

内蒙古大兴安岭典型林分地表死可燃物燃烧性

张恒, 侯晓佳, 张秋良

(内蒙古农业大学林学院, 内蒙古 呼和浩特 010019)

摘要: 以内蒙古大兴安岭 5 种典型林分(兴安落叶松、白桦、蒙古栎、山杨和黑桦)下地表(凋落物层、半腐殖质层和腐殖质层)死可燃物为研究对象,测定了其理化性质(含水率、粗脂肪含量、灰分含量、燃点、热值),利用主成分分析法对不同林分地表各层死可燃物燃烧性进行了分析,并评价了各林分地表死可燃物的综合燃烧性。结果表明 5 种典型林分地表死可燃物综合燃烧性由强到弱依次为蒙古栎、白桦、黑桦、兴安落叶松和山杨。其中,蒙古栎林下凋落物层的燃烧性最强,山杨林下凋落物层的燃烧性最弱;白桦林下半腐殖质层的燃烧性最强,兴安落叶松林下半腐殖质层的燃烧性最弱;山杨林下腐殖质层的燃烧性最强,蒙古栎林下腐殖质层的燃烧性最弱。

关键词: 大兴安岭; 内蒙古; 地表死可燃物; 燃烧性; 主成分分析

中图分类号: S762.3 文献标识码: A

文章编号: 1671-5470(2020)04-0486-06

DOI: 10.13323/j.cnki.j.fafu(nat.sci.).2020.04.009



开放科学(资源服务)
标识码(OSID)

Flammability of surface dead fuels under typical forests in Daxing'anling Mountains, Inner Mongolia

ZHANG Heng, HOU Xiaojia, ZHANG Qiuliang

(College of Forestry, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia 010019, China)

Abstract: Surface dead fuels (litter, semi-humus, humus layers) under 5 typical forests (*Larix gmelinii*, *Betula platyphylla*, *Quercus mongolica*, *Populus davidiana* and *Betula dahurica*) in Daxing'anling Mountains (Inner Mongolia) were analyzed for physico-chemical properties such as moisture content, crude fat content, ash content, ignition point and calorific value, and then were subject to principal component analysis to evaluate the comprehensive flammability of surface dead fuels in Daxing'anling Mountains. The results showed that the comprehensive flammability of surface dead fuels sorting in a descending order was *Q. mongolica*, *B. platyphylla*, *B. dahurica*, *L. gmelinii* and *P. davidiana*. Litter under *Q. mongolica* was of the highest flammability while that under *P. davidiana* was least flammable. Semi-humus layer under *B. platyphylla* was most flammable while that under *L. gmelinii* ranked at the bottom. Humus layer under *P. davidiana* was of the highest flammability while that under *Q. mongolica* was least flammable.

Key words: Daxing'anling Mountains; Inner Mongolia; surface dead fuel; flammability; principal component analysis

根据 1980—2015 年统计结果,内蒙古自治区共发生森林火灾 1 432 次,火灾面积高达 1.50×10^6 hm^2 ,平均每年发生 39.8 次,平均火灾面积 4.17×10^4 hm^2 ^[1]。内蒙古大兴安岭在我国的生态环境建设中有不可替代的作用。2017 年 5 月 2 日,内蒙古大兴安岭重点国有林管理局毕拉河林业局北大河林场发生特大森林火灾,过火面积 11 500 hm^2 ,林地占 60%,受害森林面积 8 281.58 hm^2 ^[2]。森林火灾烧死、烧伤大量林木,导致森林面积减少,还严重破坏森林生态环境和森林结构。森林地表可燃物是引发森林火灾的物质基础之一,研究不同森林类型地表可燃物的燃烧性,有利于对森林地表可燃物进行有效、科学管理^[3-5],对防止森林火灾至关重要^[6]。

森林中的枯枝落叶、腐殖质、泥炭、乔木和灌木等都属于可燃物,影响可燃物燃烧性的因素包括可燃物本身的结构状态、理化性质和数量分布等^[7-8]。国内外学者对森林可燃物燃烧性做了大量的研究。例如:早在 1959 年美国学者 Byram^[9]就对森林可燃物的燃烧性进行了研究;Wilgen^[10]选用生物量、可燃物的垂直

收稿日期: 2019-10-13 修回日期: 2019-11-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(31860211); 中国博士后科学基金面上项目(2019M653807XB); 国家重点研发计划(2017YFC0504003); 内蒙古农业大学高层次人才引进项目(206039); 内蒙古农业大学博士后基金项目(108950)。

作者简介: 张恒(1983-)男,副教授,博士,研究方向:森林、草原火灾生态与管理,Email: zhangheng_nefu@126.com. 通信作者张秋良(1960-),男,教授,博士,研究方向:森林生态学,Email: 18686028468@163.com.

分布和大小、叶含水率、热值和粗脂肪含量等指标研究了南非某些树种的燃烧性;刘自强等^[11]选取含水率、灰分、燃点3个指标,评价了大兴安岭地区森林可燃物的易燃性及燃烧性;舒立福等^[12]测定了南方常绿阔叶树和杉木、马尾松的叶、枝、皮的组成成分,并分析了其燃烧性;张景群等^[13]测定了陕西栎属6个主要落叶树种枯叶的可燃性;肖金香等^[14]对江西省28种常见树种的燃烧性和抗火性进行了评价;郭文霞等^[15]选取绝对含水率、热值、灰分、抽提物含量和9种生物学及生态学指标,评价了北京地区17种主要树种的抗火性。森林地表可燃物分为活可燃物和死可燃物。其中,死可燃物最易被引燃发生地表火,地表火逐渐蔓延发展成为森林火灾^[16]。目前,有关森林地表死可燃物燃烧性的研究尚显不足。本研究以内蒙古大兴安岭5种典型林分下地表死可燃物为对象,测定其5项理化性质(含水率、粗脂肪含量、灰分含量、燃点、热值),并应用主成分分析法对其综合燃烧性进行排序,以期为研究森林火灾的发生、蔓延、能量释放过程以及筛选防火树种提供理论依据。

1 研究区与研究方法

1.1 研究区概况

内蒙古大兴安岭毕拉河林业局,位于大兴安岭东坡南部,地理坐标为东经122°44′00″—123°55′00″、北纬49°00′40″—49°54′40″。地处寒温带大陆性季风气候区,一年四季温差较大,年平均温度在-1℃左右,年降水量达479.4 mm,无霜期130 d左右。地带性植被为寒温带针叶林和中温带阔叶林,主要树种有山杨(*Populus davidiana*)、兴安落叶松(*Larix gmelinii*)、白桦(*Betula platyphylla*)、黑桦(*Betula dahurica*)、蒙古栎(*Quercus mongolica*)和少量的樟子松(*Pinus sylvestris* var. *mongolica*)。

1.2 样品采集

在内蒙古大兴安岭毕拉河林业局,采集主要乔木树种兴安落叶松、白桦、蒙古栎、山杨和黑桦林下的地表死可燃物样品,分3层采样:凋落物层(litter layer, L)、半腐殖质层(semi-humus layer, S)、腐殖质层(humus layer, H)。利用机械布点方法设置固定标准样地5个,样地大小为20 m×20 m,样地边界距离林缘至少50 m以上。在样地内按对角线选取3个1 m×1 m的样方,分别收集小样方内的凋落物、半腐殖质、腐殖质的样品。将采集的各个样品现场称重后装入密封袋中,带回实验室测定其理化性质。

1.3 理化指标测定

含水率采用烘干恒重法测定^[7]。粗脂肪含量采用滤袋技术ANKOM XT10萃取系统进行测定^[17]。灰分测定采用干灰分法^[7]。燃点的测定采用DW-02型着火温度测定仪测定^[18]。用全自动式量热计(Parr6300型)测定样品的热值^[7]。

1.4 综合燃烧性计算

主成分分析(principal component analysis, PCA)是考察多个变量间相关性的多元统计方法,可将多个变量进行正交变换转化为贡献值大的新综合变量。此法要求各主成分的累积贡献率要达到90%,再根据主成分分析得到的各主成分的贡献率和因子得分,计算主成分的综合变量(Y)值^[19]。

$$Y = a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + \dots + a_nx_n \quad (1)$$

式中: Y 为地表死可燃物的综合燃烧性; a_n 为各主成分贡献率; x_n 为各主成分因子得分。

1.5 数据处理与分析

采用Excel 2015对数据进行整理与统计。利用SPSS 24.0软件对标准化以后的数据进行主成分分析。采用Graphpaprism 8.0软件作图,并分析各理化指标对可燃物燃烧性的影响。

2 结果与分析

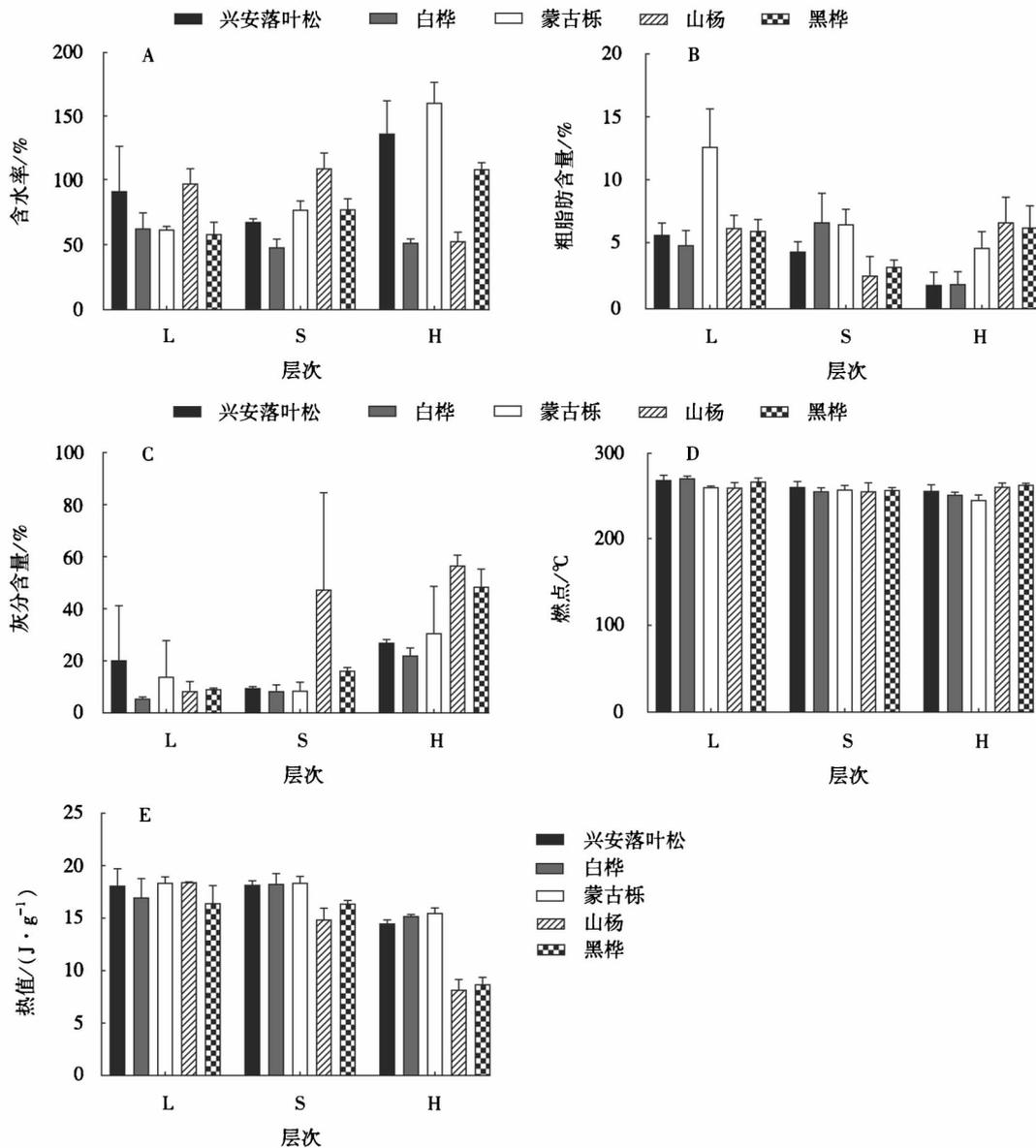
2.1 可燃物理化性质

2.1.1 含水率 L、S和H层中的含水率分别为58.31%~97.06%、48.01%~108.72%和51.61%~159.13%。L层和S层中山杨的含水率高于其他林分,H层中蒙古栎的含水率最高。黑桦和蒙古栎林下的地表死可燃物的含水率随层次的加深而增高(图1A)。

2.1.2 粗脂肪含量 L、S和H层的粗脂肪含量分别为4.82%~12.25%、2.53%~6.56%和1.82%~6.56%。L

层中蒙古栎的粗脂肪含量高于其他林分; S 层中白桦的粗脂肪含量最高, 蒙古栎次之, 山杨最低; H 层中山杨的粗脂肪含量最高, 黑桦次之, 兴安落叶松最低. 兴安落叶松和蒙古栎林下的地表死可燃物的粗脂肪含量随层次的加深而降低(图 1B).

2.1.3 灰分含量 5 种林分的灰分含量存在明显差异, L、S 和 H 层中的灰分含量分别为 5.55%~20.26%、8.45%~47.43%和 22.13%~56.73%. L 层中兴安落叶松的灰分含量最高, S 和 H 层中山杨的灰分含量最高(图 1C).



L 表示凋落物层; S 表示半腐殖质层; H 表示腐殖质层.

图 1 不同林分下 3 层地表死可燃物的理化性质

Fig.1 Physical and chemical properties of 3 layers of surface dead fuels under different types of forest

2.1.4 燃点 L、S 和 H 层的燃点分别为 258.75~269.68 °C、254.56~259.63 °C 和 244.62~262.14 °C. 各林分地表死可燃物燃点较为稳定, 集中在 250 °C 左右(图 1D).

2.1.5 热值 L、S 和 H 层热值分别为 16.45~18.44 J·g⁻¹、14.89~18.39 J·g⁻¹和 8.19~15.51 J·g⁻¹. L 层各林分间的热值相差不大, S 层中白桦和蒙古栎的热值高于其他 3 种林分, H 层中蒙古栎的热值高于其他林分. 山杨地表死可燃物的热值随层次的加深而降低(图 1E).

2.2 综合燃烧性评价

利用标准化以后的 5 项理化指标进行主成分分析, 结果见表 1~3. 由表 1 可知, 由于累计贡献率要大

于90%的原则, L层中选择前3个新变量作为燃烧性评价的综合指标; S层和H层中前2个新变量的累积贡献率已经超过90%, 因此选择前2个变量作为燃烧性综合评价指标。

表1 样本相关矩阵的特征根与主成分贡献率¹⁾

Table 1 Characteristic roots and contribution rates of different principal components

新变量	信息含量 %	贡献率 %	累计贡献 率/%	新变量	信息含量 %	贡献率 %	累计贡献 率/%	新变量	信息含量 %	贡献率 %	累计贡献 率/%
1	2.538	50.767	50.767	5	3.569	71.379	71.379	9	3.559	71.174	71.174
2	1.436	28.715	79.483	6	1.031	20.625	92.004	10	0.989	19.771	90.945
3	0.891	17.813	97.295	7	0.305	6.098	98.102	11	0.433	8.659	99.604
4	0.135	2.705	100.000	8	0.095	1.898	100.000	12	0.020	0.396	100.000
合计	5.000	100.000		合计	5.000	100.000		合计	5.001	100.000	

¹⁾ 1~4为L层, 5~8为S层, 9~12为H层。

表2 各指标正交转化后的主成分载荷矩阵

Table 2 Principal component load matrix of each index after orthogonal rotation

理化指标	L			S		H	
	第1主成分	第2主成分	第3主成分	第1主成分	第2主成分	第1主成分	第2主成分
含水率	-0.003	0.984	-0.172	0.886	-0.074	0.083	0.949
粗脂肪含量	0.885	0.356	0.295	0.962	0.103	0.947	-0.078
灰分含量	0.068	-0.196	0.968	-0.877	0.346	0.970	0.195
燃点	0.921	-0.287	-0.142	-0.106	0.992	-0.697	-0.528
热值	0.660	-0.608	0.366	0.930	-0.356	-0.924	-0.376

表3 各林分样本因子得分¹⁾

Table 3 Sample factor scores for each forest type

林分	L			S		H	
	x_1	x_2	x_3	x_1	x_2	x_1	x_2
兴安落叶松	-0.724	-0.685	1.485	0.020	-1.536	-0.612	-0.234
白桦	-0.830	0.461	-0.723	1.099	1.051	-1.216	1.019
蒙古栎	1.481	0.771	0.540	0.740	-0.171	-0.221	-1.526
山杨	0.581	-1.408	-0.907	-1.436	0.709	1.024	0.759
黑桦	-0.507	0.861	-0.397	-0.424	-0.053	1.025	-0.018

¹⁾ x_1 表示第1主成分因子得分, x_2 表示第2主成分因子得分, x_3 表示第3主成分因子得分。

由表2可知, L层第1主成分中热值、燃点、粗脂肪含量这3个指标系数比其他2个指标大, 说明这3个指标包含了第1主成分中大部分信息, 第1主成分可以看作热值、燃点和粗脂肪含量的复合指标; 第2主成分中, 含水率和粗脂肪含量的系数较大, 说明在特征属性中这2个指标有较大的因子载荷, 第2主成分可以看作含水率和粗脂肪含量的复合指标; 第3主成分中, 灰分和热值的系数较大, 说明其在特征属性中有较大的因子载荷, 第3主成分可以看作灰分和热值的复合指标。

S层第1主成分中, 含水率、热值、粗脂肪含量的系数较大, 说明这3个指标包含了第1主成分中的大部分信息, 第1主成分可以看作这3个指标的复合指标; 第2主成分中, 燃点系数最大, 远超过其他指标, 第2主成分可单独看作燃点指标。

H层第1主成分中, 灰分和粗脂肪含量的系数较大, 说明在特征属性中这2个指标有较大的因子载荷, 第1主成分可以看作灰分和粗脂肪含量的复合指标; 第2主成分中, 含水率系数最大, 第2主成分可以单独看作含水率指标。

将各主成分贡献率(表1)和因子得分(表3)代入式(1)得到5种林分下L、S、H层的综合燃烧性值及其排序(表4)。由表4可知, 5种林分下L层燃烧性由强到弱依次为蒙古栎、兴安落叶松、黑桦、白桦、山杨; S层燃烧性由强到弱依次为白桦、蒙古栎、黑桦、山杨、兴安落叶松; H层燃烧性由强到弱依次为山杨、黑桦、白桦、兴安落叶松、蒙古栎。5种林分下地表死可燃物综合燃烧性由强到弱依次为蒙古栎、白桦、黑桦、兴安落叶松、山杨。

表 4 各林分下地表死可燃物综合燃烧性排序

Table 4 Ranking of comprehensive flammability of surface dead fuels layer under different types of forest

林分	L		S		H		综合燃烧性值	排序
	燃烧性值	排序	燃烧性值	排序	燃烧性值	排序		
兴安落叶松	53.319	2	-139.901	5	-64.836	4	-28.861	4
白桦	-75.817	4	175.139	1	6.175	3	33.107	2
蒙古栎	189.000	1	37.084	2	-154.539	5	75.361	1
山杨	-170.632	5	-37.250	4	141.923	1	-69.294	5
黑桦	4.129	3	-35.071	3	71.277	2	-10.314	3

3 讨论

建立防火林带是我国一项重要的防火措施^[20-22],防火树种的选择又是营造防火林带的基础,因此,选择适合的防火树种,可以增加森林系统的抗火能力^[23]。同一树种林下各层地表死可燃物的燃烧性有明显的差异,蒙古栎林下凋落物层燃烧性最强,白桦林下半腐殖质层的燃烧性最强,山杨林下腐殖质层的燃烧性最强。因此,营造白桦和山杨混交林,能够降低林分燃烧性,减小森林火灾发生的可能性。寒温带林区地下火是在地下腐殖质层中燃烧形成的火灾,具有燃烧区域散热慢、持续时间长、难发现等特点,对生态系统的破坏性极大^[24]。本研究中,白桦和蒙古栎林下半腐殖质层的燃烧性较强,山杨和黑桦林下腐殖质层的燃烧性较强,在高温少雨的天气易引发地下火。林区可以通过人工冲淋、飞机洒水等方式,保持地面湿润,增加地表死可燃物含水率,从而降低地下火的发生机率。地下火主要由地表火燃烧到地下引起,在气候偏旱的高火险环境下,野外火源先引起地表火,当高温渗透到地表下面时,就形成森林地下火^[25]。本研究中,蒙古栎和兴安落叶松林下凋落物层的燃烧性较强,易发生地表火,故及时清理这 2 种林分地表枯枝、堆积落叶等,也是预防地下火的有效途径。根据各林分地表死可燃物综合燃烧性排序可知,山杨最弱,兴安落叶松和黑桦次之。因此,可营造这些树种的混交林,作为防火树种并建立防火隔离带。

森林火灾发生的难易程度和火灾蔓延速度与可燃物含水率有直接联系^[26-27]。含水率与可燃物燃烧性之间呈现负相关,含水率越高,可燃物的燃烧性越弱。蒙古栎的地表死可燃物的含水率随地下层的加深而增大。从含水率角度考虑,蒙古栎的地表死可燃物燃烧性较弱,与综合评价得出的蒙古栎燃烧性最强的结论不符,由此可见,树种地表死可燃物燃烧性受多种因子共同作用。粗脂肪是一种成分复杂的易燃物,其含量是衡量树种燃烧性的重要指标,粗脂肪含量越高的可燃物越易燃^[7]。凋落物层中蒙古栎的粗脂肪含量高于其他林分,半腐殖质层中白桦的粗脂肪含量最高。由此看出,蒙古栎和白桦表现出较强的易燃性。灰分也是影响可燃物燃烧性的重要因素,对可燃物有焰燃烧起阻滞作用,灰分越大,燃烧性越小^[28]。凋落物层中兴安落叶松的灰分含量最高,半腐殖质和腐殖质层中山杨的灰分含量最高。从灰分的角度看,山杨和兴安落叶松燃烧性较弱。可燃物开始着火的最低温度即为该可燃物的燃点,燃点越低,可燃物的燃烧性越强^[29]。本研究中各林分地表死可燃物燃点值相差较小,数值较为集中。热值即单位质量可燃物在绝干状态下完全燃烧时所释放的热量^[7]。可燃物的燃烧热值越大,释放的能量越多,火强度就越大。从热值方面看,蒙古栎和白桦林下地表死可燃物燃烧性较强。

内蒙古大兴安岭毕拉河林业局植被按分布面积大小排序依次为兴安落叶松、蒙古栎、白桦、山杨、黑桦^[30]。蒙古栎和白桦分布范围较广,并且树种燃烧性较强,不宜作为防火树种;可选择与燃烧性较弱的树种如山杨和兴安落叶松混交改造,降低人工林的燃烧性。本研究中,采集样品与试验分析的过程都尽量与试验设计流程相一致,但因同一树种立地条件、树龄等存在差异,在数据分析过程中会产生误差。此外,本文仅以地表死可燃物的理化性质区分其燃烧性,未涉及地表死可燃物载量、紧密度等因素,今后应结合这些因素对不同林分地表死可燃物的燃烧性进行全面研究,以得出更加科学的结果。

参考文献

- [1] 萨如拉,周庆,刘鑫晔,等.1980—2015 年内蒙古森林火灾的时空动态[J].南京林业大学学报(自然科学版),2019,43(2):137-143.
- [2] 李树铭.内蒙古自治区毕拉河林业局和陈巴尔虎旗两起特大森林火灾应急处置评析[J].中国应急管理,2017(7):63-64.

- [3] 胡宇宸,何晓旭,段绍光,等.豫西伏牛山区栎类林地表可燃物研究[J].河南农业大学学报,2013,4(6):710-714.
- [4] 高国平,王月.辽宁东部地区森林地被可燃物及其燃烧性的研究[J].沈阳农业大学学报,2004,35(1):24-28.
- [5] 单延龙,关山,廖光煊.长白山林区主要可燃物类型地表可燃物载量分析[J].东北林业大学学报,2006,34(6):34-36.
- [6] 王舜尧.南昌地区几种森林可燃物燃烧性评价[D].哈尔滨:东北林业大学,2015.
- [7] 梁瀛,张思玉,努尔古丽,等.天山中部林区主要树种理化性质及燃烧性分析[J].林业科学,2011,47(12):101-105.
- [8] 刘菲,胡海清.森林可燃物理化性质与燃烧性的研究综述[J].森林防火,2005(1):28-30.
- [9] BYRAM G M. Combustion of forest fuels[M]//DAVIS D P. Forest Fire: Control and Use. New York: McGraw-Hill, 1959: 61-89.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 郭文霞,牛树奎,康东伟,等.北京地区主要乔木树种的抗火性分析[J].北京林业大学学报,2010,32(3):84-89.
- [16] 满子源,孙龙,胡海清,等.南方8种森林地表死可燃物在平地无风时的燃烧蔓延速率与预测模型[J].林业科学,2019,55(7):197-204.
- [17] 杨鸿雁,陈丽丽,梁世岳,等.索氏抽提残余法与ANKOM滤袋法检测饲料粗脂肪含量的比较[J].黑龙江畜牧兽医,2018(24):157-159.
- [18] 祝必琴,黄淑娥,田俊,等.亚热带季风区不同林型可燃物理化性质及燃烧性研究[J].江西农业大学学报,2011,33(6):1149-1154.
- [19] 于秀林,任雪松.多元统计分析[M].北京:中国统计出版社,1999.
- [20] 舒立福,田晓瑞,徐忠忱.森林可燃物可持续管理技术理论与研究[J].火灾科学,1999,8(4):20-26.
- [21] 田晓瑞,刘涛.生物防火的研究与应用[J].世界林业研究,1997,10(1):22-29.
- [22] 王得祥,张景群,吴宽让,等.可燃物性气体逸出指标应用于树种燃烧性评价的研究[J].西北林学院学报,1999,19(3):176-181.
- [23] 田晓瑞,舒立福,阎海平,等.华北地区防火树种筛选[J].火灾科学,2002,11(1):43-48.
- [24] 何诚,舒立福,张思玉.我国寒温带林区地下火发生特征及研究[J].森林防火,2014(4):22-25.
- [25] FRANDSEN W H. The influence of moisture and mineral soil on the combustion limits of smoldering forest duff[J]. Canadian Journal of Forest Research, 1987, 17(12): 1540-1544.
- [26] CASTRI F X, TUDELA A, SEBASTIA M T. Modeling moisture content in shrubs to predict fire risk in Catalonia (Spain) [J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2003, 116(1/2): 49-59.
- [27] 单延龙,张敏,于永波.森林可燃物研究现状及发展趋势[J].北华大学学报(自然科学版),2004,5(3):264-269.
- [28] 谢玉敏,李军伟.树种燃烧性的研究[J].森林防火,1999(3):38-39.
- [29] 王秋华.森林火灾燃烧过程中的火行为研究[D].北京:中国林业科学研究院,2010.
- [30] 张凌峰.内蒙古毕拉河林业局森林资源现状及分布特点[J].内蒙古林业调查设计,2013,36(1):52-54.

(责任编辑:杨郁霞)