相对其它理化成分而言,其含量很小,因而在树叶燃烧过程中,对燃烧时间的影响也较小;木质素在可燃物燃烧后,主要影响着火的温度和火势的蔓延,对燃烧时间的影响较其它理化成分为略,因而与燃烧时间的相关性较差。

选择以上理化成分因子(含水率 x_1 、燃点 x_2 、粗灰分含量 x_3 、粗纤维含量 x_4 、粗脂肪含量 x_5 、木质素含量 x_6),分别对树叶和树枝燃烧时间进行逐步回归分析,得出如下回归方程:

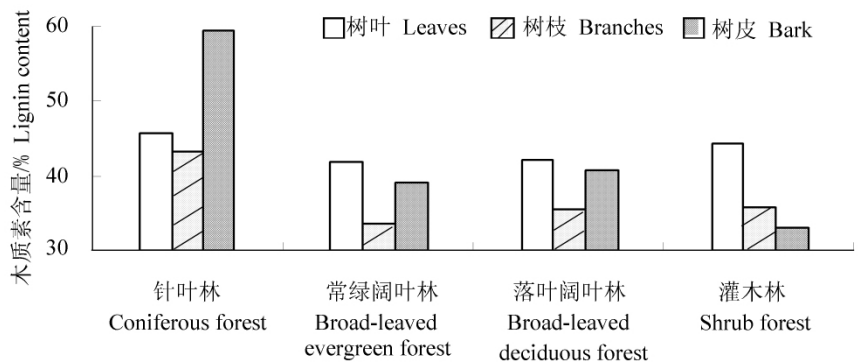


图6 不同林型可燃物各组成成分木质素含量

Fig. 6 The lignin content of different forest types component

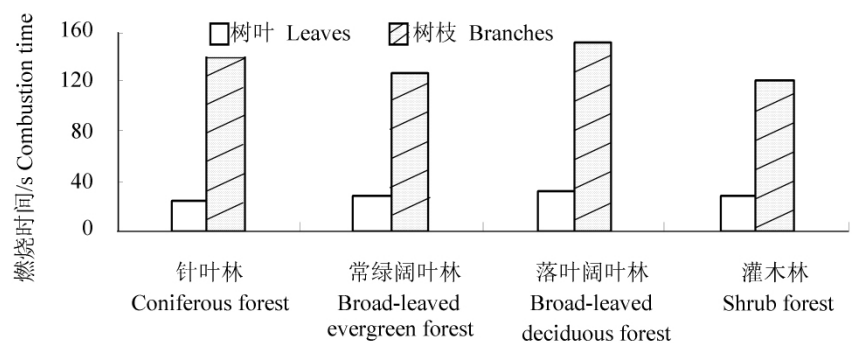


图7 不同林型可燃物各组成成分燃烧时间

Fig. 7 The combustion time of different forest types component

表1 不同林型可燃物燃烧时间与理化性质相关系数表
 Tab.1 The correlation table between combustion time and physical and chemical properties of the different forest types

| 理化成分 Physical and chemical component | 树叶 Leaves | 树枝 Branches |
|---|--------------|----------------|
| 含水率/% Moisture content | -0.501* | -0.333* |
| 燃点/°C Ignition point | 0.266 | -0.101 |
| 粗灰分含量/% Crude ash content | 0.536** | 0.351* |
| 粗纤维含量/% Crude fiber content | -0.622** | -0.432* |
| 粗脂肪含量/% Crude fats content | 0.239 | 0.088 |
| 木质素含量/% Lignin content | -0.075 | 0.215 |

* : 在 0.05 水平(单侧)上显著相关, ** : 在 0.01 水平(单侧)上显著相关。

* . Correlation is significant at the 0.05 level (1-tailed); ** . Correlation is significant at the 0.01 level (1-tailed) .

$$y_1 = -5.92 - 0.127x_1 + 0.174x_2 - 0.179x_3 - 0.318x_4 + 0.527x_5 \quad (6)$$

$$y_2 = 166.548 - 1.176x_1 + 5.487x_3 - 0.811x_4 + 1.649x_6 \quad (7)$$

(6)、(7)式中 y_1 、 y_2 分别为树叶和树枝燃烧时间,复相关系数 $R_1 = 0.704$ 、 $R_2 = 0.575$,对复相关性检验 $F_1 = 2.755$ (临界值 $F = 0.062$)、 $F_2 = 2.714$ (临界值 $F = 0.056$)均达到极显著相关的水平。

4 结论与讨论

通过对亚热带季风气候区内不同林型可燃物理化性质的测定及其对燃烧时间的影响分析,初步得出:(1)不同林型可燃物类型中,以针叶林含水率、燃点及粗灰分含量最低,粗纤维、粗脂肪及木质素含量最高,综合各指标对燃烧性的影响表明针叶林燃烧性最强、最易燃;(2)不同树种各组成成分中,以树叶燃点最低、粗脂肪含量最高,树枝粗灰分及粗纤维含量最高,说明树叶易燃性强,而树枝则是燃烧性较强;(3)可燃物各理化性质中,含水率、粗灰分及粗纤维含量等指标对可燃物燃烧时间有一定影响,而燃点及粗脂肪含量主要影响可燃物的易燃程度,对燃烧时间的影响较小,木质素的抗火性不同阶段有所不同,在可燃物着火前延长着火感应时间,但着火后又会加速火势的蔓延,因而与燃烧时间的相关性较差。

本研究的方法与前人有些类似,但不同的是,前人研究对象是不同树种,而本研究对象是不同林型,得出的结论更能说明问题。森林可燃物燃烧性除决定于其理化性质外,还受生物学及生态学特性等多种因素的综合影响,本结论只是基于小尺度样品的实验平均数据,没有考虑海拔对不同林型理化性质的影响,在以后的研究中应加强高海拔和低海拔的不同林型理化性状比较研究,使研究结果应用更合理。

参考文献:

[1] Van Dyuneetal G M ,Payne G F ,Thomas O O. Chemical composition of individual range plants from the U. S. range station. miles city. Montama. from 1955 -1960 [J]. U. S. Atomic Energy Comm. ORNL - TM - 1279 ,1965: 24.
 [2] Luke R H ,McArthur A G. Heat yield and power out put in bush fire in Australia [J]. Australia Government public Service. 1978: 26.
 [3] Chandler C ,Cheney P ,Thomas P et al. Forestry fire behavor and effects [J]. Fire in Forestry ,1983 ,1: 35.
 [4] Jameson D A. Diurnal and seasonal fluctuation in moisture content of pinyon pine and juniper [J]. USDA Forest Service Research Note. PM - RN - 67 ,1966: 7.
 [5] Hough W A. Fuel and weather influence wildfires in sand pine forests [J]. USDA Forest Service Research Paper SE - RP - 106 ,1973: 11.
 [6] 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 ,10(4): 9-15.
 [7] 胡海清. 大兴安岭主要森林可燃物理化性质测定与分析 [J]. 森林防火,1995(1): 27-31.
 [8] 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.
 [9] 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): 37-44.
 [10] 王刚,骆介禹. 大兴安岭几种主要可燃物化学组成与燃烧性 [J]. 森林防火,1996 ,16(1): 22-24.
 [11] 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.
 [12] 肖金香,彭家武,胡松竹,等. 庐山发生图的研制和火险等级区划 [J]. 江西农业大学学报,2000 ,22(4): 156-160.
 [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] 祝必琴,张丽霞,彭家武,等. 基于 RS 和 GIS 的庐山森林火险区划研究 [J]. 江西农业大学学报,2009 ,31(3): 441-448.