

昆明地区 17 种园林竹鲜叶的燃烧性

王昆伦^{1,2}, 蒋 婷^{1,2}, 侯小菲³, 马瑞杰⁴, 王秋华^{1,2}, 李世友^{1,2}

(1. 西南林业大学 土木工程学院 消防研究所, 云南 昆明 650224; 2. 西南林业大学 云南省森林灾害预警与控制重点实验室, 云南 昆明 650224; 3. 陕西省龙草坪林业局, 陕西 杨凌 712100; 4. 云南省江川县林业和草原局, 云南 江川 652600)

摘要: 【目的】比较 17 种园林竹鲜叶的燃烧性差异, 为竹林防火提供依据。【方法】以 5 种常见易燃园林绿化木本植物为对照, 测定和计算昆明地区 17 种园林竹鲜叶的含水率、单位面积质量、绝对线速率、绝对面积损失速率、绝对质量损失速率、相对线速率、相对面积损失速率、相对质量损失速率等 8 个指标。利用因子分析法和系统聚类法, 综合评价竹叶燃烧性。【结果】17 种竹鲜叶均易燃, 燃烧性从大到小的顺序依次为: 慈竹 *Neosinocalamus affinis*、小佛肚竹 *Bambusa ventricosa*、秀叶箭竹 *Fargesia yuanjiangensis*、沙罗单竹 *Schizostachyum funghomii*、车筒竹 *B. sinospinosa*、青皮竹 *B. textilis*、孝顺竹 *B. multiplex*、野龙竹 *Dendrocalamus semiscandens*、灰香竹 *Chimonocalamus pallens*、灰金竹 *Phyllostachys nigra* var. *henonis*、料慈竹 *B. distegia*、紫竹 *Ph. nigra*、椅子竹 *D. bambusoides*、云南甜龙竹 *D. hamiltonii*、龙竹 *D. giganteus*、绵竹 *B. intermedia*、油竹 *B. surrecta*。【结论】17 种园林竹中易燃的有 10 种, 较易燃的有 7 种。图 1 表 6 参 25

关键词: 森林保护学; 竹; 鲜叶; 燃烧性; 昆明地区

中图分类号: S762.3 文献标志码: A 文章编号: 2095-0756(2020)05-0963-08

Combustibility of fresh leaves of 17 species of garden bamboo in Kunming

WANG Kunlun^{1,2}, JIANG Ting^{1,2}, HOU Xiaofei³, MA Ruijie⁴, WANG Qiuhua^{1,2}, LI Shiyou^{1,2}

(1. Fire Research Institute, School of Civil Engineering, Southwest Forestry University, Kunming 650224, Yunnan, China; 2. Yunnan Key Laboratory of Forest Disaster Warning and Control, Southwest Forestry University, Kunming 650224, Yunnan, China; 3. Longcaoping Forestry Bureau of Shaanxi Province, Yangling 712100, Shaanxi, China; 4. Forestry and Grassland Bureau of Jiangchuan County, Jiangchuan 652600, Yunnan, China)

Abstract: [Objective] Comparing the combustibility of fresh bamboo leaves in gardens, in order to protect bamboo forest. [Method] Taking 5 common flammable woody plants as control, the moisture content, mass per unit area, absolute line rate, absolute area loss rate, absolute mass loss rate, relative line rate, relative area loss rate and relative mass loss rate of 17 species' fresh bamboo leaves in Kunming were measured and calculated. The combustibility of bamboo leaves was evaluated by factor analysis and systematic clustering. [Result] All the fresh bamboo leaves of 17 species were inflammable, and the order of combustibility from large to small was as follows: *Neosinocalamus affinis*, *Bambusa ventricosa*, *Fargesia yuanjiangensis*, *Schizostachyum funghomii*, *B. sinospinosa*, *B. textilis*, *B. multiplex*, *Dendrocalamus semiscandens*, *Chimonocalamus pallens*, *Phyllostachys nigra* var. *henonis*, *B. distegia*, *Ph. nigra*, *D. bambusoides*, *D. hamiltonii*, *D. giganteus*, *B. intermedia*, *B. surrecta*. [Conclusion] 10 of them were highly flammable and 7 were relatively flammable. [Ch, 1 fig. 6 tab. 25 ref.]

收稿日期: 2019-10-21; 修回日期: 2020-05-22

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (31260180)

作者简介: 王昆伦, 从事森林防火研究。E-mail: 1663716747@qq.com。通信作者: 李世友, 教授, 博士, 从事森林防火研究。E-mail: lsy0703@163.com

Key words: forest protection; bamboo; fresh leaves; combustibility; Kunming area

除黑龙江、吉林、内蒙古和新疆4省(区)外,中国其余省(区、市)都有竹类生长和分布。据第8次(2009–2013年)森林资源清查,中国竹林面积达601万 hm^2 ,占中国森林面积的3%,占世界竹林面积约20%^[1]。在廊道旁、公园、古寺庙、风景区等地方种植竹子以增加景观优质性,是园林配置的一部分。竹林分布广,面积大,因此需要考虑竹林保护与防火等问题。有些竹种具有一定的防火能力,被作为防火植物使用,如毛竹 *Phyllostachys edulis*、雷竹 *Ph. praecox* 等^[2–3]。对于竹子的燃烧性能方面国内外研究较少,但是在森林可燃物的燃烧性和抗火性方面,国内外都进行了大量研究^[4–9]。李树华等^[10]认为:在火灾危险带种植刚竹 *Ph. sulphurea* 等植物可以减缓火势蔓延。钟安建等^[11]对南昌城区15种园林树种的抗火性进行研究,认为珊瑚树 *Viburnum odoratissimum* 抗火性能最强,桂花 *Osmanthus fragrans* 抗火性能最差。金钱菜等^[12]将木荷 *Schima superba* 选为防火功能较强的行道绿化树种。李世友等^[13]对20种园林绿化植物的鲜枝叶进行燃烧试验及燃烧性排序。何忠华等^[14]对12种园林树种的抗火性进行了综合评价,认为乐昌含笑 *Michelia chapensis* 抗火性最强。森林植物叶燃烧性研究方法可以为竹叶研究提供借鉴。张雨瑶等^[15]对11种园林木本植物的新叶片和2种对比植物老活叶片进行了垂直燃烧实验,认为鹅掌楸 *Liriodendron chinense* 等燃烧性较强。氧指数试验法主要用于测定聚合材料的阻燃性能,如对于各种纺织品^[16]、玻璃纤维增强塑料^[17]、聚氯乙烯(PVC)管^[18]、橡胶^[19]等阻燃性能的测定,在森林可燃物研究方面的应用较少。本研究对17种园林竹鲜叶进行燃烧性比较,旨在分析园林竹鲜叶的易燃性差异,为竹林保护与防火提供依据。

1 材料与方 法

1.1 样品采集

以17种园林竹为研究对象(括号中数字为样品代号),车筒竹 *Bambusa sinospinosa* (1)、慈竹 *Neosinocalamus affinis* (2)、灰金竹 *Phyllostachys nigra* var. *henonis* (3)、灰香竹 *Chimonocalamus pallens* (4)、料慈竹 *B. distegia* (5)、龙竹 *Dendrocalamus giganteus* (6)、绵竹 *B. intermedia* (7)、青皮竹 *B. textilis* (8)、沙罗单竹 *Schizostachyum funghomii* (9)、秀叶箭竹 *Fargesia yuanjiangensis* (10)、小佛肚竹 *B. ventricosa* (11)、孝顺竹 *B. multiplex* (12)、野龙竹 *D. semiscandens* (13)、椅子竹 *D. bambusoides* (14)、油竹 *B. surrecta* (15)、云南甜龙竹 *D. hamiltonii* (16)、紫竹 *Ph. nigra* (17)。以5种常见易燃园林绿化用木本植物的老叶作对比,即阴香 *Cinnamomum burmanni* (18)、桂花 *Osmanthus fragrans* (19)、滇润楠 *Machilus yunnanensis* (20)、蓝桉 *Eucalyptus globulus* (21)、云南樟 *C. glanduliferum* (22)。所有植物均栽植于西南林业大学校园内。由于新叶含水率呈动态变化,而老叶含水率相对稳定且易燃,故选老叶为实验样品。取叶时,选多株、不同枝条上外形和大小相似、质量相近的多片竹叶,于防火期采集健康的完整分枝,立刻带回实验室。

1.2 实验方法

采集同枝条上的老叶,分为2组,分别进行燃烧实验和含水率测定。燃烧实验前测定鲜叶质量、叶脉长度并在白纸上勾绘出鲜叶外形,实验在高浓度医用氧条件下进行,点火气体为丙烷气。将竹叶叶尖朝上、叶柄朝下放入试件夹中,点火器火焰长度为10~15 mm,从上朝下点火,用秒表记录竹叶燃烧时间。每种鲜叶重复6次实验。含水率(H)测定采用105℃烘干恒量法,取相对含水率。实验采用JF-3型氧指数测定仪进行。

1.3 数据获取及计算方法

叶片单位面积质量(W)、绝对线速率(V_1)、绝对面积损失速率(V_2)、绝对质量损失速率(V_3)、相对线速率(V_4)、相对面积损失速率(V_5)和相对质量损失速率(V_6)参照李世友等^[6]、张雨瑶等^[15]、郑永波等^[20]和苏文静等^[21]方法进行。

1.4 数据处理

运用SPSS 18.0软件,以平均 V_1 、 V_2 、 V_3 、 V_4 、 V_5 、 V_6 等6个指标进行因子分析,得到22种植物鲜叶的燃烧性能得分并排序。根据燃烧性能得分,应用聚类分析法划分等级。采用因子分析法对数据进行

标准化处理，通过 KMO 值和 Bartlett 球体检验提取公因子，利用旋转法使因子变量更具有可解释性，计算因子变量得分。

2 结果与分析

2.1 含水率、单位面积质量及燃烧速率

由表 1 可知：22 种植物鲜叶的含水率和单位面积质量均差别较大，5 种木本植物鲜叶单位面积质量均大于竹叶。单位面积质量最小、含水率较小的秀叶箭竹，燃烧速率最大。单位面积质量最大、含水率较大的云南樟，燃烧速率最小。含水率最大、单位面积质量较小的椅子竹，燃烧速率较小。含水率最小、单位面积质量中等的车筒竹，燃烧速率接近最大值。由此可见：鲜叶燃烧速率与单位面积质量、平均含水率有关。

表 1 22 种植物鲜叶的含水率、单位面积质量及燃烧速率

Table 1 Moisture content, mass per unit area and burning rate of fresh leaves of 22 plants species

代号	H/%	W/(g·m ⁻²)	绝对燃烧速率			相对燃烧速率		
			V ₁ /(cm·s ⁻¹)	V ₂ /(cm ² ·s ⁻¹)	V ₃ /(g·s ⁻¹)	V ₄ /(%·s ⁻¹)	V ₅ /(%·s ⁻¹)	V ₆ /(%·s ⁻¹)
1	40.51	146	1.079	0.863	0.012	8.667	8.667	8.667
2	56.99	56	1.349	2.087	0.012	8.566	8.566	8.566
3	51.86	104	0.552	0.541	0.005	6.882	6.882	6.882
4	55.12	104	0.697	0.402	0.004	6.954	6.954	6.954
5	43.84	116	0.642	1.283	0.014	3.140	3.140	3.140
6	58.91	96	0.421	1.320	0.012	2.140	2.140	2.140
7	53.07	92	0.425	0.644	0.006	3.450	3.450	3.450
8	56.73	58	0.981	1.316	0.008	6.820	6.820	6.820
9	42.93	66	1.245	1.486	0.010	7.600	7.600	7.600
10	44.08	53	1.194	1.058	0.006	9.450	9.450	9.450
11	44.27	87	1.171	1.885	0.016	7.583	7.583	7.583
12	46.07	70	0.849	1.040	0.007	7.040	7.040	7.040
13	56.83	70	0.858	2.177	0.016	4.200	4.200	4.200
14	58.97	72	0.520	0.737	0.005	4.700	4.700	4.700
15	55.34	102	0.216	0.345	0.004	1.500	1.500	1.500
16	58.79	84	0.546	1.579	0.013	2.660	2.660	2.660
17	43.15	94	0.521	0.604	0.006	5.140	5.140	5.140
18	52.36	190	0.330	0.977	0.018	2.967	2.967	2.967
19	47.55	322	0.316	0.747	0.037	4.200	3.020	4.400
20	49.12	230	0.173	0.486	0.011	1.767	1.767	1.767
21	46.93	483	0.146	0.228	0.011	0.883	0.883	0.883
22	52.21	185	0.118	0.544	0.010	0.983	1.000	0.983

2.2 数据的标准化处理

由于所获得数据数值不同，单位不同，无法进行比较和计算，因此需要进行无量纲化处理。使用 SPSS 软件对数据进行标准化处理，结果如表 2 所示。

2.3 KMO 值和 Bartlett 球体检验

因子分析法并不能适用于任何情况，只有当样品数量大于评价指标数量时，才能得出 KMO 值和 Bartlett 球体检验结果，判断原始数据是否能够进行因子分析。对标准化后的数据进行 KMO 值和 Bartlett 球体检验，结果 KMO 值为 0.625 > 0.500，Bartlett 检验接近 0，说明指标具有相关性，适合做因子分析。

表2 22种植物鲜叶燃烧性评价指标无量纲化后得分

Table 2 Fresh leaf combustibility of 22 plants species evaluation index dimensionless points

代号	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6
1	1.108 53	-0.270 53	0.134 17	1.396 29	1.403 15	1.393 99
2	1.809 85	1.895 67	0.134 17	1.359 08	1.366 27	1.356 76
3	-0.260 34	-0.840 40	-0.849 73	0.738 69	0.751 40	0.735 89
4	0.116 30	-1.086 40	-0.990 29	0.765 21	0.777 69	0.762 44
5	-0.026 57	0.472 77	0.415 28	-0.639 89	-0.614 88	-0.643 72
6	-0.600 61	0.538 25	0.134 17	-1.008 29	-0.980 00	-1.012 41
7	-0.590 22	-0.658 11	-0.709 17	-0.525 68	-0.501 69	-0.529 43
8	0.853 98	0.531 17	-0.428 06	0.715 85	0.728 77	0.713 03
9	1.539 71	0.832 03	-0.146 95	1.003 20	1.013 56	1.000 61
10	1.407 24	0.074 57	-0.709 17	1.684 76	1.689 04	1.682 67
11	1.347 50	1.538 17	0.696 40	0.996 94	1.007 35	0.994 34
12	0.511 11	0.042 72	-0.568 62	0.796 90	0.809 09	0.794 14
13	0.534 49	2.054 95	0.696 40	-0.249 38	-0.227 85	-0.252 92
14	-0.343 46	-0.493 52	-0.849 73	-0.065 17	-0.045 29	-0.068 58
15	-1.133 09	-1.187 28	-0.990 29	-1.244 07	-1.213 68	-1.248 36
16	-0.275 92	0.996 62	0.274 72	-0.816 72	-0.790 14	-0.820 69
17	-0.340 86	-0.728 90	-0.709 17	0.096 92	0.115 36	0.093 65
18	-0.836 98	-0.068 78	0.977 51	-0.703 62	-0.678 05	-0.707 50
19	-0.873 34	-0.475 83	3.648 09	-0.249 38	-0.658 70	-0.179 18
20	-1.244 78	-0.937 74	-0.006 39	-1.145 71	-1.116 19	-1.149 92
21	-1.314 91	-1.394 34	-0.006 39	-1.471 38	-1.438 96	-1.475 84
22	-1.387 64	-0.835 09	-0.146 95	-1.434 54	-1.396 24	-1.438 97

2.4 公因子提取

由表3可知：特征值大于1的公因子有2个，累积方差贡献率达到了89.623%，因此可用来描述22种园林植物鲜叶的燃烧性。

表3 解释的总方差表

Table 3 Interpretation of the total variance table

成分	初始特征值			提取载荷平方和			旋转载荷平方和		
	总计	方差百分比/%	累积/%	总计	方差百分比/%	累积/%	总计	方差百分比/%	累积/%
1	4.114	68.567	68.567	4.114	68.567	68.567	4.084	68.070	68.070
2	1.263	21.056	89.623	1.263	21.056	89.623	1.293	21.553	89.623
3	0.591	9.843	99.466						
4	0.031	0.515	99.981						
5	0.001	0.019	100.000						
6	1.887×10^{-8}	3.145×10^{-7}	100.000						

2.5 因子旋转

采用最大方差法 (varimax) 进行因子旋转，目的是使公因子的相对负荷的方差之和最大，且保持原公共因子的正交性和公共方差总和不变。使每个因子的最大载荷变量数量最小，以简化对因子的解释。利用 SPSS 软件进行旋转，得到表4因子载荷矩阵。主成分1在绝对线速率 (V_1)、相对线速率 (V_4)、相对面积损失速率 (V_5)、相对质量损失速率 (V_6) 上的载荷系数较大，体现了燃烧性能 (f_1)。主成分2在绝对面积损失速率 (V_2)、绝对质量损失速率 (V_3) 的载荷系数较大，体现了燃烧性能 (f_2)。

2.6 计算因子得分

运用 SPSS 软件得出因子得分系数矩阵 (表 5)，因子得分模型可表示为：

$$f_1=0.224x_1+0.079x_2-0.103x_3+0.245x_4+0.250x_5+0.244x_6;$$

$$f_2=0.125x_1+0.538x_2+0.680x_3-0.066x_4-0.102x_5-0.060x_6。$$

其中： x_i 为 $V_1 \sim V_6$ 的数值标准化后的数据，将表 2 的相关变量相应的代入上式中即得到 22 种植物鲜叶燃烧性公因子得分。再以各公因子的方差百分比作为权数计算 22 种植物鲜叶燃烧性综合评价得分。计算公式为：

$$F=\lambda_1f_1+\lambda_2f_2=0.685\ 67f_1+0.210\ 56f_2。$$

其中： F 为 22 种植物鲜叶的燃烧性能得分， λ_i 为第 i 个公因子的方差百分比。得分大于 0，说明该植物鲜叶的燃烧性能大于 22 种植物鲜叶燃烧性能的平均水平，反之则比较差；得分越高代表燃烧性能越好。

表 4 旋转后因子载荷矩阵

评价指标	主成分		评价指标	主成分	
	1	2		1	2
V_1	0.949	0.227	V_4	0.981	-0.014
V_2	0.480	0.718	V_5	0.990	-0.600
V_3	-0.224	0.850	V_6	0.979	-0.007

表 5 因子得分系数矩阵

评价指标	主成分		评价指标	主成分	
	1	2		1	2
V_1	0.224	0.125	V_4	0.245	-0.066
V_2	0.079	0.538	V_5	0.250	-0.102
V_3	-0.103	0.680	V_6	0.244	-0.060

各植物鲜叶燃烧性能的最后得分及排名如表 6 所示。由表 6 可知：5 种木本植物得分均小于 0，且有 2 种燃烧性能得分排名最后，说明 5 种木本植物鲜叶的燃烧性能均低于平均水平。22 种植物鲜叶的燃烧性能从大到小的顺序依次为慈竹、小佛肚竹、秀叶箭竹、沙罗单竹、车筒竹、青皮竹、孝顺竹、野龙竹、灰香竹、灰金竹、桂花、料慈竹、紫竹、椅子竹、云南甜龙竹、阴香、龙竹、绵竹、滇润楠、油竹、云南樟、蓝桉。其中，慈竹得分最高，说明最易燃，油竹得分最低，说明最难燃，但较云南樟、蓝桉易燃。具体来看，油竹的含水率较大、单位面积质量较大，在 17 种竹类中得分最低。秀叶箭竹含水率较小、单位面积质量最小，得分排在前列。蓝桉含水率较大、单位面积质量最大，得分排在最后。进一步说明了鲜叶的燃烧速率与单位面积质量、平均含水率有关。

表 6 22 种植物鲜叶的燃烧性能得分及排序

代号	f_1	f_2	F	排序	代号	f_1	f_2	F	排序
1	1.245 11	-0.234 50	0.804	5	12	0.767 30	-0.482 73	0.424	7
2	1.546 36	1.026 31	1.276	1	13	0.031 05	1.700 27	0.379	8
3	0.510 85	-1.232 08	0.091	10	14	-0.072 37	-0.873 29	-0.233	14
4	0.609 57	-1.418 80	0.119	9	15	-1.157 88	-1.172 78	-1.041	20
5	-0.478 60	0.676 99	-0.186	12	16	-0.608 56	0.871 97	-0.234	15
6	-0.844 15	0.532 83	-0.467	17	17	0.014 46	-0.940 74	-0.188	13
7	-0.494 31	-0.792 39	-0.506	18	18	-0.807 66	0.681 30	-0.410	16
8	0.808 52	-0.063 17	0.541	6	19	-0.878 34	2.210 90	-0.137	11
9	1.168 40	0.310 35	0.866	4	20	-1.192 01	-0.405 70	-0.903	19
10	1.638 70	-0.650 80	0.987	3	21	-1.483 82	-0.585 92	-1.141	22
11	1.089 91	1.240 98	1.009	2	22	-1.412 53	-0.399 00	-1.053	21

2.7 聚类分析

应用 SPSS 软件对 17 种竹叶的燃烧性能得分进行聚类分析，由图 1 所示：17 种园林竹鲜叶的燃烧性划为易燃和较易燃 2 个等级。其中，慈竹、小佛肚竹、秀叶箭竹、沙罗单竹、车筒竹、青皮竹、孝顺竹、野龙竹、灰香竹、灰金竹等易燃；料慈竹、紫竹、椅子竹、云南甜龙竹、龙竹、绵竹、油竹等较易燃。

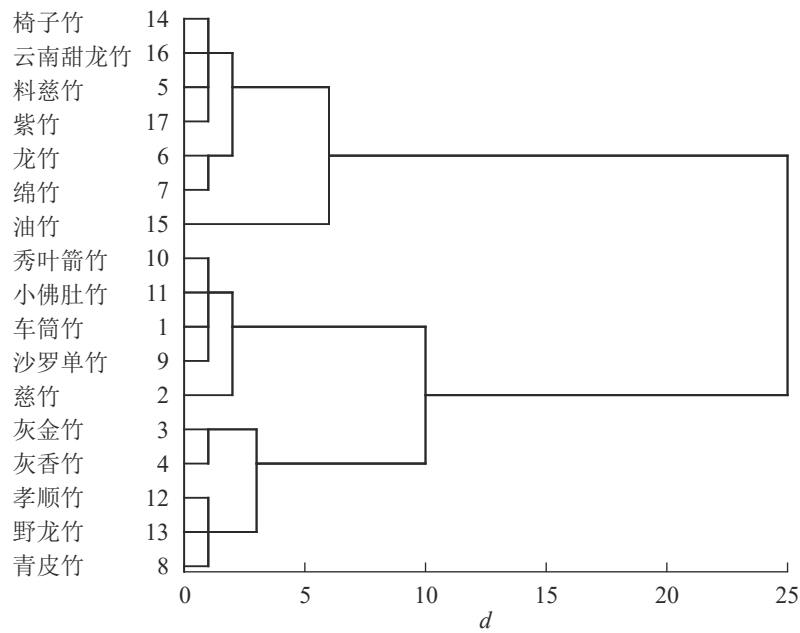


图1 使用平均联接(组内)的树状图

Figure 1 Dendrogram using average linkage (within groups)

3 结论与讨论

对 17 种园林竹和 5 种易燃木本植物鲜叶燃烧性 6 个指标的因子分析可知: 各植物得分差距较大, 最高分与最低分之间相差 2.417, 说明 22 种植物鲜叶的燃烧性差距较大。与 5 种园林木本植物相比, 竹叶均为易燃叶。料慈竹、椅子竹、云南甜龙竹、龙竹、紫竹、绵竹和油竹的鲜叶燃烧性能相对较低, 尤其是油竹, 比桂花、阴香和滇润楠还难燃。绝对线速率 (V_1)、相对线速率 (V_4)、相对面积损失速率 (V_5) 和相对质量损失速率 (V_6) 对其燃烧性影响较大。基于 17 种竹的燃烧性能得分, SPSS 聚类分析将其划为易燃和较易燃 2 个等级, 其中易燃竹种 10 种, 较易燃竹种 7 种。

鲜叶的燃烧性受自身理化性质和生态学、生物学特性等多因素的综合影响。昆明地区旱季降雨稀少, 园林竹浇水较为频繁, 浇水周期、浇水量和浇水次数对竹叶的含水率造成一定影响。施肥也会影响竹子生理性能。研究表明施氮肥会提高大豆 *Glycine max* 的脂肪含量^[22-23]; 不同磷含量培养液处理下植株幼苗的株高、茎叶生物量和总生物量差异极其显著^[24]; 不同磷源处理下云南松 *Pinus yunnanensis* 幼苗体内磷含量明显不同^[25]。施肥对植物化学成份的影响一定程度上也影响其燃烧性。本研究中的竹叶样品采自竹下较低部位; 竹子受自身生长因素及光照等外部因素影响, 不同空间部位的竹叶生长发育不均衡, 也会导致竹叶不同的理化性质和生态学特性。以后的研究中, 要尽量减少人工经营措施对实验取样的干扰, 并且考虑不同空间部位对竹叶的作用, 使样品更具有代表性。本研究根据竹叶的燃烧速率来分析燃烧性, 而没有分析理化性质、生态学特性等对燃烧性的影响。因此, 以上鲜叶的燃烧性排序及分类是在特定条件下得出的, 能否适用于其他条件还需要进一步验证。

4 参考文献

- [1] 崔璐. 中国竹林遥感信息提取及 NPP 时空模拟研究[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2018.
CUI Lu. *Extraction of Remote Sensing Information and Spatiotemporal Simulation of NPP of Bamboo Forest in China*[D]. Hangzhou: Zhejiang A&F University, 2018.
- [2] 唐昌贻, 朱文强, 罗炳贵, 等. 人工经营毛竹林防火能力及恢复分析初探[J]. *江苏林业科技*, 2013, 40(4): 22 - 25.
TANG Changyi, ZHU Wenqiang, LUO Binggui, et al. Fire prevention and recovery capability of artificial management of *Phyllostachys pubescens* [J]. *J Jiangsu For Sci Technol*, 2013, 40(4): 22 - 25.
- [3] 李飞峰. 基于经济学视角的生物防火林带营建技术方案选择研究[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2012.
LI Feifeng. *Study on Optional Solutions for Fuelbreak Construction from Economic Perspectives*[D]. Hangzhou: Zhejiang

- A&F University, 2012.
- [4] 单延龙, 陶洪伟, 赵丽, 等. 长白山红松阔叶林主要树种树皮抗火性的分析与排序[J]. *东北林业大学学报*, 2011, **39**(12): 49 – 50, 89.
SHAN Yanlong, TAO Hongwei, ZHAO Li, *et al.* Ordination of fire resistances of bark of main species in Korean pine broad-leaved forests in Changbai Mountains [J]. *J Northeast For Univ*, 2011, **39**(12): 49 – 50, 89.
- [5] 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.
LI Shiyu, LUO Wenbiao, SHU Qingtai, *et al.* Combustibility of 25 woody plants for selection of fire-resistant tree species in Kunming area [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2009, **26**(3): 351 – 357.
- [6] 李世友, 赵家刚, 张雨瑶, 等. 滇中地区 11 种森林木本植物活叶片抗火性能[J]. *华中农业大学学报*, 2015, **34**(5): 25 – 30.
LI Shiyu, ZHAO Jiagang, ZHANG Yuyao, *et al.* Fire resistance of live leaves of 11 woody species in Central Yunnan Province [J]. *J Huazhong Agric Univ*, 2015, **34**(5): 25 – 30.
- [7] DIBBLE A C, WHITE R H, LEBOW P K. Combustion characteristics of north-eastern USA vegetation tested in the cone calorimeter: invasive versus non-invasive plants [J]. *Int J Wildland Fire*, 2007, **16**(4): 426 – 443.
- [8] ENGSTROM J D, BUTLER J K, SMITH S G, *et al.* Ignition behavior of live California Chaparral leaves [J]. *Combustion Sci Technol*, 2004, **176**(9): 1577 – 1591.
- [9] CLARKE P J, PRIOR L D, FRENCH B J, *et al.* Using a rainforest-flame forest mosaic to test the hypothesis that leaf and litter fuel flammability is under natural selection [J]. *Oecologia*, 2014, **176**(4): 1123 – 1133.
- [10] 李树华, 李延明, 任斌斌, 等. 园林植物的防火功能以及防火型园林绿地的植物配置手法[J]. *风景园林*, 2008(6): 92 – 97.
LI Shuhua, LI Yanming, REN Binbin, *et al.* Fire-resistant function of landscape plants and plant arrangement of fireproof green space [J]. *Landscape Archit*, 2008(6): 92 – 97.
- [11] 钟安建, 邹璐, 叶清, 等. 南昌城区 15 种园林树种的抗火性研究[J]. *福建林业科技*, 2010, **37**(4): 63 – 63, 83.
ZHONG Anjian, ZOU Lu, YE Qing, *et al.* Study on fire resistance of 15 landscape species in the urban area of Nanchang [J]. *J Fujian For Sci Technol*, 2010, **37**(4): 63 – 63, 83.
- [12] 金钱荣, 吴志晖, 吴兴辉. 云南野生动物园环境绿化设计研究[J]. *林业调查规划*, 2004, **29**(1): 88 – 90.
JIN Qianrong, WU Zhihui, WU Xinghui. A study of greening design of Yunnan Wildlife Garden [J]. *For Invent Plann*, 2004, **29**(1): 88 – 90.
- [13] 李世友, 李小宁, 罗文彪, 等. 20 种园林绿化树种活枝叶的燃烧性研究[J]. *安徽农业大学学报*, 2008, **35**(4): 490 – 493.
LI Shiyu, LI Xiaoning, LUO Wenbiao, *et al.* Combustibility of living branches and leaves for 20 gardens tree species [J]. *J Anhui Agric Univ*, 2008, **35**(4): 490 – 493.
- [14] 何忠华, 叶清, 钟安建, 等. 南昌郊区园林树种抗火性研究[J]. *安徽农业科学*, 2010, **38**(33): 18976 – 18978.
HE Zhonghua, YE Qing, ZHONG Anjian, *et al.* Research on the anti-fire of the tree species in the garden of Nanchang suburb [J]. *J Anhui Agric Sci*, 2010, **38**(33): 18976 – 18978.
- [15] 张雨瑶, 周劲峰, 李路良, 等. 昆明地区 11 种园林木本植物新叶片燃烧性分析[J]. *林业资源管理*, 2013(6): 144 – 147.
ZHANG Yuyao, ZHOU Jinfeng, LI Luliang, *et al.* Initial study on combustibility of new leaves of 11 garden woody species in Kunming [J]. *For Resour Manage*, 2013(6): 144 – 147.
- [16] 金美菊, 洪武勇. 纺织品燃烧性能技术法规与标准研究[J]. *上海纺织科技*, 2009, **37**(9): 42 – 44.
JIN Meiju, HONG Wuyong. Study on technical regulations and standards of flammability for textiles [J]. *Shanghai Textile Sci Technol*, 2009, **37**(9): 42 – 44.
- [17] 崔勇, 常建民, 王文亮. 玻璃纤维增强塑料用热解油-酚醛树脂的合成工艺[J]. *林业工程学报*, 2017, **2**(6): 67 – 73.
CUI Yong, CHANG Jianmin, WANG Wenliang. Synthesis process of bio-oil phenolic resin used for glass-fiber reinforced plastic [J]. *J For Eng*, 2017, **2**(6): 67 – 73.
- [18] 崔飞, 罗静, 蔡喜来, 等. 阻燃 PVC 电工套管氧指数测定中的影响因素分析[J]. *中国安全生产科学技术*, 2009, **5**(2): 56 – 60.
CUI Fei, LUO Jing, CAI Xilai, *et al.* Analysis of influencing factors of determination of oxygen index on fire retardant PVC

- electrician casing [J]. *J Saf Sci Tech*, 2009, **5**(2): 56 – 60.
- [19] 赵光贤. 橡胶的阻燃与阻燃剂[J]. *世界橡胶工业*, 2005, **32**(5): 3 – 8, 11.
ZHAO Guangxian. Flame retardant and flame retarder of rubber [J]. *World Rubber Ind*, 2005, **32**(5): 3 – 8, 11.
- [20] 郑永波, 张雨瑶, 廖周瑜, 等. 紫茎泽兰茎叶的燃烧性[J]. *浙江农林大学学报*, 2014, **31**(3): 450 – 456.
ZHENG Yongbo, ZHANG Yuyao, LIAO Zhouyu, *et al.* Combustion characteristics of stems and leaves of *Eupatorium adenophorum* [J]. *J Zhejiang A&F Univ*, 2014, **31**(3): 450 – 456.
- [21] 苏文静, 张思玉, 何诚, 等. 昆明地区 9 种藤本植物活叶片的燃烧性[J]. *林业资源管理*, 2017(6): 120 – 123.
SU Wenjing, ZHANG Siyu, HE Cheng, *et al.* Combustion characteristics of live leaves of 9 lianas species in Kunming, Yunnan Province [J]. *For Resour Manage*, 2017(6): 120 – 123.
- [22] 赵小铭, 宋秀吉, 王雪依, 等. 高油大豆东农 46 号脂肪含量的氮磷钾肥效应回归模型[J]. *中国农学通报*, 2007, **23**(7): 332 – 336.
ZHAO Xiaoming, SONG Xiuji, WANG Xueyi, *et al.* Regression model of effects of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizer on oil content in soybean variety Dongnong 46 [J]. *Chin Agri Sci Bull*, 2007, **23**(7): 332 – 336.
- [23] 宁海龙, 宋秀吉, 王雪依, 等. 氮磷钾肥对大豆脂肪含量的效应[J]. *中国油料作物学报*, 2007, **29**(3): 302 – 307.
NING Hailong, SONG Xiuji, WANG Xueyi, *et al.* Effects of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers on oil content in soybean [J]. *Chin J Oil Crop Sci*, 2007, **29**(3): 302 – 307.
- [24] 戴开结, 何方, 沈有信, 等. 不同磷源对云南松幼苗生长和磷吸收量的影响[J]. *生态学报*, 2009, **29**(8): 4078 – 4083.
DAI Kaijie, HE Fang, SHEN Youxin, *et al.* Effects of different phosphorus on growth and P absorption of *Pinus yunnanensis* Franch. seedlings [J]. *Acta Ecol Sin*, 2009, **29**(8): 4078 – 4083.
- [25] 戴开结, 何方, 沈有信, 等. 低磷胁迫下云南松幼苗的生物量及其分配[J]. *广西植物*, 2006, **26**(2): 183 – 186.
DAI Kaijie, HE Fang, SHEN Youxin, *et al.* Biomass and its allocation of *Pinus yunnanensis* seedlings under phosphorus deficiency [J]. *Guihaia*, 2006, **26**(2): 183 – 186.