

网络出版时间:2014-05-28 11:34

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2014.06.010

网络出版地址:http://www.cnki.net/kcms/doi/10.13207/j.cnki.jnwafu.2014.06.010.html

大兴安岭南部主要林分地表 可燃物负荷量及其影响因子研究

周润青¹, 刘晓东¹, 郭怀文²

(1 北京林业大学 省部共建森林培育与保护教育部重点实验室, 北京 100083;

2 武警黑龙江森林总队大兴安岭地区支队, 黑龙江 大兴安岭 165000)

[摘要] **【目的】**研究林分地表可燃物负荷量及其影响因素, 为森林可燃物管理和潜在火行为分析提供科学依据。**【方法】**根据立地因子(海拔、坡度、坡位)、林分特征(林龄、郁闭度、密度、平均树高、平均胸径)和地被物层结构(凋落物厚度、腐殖质厚度), 在大兴安岭南部地区选择具有代表性的兴安落叶松林(*Larix gmelinii*)和白桦林(*Betula platyphylla*), 各设置 6 块样地, 调查样地内的总可燃物负荷量及易燃可燃物负荷量, 对不同种类可燃物负荷量及其影响因子进行相关性分析。**【结果】**兴安落叶松林分下的平均总可燃物负荷量为 15.80 t/hm², 其中 58.46% 为易燃可燃物, 总可燃物负荷量与林分平均胸径、凋落物厚度呈显著正相关, 灌木和草本可燃物负荷量主要与林分密度呈极显著负相关, 1 h 时滞、10 h 时滞和 100 h 时滞可燃物负荷量与林分郁闭度、平均胸径、平均树高呈显著正相关。白桦林下平均总可燃物负荷量为 8.48 t/hm², 其中 57.91% 为易燃可燃物, 总可燃物负荷量与林分平均胸径、腐殖质厚度呈显著正相关, 灌木、草本可燃物负荷量与林分密度呈显著负相关, 1 h 时滞、10 h 时滞和 100 h 时滞可燃物负荷量主要与林分平均胸径呈显著正相关。**【结论】**大兴安岭南部地区的地表可燃物负荷量水平较低; 郁闭度、平均树高和平均胸径是影响林分地表可燃物负荷量的主要因子。

[关键词] 地表可燃物; 可燃物负荷量; 大兴安岭

[中图分类号] S792.1

[文献标志码] A

[文章编号] 1671-9387(2014)06-0131-07

Surface fuel loading and relevant influencing factors of main forest types in southern Daxing'anling

ZHOU Jian-qing¹, LIU Xiao-dong¹, GUO Huai-wen²

(1 The Key Laboratory for Silviculture and Conservation of Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;

2 Heilongjiang Forest Armed Police Corps Daxing'anling District Detachment, Daxing'anling, Heilongjiang 165000, China)

Abstract: **【Objective】** This article studied the distribution characteristics of surface fuel loading and relevant influencing factors of main forest types in southern Daxing'anling to improve forest fuel management and analyze potential fire behaviors. **【Method】** Based on site factors (altitude, slope percent, and slope position), stand factors (stand age, canopy cover, density, mean total height, and mean DBH), and forest floor attributes (litter thickness and humus thickness), *Larix gmelinii* forests and *Betula platyphylla* forests in southern Daxing'anling were selected, and 6 sample plots were set up for each. The total fuel loading and flammable fuel loading were studied through field investigation and lab analysis, and the relationship between different fuel loadings and influencing factors was analyzed. **【Result】** In *L. gmelinii* forests, average

[收稿日期] 2014-01-14

[基金项目] 国家“十二五”科技支撑计划项目(2011BAD32B05)

[作者简介] 周润青(1988—), 男, 山东泰安人, 在读硕士, 主要从事林火生态学研究。E-mail: Ching.j.f@gmail.com

[通信作者] 刘晓东(1969—), 男, 黑龙江哈尔滨人, 副教授, 博士, 硕士生导师, 主要从事林火生态学研究。

E-mail: xd_liu@bjfu.edu.cn

fuel loading was 15.80 t/hm² and the flammable fuel loading accounted for 58.46%. The total fuel loading had significantly positive correlation with the forest DBH and the litter thickness; the shrub and grass fuel loading had significantly negative correlation with the stand density; and the 1 h fuel loading, 10 h fuel loading and 100 h fuel loading had significantly positive correlation with the forest crown cover, the forest DBH and the mean height. In *B. platyphylla* forests, average fuel loading was 8.48 t/hm² and the flammable fuel loading accounted for 57.91%. The total fuel loading had significantly positive correlation with the forest DBH and the humus thickness; the shrub and grass fuel loading had significantly negative correlation with the stand density; and 1 h fuel loading, 10 h fuel loading and 100 h fuel loading had significantly positive correlation with the forest DBH. 【Conclusion】 Surface forest fuel loading in the studied forests was low. Main factors influencing fuel loading included the canopy cover, the mean total height and the DBH.

Key words: surface fuel; fuel loading; Daxing'anling

森林地表可燃物是林火发生的物质基础,地表可燃物负荷量影响着森林火灾发生时的潜在火强度等林火行为指标。森林地表可燃物的燃烧是林火的初始阶段,其燃烧强弱不仅取决于自身的尺寸大小、结构状态等理化性质,还取决于地表可燃物的数量及其分布格局^[1]。在既定的环境条件下,森林可燃物的负荷量大小显著影响着林火的行为特征^[2-4]。因此,林火生态研究领域的热点一直包括对森林可燃物负荷量及其影响因子的研究^[5]。利用林分因子来建立可燃物负荷量模型的研究最早始于美国^[6-7]; Ryu 等^[8]提出通过火烧减少可燃物负荷量从而降低森林的燃烧性;Finney^[9]认为应制定长期有效的可燃物管理措施,定期监测林内的可燃物,从而采取相应的措施清理可燃物来降低森林火险。我国对可燃物及其管理的研究起步相对较晚,邸雪颖等^[10]、刘晓东等^[11]建立了大兴安岭林区 1, 10 和 100 h 时滞的地表可燃物负荷量数学模型。田晓瑞等^[12]对大兴安岭南部地区春季火烧后可燃物消耗的研究发现,地表可燃物负荷量在不同火烧程度下有一定差异,而可燃物与林火间关系的研究是探究森林火灾碳排放的基础。王明玉等^[13]对北京西山的可燃物进行研究后,认为草类和其他枯落物的负荷量及分布对森林火灾初始蔓延速度具有重要决定作用。舒立福等^[14]认为,由于可燃物的特性不同,其对林火行为的影响也不同,可以通过清理采伐现场或其他林火管理措施来减少可燃物。陈宏伟等^[15]在分析不同时滞及总可燃物负荷量的基础上,建立了大兴安岭呼中林区典型森林地表死可燃物负荷量及其影响因子的多元线性回归方程。郭利峰等^[16]对北京八达岭林场人工油松林内地表死可燃物负荷量与立地、林分因子的相关性进行研究后认为,可燃物负荷量与林分平均胸径、平均树高和密度呈正相关,与郁

闭度、坡度呈负相关。胡海清^[17]研究了大兴安岭森林地被可燃物负荷量与林分因子之间的关系,建立了各类可燃物负荷量模型,证明了利用林分特征因子估测地表可燃物负荷量是可行的。

大兴安岭南部地区气候寒冷,地表可燃物分解速率慢,林下可燃物大量累积,一遇火源即有可能发生较强的火灾,其火灾类型以地表火为主^[18-19]。其对该地区主要森林类型兴安落叶松和白桦林内的地表可燃物负荷量及其影响因子进行了分析,以期为该地区森林可燃物的管理、林火行为预报及生物防火林带的建设提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

加格达奇位于大兴安岭南部余脉,属低山丘陵地带,地理坐标为东经 123°45′—124°26′,北纬 50°09′—50°35′。地势西北偏高,东南偏低,平均海拔为 472 m,土壤为棕色森林土,平均厚度 22 cm。加格达奇地处高纬度寒温带地区,属大陆性季风气候;夏季短暂,不超过 1 个月;冬季寒冷而漫长,冰冻期长达半年之久;春秋两季天气变化强烈,高温、干燥和大风天气常见,因而春季和秋季是林火的高发期。全年平均温度 -2~4℃,年温差较大,年有效积温 1 700~2 100℃,无霜期为 85~130 d。年降水量为 450~500 mm,且多集中在夏季,7—8 月降水量占全年降水量的 85%~90%^[20]。

该区地带性植被类型为寒温性针叶林,森林类型以兴安落叶松(*Larix gmelinii*)及其混交林为主,主要的针叶乔木树种有兴安落叶松和樟子松(*Pinus sylvestris* var. *mongolica*),阔叶乔木树种由白桦(*Betula platyphylla*)、蒙古栎(*Quercus mongolica*)、山杨(*Populus davidiana*)等组成。林下植被

由偃松(*Pinus pumila*)、杜香(*Ledum palustre*)、兴安杜鹃(*Rhododendron dauricum*)、越橘(*Vaccinium vitis-idaea*)等为主的灌木层和以地榆(*Sanguisorba officinalis*)、贝加尔唐松草(*Thalictrum baicalense*)、三穗薹草(*Carex tristachya*)等为主的草本层组成。

1.2 研究方法

1.2.1 林分选择 本研究于 2012-09 在大兴安岭加格达奇林业局境内选择具有代表性的兴安落叶松林和白桦林,根据立地因子(海拔、坡度、坡位)和林分特征(林龄、郁闭度、密度、平均树高、平均胸径等),各设置样地 6 块。样地面积均为 20 m×20 m,记录样地的海拔、坡度、坡位等立地因子,同时记录郁闭度、胸径、树高、林龄等林分因子和林下凋落物

层的厚度及腐殖质层厚度,具体方法如下。1)郁闭度测定。在每个样地拉 2 条对角线,计算树冠投影到其中一条对角线上的长度之和与对角线长度(28 m)之比,得出的值即为郁闭度^[21]。2)平均胸径测定。在每个样地内对所有树木进行每木检尺,测得胸径(cm)并求其平均值。3)平均树高测定。在每个样地内选取 3 株标准木,使用勃鲁莱氏测高仪测量每株标准木的树高(m)并求其平均值。4)平均林龄测定。在每个样地选取 3 株标准木,使用生长锥测其林龄并求其平均值。5)凋落物及腐殖质厚度测定。使用切刀切取死地被物层剖面,最大限度保持凋落物及腐殖质的结构形态,用刻度尺测量其厚度^[22]。

试验所选取样地的基本概况见表 1。

表 1 大兴安岭南部分兴安落叶松林与白桦林样地的基本概况

Table 1 Overview of plots in *Larix gmelinii* and *Betula platyphylla* forests in southern Daxing'anling

样地号 Plot No.	海拔/m Altitude	坡度/(°) Slope percent	林龄/年 Stand age	郁闭度 Crown cover	密度/ (株·hm ⁻²) Density	胸径/cm DBH	树高/m Mean total height	凋落物 厚度/cm Litter thickness	腐殖质 厚度/cm Humus thickness
1	432.10	0	25.00	0.60	1 532	11.50	13.20	7.00	7.00
2	421.40	7	23.00	0.80	1 426	16.30	18.00	9.00	8.00
3	410.30	4	24.00	0.70	1 733	14.00	15.00	8.00	6.00
4	416.50	5	25.00	0.85	2 125	14.50	22.10	7.50	5.00
5	426.50	7	23.00	0.80	2 046	14.00	18.60	6.00	5.50
6	421.70	3	27.00	0.80	1 975	15.10	21.50	8.00	9.50
7	410.00	3	30.00	0.70	1 225	18.10	10.10	1.50	4.50
8	432.50	5	45.00	0.70	1 127	22.70	12.50	2.00	7.00
9	425.30	7	50.00	0.80	1 258	20.50	11.40	4.00	5.00
10	414.50	5	45.00	0.80	1 125	10.30	10.90	3.50	2.50
11	410.60	7	40.00	0.70	1 275	14.50	13.70	1.00	2.00
12	415.30	3	44.00	0.60	1 175	12.10	10.50	1.00	1.00

注:1~6 号为兴安落叶松林样地;7~12 号为白桦林样地。表 2 同。
Note:1-6 are *Larix gmelinii* forests sample plots;7-12 are *Betula platyphylla* forests sample plots. The same for table 2.

1.2.2 可燃物调查 本研究对以灌木、幼树、草本、枯落物为主的地表可燃物负荷量进行测定。在样地对角线上设置 3 块 1 m×1 m 的小样方,用纸袋对样方内的地表可燃物按照 1 h 时滞(直径<0.64 cm)、10 h 时滞(0.64 cm≤直径≤2.54 cm)、100 h 时滞(2.54 cm<直径≤7.62 cm)的标准分级采集^[23],在野外称量其湿质量,并取样带回实验室测定其含水率。

易燃可燃物又称为细小可燃物,本研究易燃可燃物主要包括大部分位于地表的枯草、枯叶、枯枝等死可燃物,这些可燃物轻薄细小,形成结构疏松的可燃物层,彼此间空隙大,水分易流失,干燥、易燃,含水率随大气湿度变化而变化^[24]。大部分草本、幼树叶和小枝(基径>1 cm)、灌木叶和小枝(基径<1 cm)等小直径活可燃物,在气象条件发生改变时,含

水率降至临界点也极易燃烧。分布在林下地表的不同种类易燃可燃物是森林火灾的引火物和地表火水平蔓延的基础。

1.2.3 室内分析 将野外采集的样品放入烘箱内,恒温 105 ℃下连续烘干 24~72 h 至恒质量,用电子天平称得可燃物绝干质量。采用北京林业大学王晓丽等^[25]建立的公式计算地表可燃物负荷量,其公式如下:

$$Fl = \sum_{i=1}^5 \frac{(W_{ig} - W_B)W_{in}}{W_{iG} - W_A}.$$

(1)

式中:Fl 为可燃物负荷量(g/m²);i 为可燃物类别,代表灌木、草本可燃物、1 h 时滞可燃物、10 h 时滞可燃物或 100 h 时滞可燃物;W_{ig} 为第 i 类可燃物样品烘干后的质量(g);W_{in} 为 n 个样方单位面积第 i 类可燃物的平均湿质量(g),其中灌木 n=5,草本、

枯枝 $n=10$; W_{iG} 为第 i 类可燃物的湿质量(g); W_B 为纸袋干质量(g); W_A 为纸袋湿质量(g);

1.2.4 数据处理 使用 SPSS 21.0(IBM,2012)对兴安落叶松和白桦林下各类别的森林地表可燃物与立地和林分因子进行相关性分析,使用 Origin 8.0 (OriginLab,2007)绘制兴安落叶松和白桦林下各级别地表可燃物的数量分布图。

表 2 大兴安岭南部长安落叶松林与白桦林的各类地表可燃物负荷量

Table 2 Surface fuel loadings of <i>Larix gmelinii</i> and <i>Betula platyphylla</i> forests in southern Daxing'anling t/hm ²						
样地号 Plot No.	灌木可燃物 Shrub litter	草本可燃物 Grass litter	1 h 时滞可燃物 1 h fuel	10 h 时滞可燃物 10 h fuel	100 h 时滞可燃物 100 h fuel	地表总可燃物 Total surface fuel loading
1	2.071	1.833	4.343	1.215	1.165	10.626
2	2.310	2.072	7.433	3.975	3.687	19.478
3	2.050	1.587	5.047	3.169	2.962	14.815
4	0.740	0.741	6.936	4.280	3.823	16.520
5	0.881	0.696	6.243	3.653	3.017	14.489
6	1.401	1.035	8.014	4.772	3.665	18.886
7	0.953	0.833	2.522	2.135	1.685	8.128
8	1.657	1.342	3.803	2.581	2.045	11.428
9	0.893	0.744	3.527	2.252	1.974	9.390
10	1.376	1.546	1.853	1.656	1.183	7.614
11	0.864	0.692	2.753	1.941	1.517	7.767
12	1.369	1.275	1.46	11.376	1.072	6.552

对表 2 的样地数据进行整理求取兴安落叶松林和白桦林内地表可燃物平均负荷量,结果见图 1。

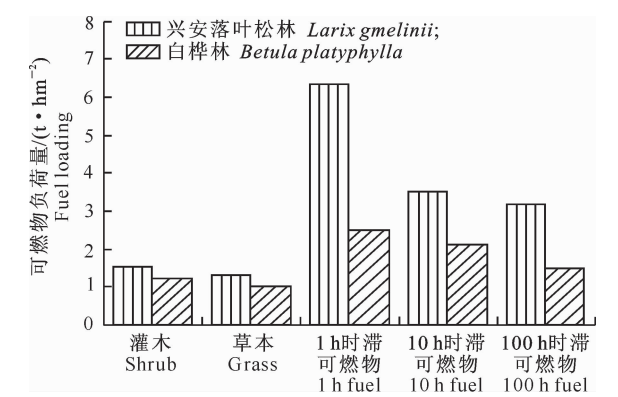


图 1 大兴安岭南部长安落叶松林与白桦林下各类地表可燃物的平均负荷量

Fig. 1 Averagesurface fuel loadingsof *Larix gmelinii* and *Betula platyphylla* forests in southern Daxing'anling

由图 1 可知,在兴安落叶松林下,灌草平均可燃物负荷量为 2.90 t/hm²,白桦林下此类可燃物平均负荷量为 2.26 t/hm²;兴安落叶松林下 1 h 时滞平均可燃物负荷量为 6.34 t/hm²,白桦林下此类可燃物平均负荷量为 2.65 t/hm²;兴安落叶松林下 10 h 时滞平均可燃物负荷量为 3.51 t/hm²,白桦林下此类可燃物平均负荷量为 2.00 t/hm²;兴安落叶松林下 100 h 时滞平均可燃物负荷量为 3.05 t/hm²,白

2 结果与分析

2.1 大兴安岭南部长安落叶松林与白桦林的地表可燃物负荷量

根据公式(1)计算 12 块样地的地表可燃物负荷量,结果如表 2 所示。

桦林下此类可燃物平均负荷量为 1.58 t/hm²。兴安落叶松林下的平均可燃物总负荷量为 15.80 t/hm²,其中 58.46%为易燃可燃物(灌木小枝、草本和 1 h 时滞可燃物)。白桦林下的平均可燃物负荷总量为 8.48 t/hm²,其中 57.91%为易燃可燃物。

由图 1 还可知,兴安落叶松林下的可燃物负荷量明显高于白桦林。大兴安岭南部长安落叶松林受火干扰影响较大^[26],地表可燃物有所损耗,林下更新较多。而兴安落叶松林在充分郁闭前,林下生长着许多喜光易燃杂草,随着林分密度的增大,林冠郁闭程度也随之增加,林内温度变低,使林下枯落物分解速度减慢,林内的可燃物大量积累,因而各类可燃物负荷量水平较高。

2.2 大兴安岭南部长安落叶松林地表可燃物负荷量的影响因子

对整个兴安落叶松林的立地因子、林分因子与各类地表可燃物的负荷量进行相关分析,其相关系数见表 3。由表 3 可知,地形因子与各类地表可燃物负荷量相关性较低。就整个兴安落叶松林而言,灌木可燃物负荷量与林分密度呈极显著负相关,表明林分平均密度越大,林下的光线越弱,林下灌木生长受上层乔木压制,因此密度较大的林分灌木可燃物负荷量相对较小。草本可燃物负荷量也与林分密度呈极显著负相关,这是由于在林分未郁闭前,林下

具备耐荫、喜阴草本的生长条件,随着林分密度逐渐增大,林下小环境发生改变,林下光照减弱,加之乔冠层生长所吸取的养分增多,草本可燃物负荷量逐渐减少。1 h 时滞、10 h 时滞可燃物负荷量与林分郁闭度、平均胸径和平均树高呈显著或极显著正相关,这是因为随着林分郁闭度、平均胸径和树高的增大,林分的冠幅越来越大,林下的枯落物逐渐增加^[27],从而使得 1 h 时滞和 10 h 时滞可燃物越来越多。100 h 时滞可燃物负荷量与林分的郁闭度、平均胸径和平均树高呈显著或极显著正相关,是因为随着郁闭度、树高和胸径的增加,单位面积内树木的

生长空间减小,自然稀疏现象在林分内就越明显,较大的枯枝越来越多地出现在林下^[28],使得 100 h 时滞可燃物负荷量增加。

地表的自然情况也会影响林内的地表可燃物负荷量,对兴安落叶松林下的地表可燃物与凋落物厚度、腐殖质厚度间的关系进行进一步研究,结果见表 3。从表 3 可以看出,灌木和草本可燃物负荷量与地被物层无显著相关性,1 h 时滞、10 h 时滞、100 h 时滞可燃物负荷量与凋落物厚度、腐殖质厚度呈显著或极显著正相关,凋落物厚度越大,枯落物在林内的积累越多,腐殖质厚度逐渐增大。

表 3 大兴安岭南部分兴安落叶松林各因子与地表可燃物负荷量的相关系数

Table 3 Correlation coefficients between the surface fuel loading of *Larix gmelinii* forest and influencing factors in southern Daxing'anling

可燃物 负荷量 Fuel loading	海拔 Altitude	坡度 Slope percent	坡位 Slope position	林龄 Stand age	郁闭度 Crown cover	密度 Density	平均胸径 DBH	平均树高 Mean total height	凋落物 厚度 Litter thickness	腐殖质 厚度 Humus thickness
灌木 Shrub	0.021	-0.285	-0.439	-0.179	-0.616	-0.953 **	-0.030	-0.707	-0.093	-0.323
草本 Grass	0.094	-0.255	-0.287	-0.242	-0.584	-0.987 **	-0.036	-0.685	-0.101	-0.337
1 h 时滞可燃物 1 h fuel	-0.185	0.527	0.338	0.246	0.858 *	0.332	0.856 *	0.875 *	0.871 *	0.967 **
10 h 时滞可燃物 10 h fuel	-0.494	0.633	0.366	0.174	0.928 **	0.540	0.863 *	0.900 *	0.903 *	0.963 **
100 h 时滞可燃物 100 h fuel	-0.609	0.719	0.489	0.016	0.932 **	0.436	0.914 *	0.838 *	0.953 **	0.934 **
总计 Total	-0.260	0.739	-0.054	-0.212	0.667	-0.015	0.923 **	0.488	0.863 *	0.753

注: * 代表相关性在 $P<0.05$ 水平显著, ** 代表相关性在 $P<0.01$ 水平显著。表 4 同。

Note: * representssignificance at $P<0.05$ level, ** representssignificance at $P<0.01$ level. The same for table 4.

2.3 大兴安岭南部分白桦林地表可燃物负荷量的影响因子

对白桦林的林分、地形因子与各类地表可燃物的负荷量进行相关分析,结果见表 4。由表 4 可知,立地因子对白桦林各类可燃物负荷量无显著影响。白桦林中灌木和草本可燃物负荷量与林分密度呈极显著负相关,这是因为随着林分密度的增加郁闭度增大,林内光线减弱,不宜灌草生长,同时密度大的

林分物种的生长竞争也较为激烈,随着林分密度的增大可燃物负荷量减小。1 h 时滞、10 h 时滞和 100 h 时滞可燃物负荷量与林分平均胸径、腐殖质层厚度呈显著或极显著正相关,这是因为随着林分平均胸径的增大,其冠幅逐渐增加,郁闭度增大,使林内温度降低,林木自然整枝产生的枯枝在林下积累,使腐殖质层也随之增加,导致可燃物负荷量增大。

表 4 大兴安岭南部分白桦林各因子与地表可燃物负荷量的相关系数

Table 4 Correlation coefficients between the surface fuel loading of *Betula platyphylla* forest and influencing factors in southern Daxing'anling

可燃物 负荷量 Fuel loading	海拔 Altitude	坡度 Slope percent	坡位 Slope position	林龄 Stand age	郁闭度 Crown cover	密度 Density	平均胸径 DBH	平均树高 Mean total height	凋落物 厚度 Litter thickness	腐殖质 厚度 Humus thickness
灌木 Shrub	0.530	0.304	-0.410	0.309	-0.231	-0.942 **	0.004	-0.081	-0.021	0.223
草本 Grass	0.251	0.307	-0.569	0.296	-0.043	-0.972 **	-0.352	-0.281	0.151	-0.049
1 h 时滞可燃物 1 h fuel	0.717	-0.070	0.435	0.225	0.368	0.204	0.917 **	0.507	0.289	0.868 *
10 h 时滞可燃物 10 h fuel	0.647	-0.232	0.279	0.000	0.334	0.088	0.934 **	0.366	0.221	0.947 **
100 h 时滞可燃物 100 h fuel	0.669	-0.087	0.287	0.088	0.336	0.224	0.968 **	0.326	0.275	0.916 *
总计 Total	0.857 *	0.006	0.172	0.262	0.307	-0.201	0.879 *	0.365	0.303	0.949 **

3 讨论与结论

在大兴安岭南地区,兴安落叶松林下的平均可燃物负荷总量为 15.80 t/hm^2 ,其中 58.46% 为易燃可燃物。白桦林下的平均可燃物负荷总量为 8.48 t/hm^2 ,其中 57.91% 为易燃可燃物。总体而言,大兴安岭南地区的地表可燃物负荷量水平较低;郁闭度、平均树高和平均胸径是影响林分地表可燃物负荷量的主要因子。相关分析结果表明,兴安落叶松林下灌木与草本可燃物负荷量主要与林分密度呈负相关;1 h 时滞、10 h 时滞和 100 h 时滞可燃物负荷量与郁闭度、平均胸径、平均树高呈正相关。白桦林下灌木、草本可燃物负荷量与林分密度呈负相关,1 h 时滞、10 h 时滞和 100 h 时滞可燃物负荷量主要与平均胸径呈正相关。这与以往研究所得出的结论一致。胡海清^[17]、陈宏伟等^[15]、郭利峰等^[16]的研究认为,可燃物负荷量与海拔、坡度、坡向等立地因子的相关性也较高。本研究虽然也涉及地形因子与可燃物负荷量的相关性分析,但相关性并不显著,这可能是由于大兴安岭南地区地形的整体差异较小所致。国内有学者研究认为,林下可燃物负荷量及其分布与林龄密切相关^[29-31],而本研究显示可燃物负荷量与林龄无明显的相关关系,这可能是由于研究区兴安落叶松林和白桦林林分的龄级比较接近造成的。

森林地表可燃物主要包括林下植被、枯落物层和地被物层,其生物量是地表可燃物负荷量的重要组成部分。研究森林地表可燃物负荷量的影响因子,可以对大兴安岭南地区相似林分类型的可燃物管理提供一定的参考依据。本研究结果表明,研究区可燃物负荷量在不同林分内的分布特点各有不同,因此在进行可燃物管理时,应选择合理适宜的措施。例如,郁闭度显著影响着林下可燃物的负荷量,因此对郁闭度较高、人类活动频繁的林分应该定期清理林下可燃物,以减少可燃物的负荷量。在现今森林生态系统不断受到危害的严峻形势下,森林经营活动应逐渐重视保护森林物种的多样性与森林生态系统的稳定性;对森林可燃物的管理应更加突出生态效益,选择有针对性的可燃物管理措施,降低潜在森林火灾风险;在营林工作中应注重保护森林物种的多样性,提高生态系统的稳定性,从而科学地管理大兴安岭南地区森林可燃物^[32]。

[参考文献]

- [1] 单延龙,舒立福,李长江. 森林可燃物参数与林分特征关系[J]. 自然灾害学报,2004,13(6):70-75.
Shan Y L, Shu L F, Li C J. A relationship between forest combustible parameters and stand characteristics [J]. Journal of Natural Disasters, 2004, 13(6): 70-75. (in Chinese)
- [2] 高国平,周志权,王忠友. 森林可燃物研究综述[J]. 辽宁林业科技,1998(4):34-37.
Gao G P, Zhou Z Q, Wang Z Y. A summarize of study on forest fuel [J]. Journal of Liaoning Forestry Science & Technology, 1998(4): 34-37. (in Chinese)
- [3] Sah J P, Ross M S, Snyder J R, et al. Fuel loads, fire regimes and post-fire fuel dynamics in Florida Keys pine forests [J]. International Journal of Wild Land Fire, 2006, 15: 463-478.
- [4] 云丽丽,张元宏,高国平. 森林地被可燃物燃烧性的研究[J]. 辽宁林业科技,2001(5):15-21.
Yun L L, Zhang Y H, Gao G P. Studies on the combustibility of forest fuel [J]. Journal of Liaoning Forestry Science & Technology, 2001(5): 15-21. (in Chinese)
- [5] Pearce H G, Anderson W R, Fogarty L G, et al. Linear mixed-effects models for estimating biomass and fuel loads in shrub lands [J]. Canadian Journal of Forest Research, 2010, 40(10): 2015-2026.
- [6] Brown J K. Estimating crown fuel weights of red pine and jack pine [M]. Ogden: USDA Forest Service Research Paper Ls-20, 1965: 12.
- [7] Grosby J S. Litter and duff fuel in short leaf pine stands in southeast Missouri [M]. Washington: USDA Forest Service Forest States Forest Expstn Techpap, 1961: 178.
- [8] Ryu S R, Chen J Q, Zheng D L, et al. Simulating the effects of prescribed burning on fuel loading and timber production (EcoFL) in managed northern Wisconsin forests [J]. Ecol Model, 2006, 196: 395-406.
- [9] Finney M A. Design of regular landscape fuel treatment patterns for modifying fire growth and behavior [J]. Forest Science, 2001, 47(2): 219-228.
- [10] 邱雪颖,王宏良,姚树人,等. 大兴安岭森林地表可燃物生物量与林分因子关系的研究[J]. 森林防火,1994(2):16-18.
Di X Y, Wang H L, Yao S R, et al. Research of relationship of surface fuel biomass to stand factors in Daxing'anling forests [J]. Forest Fire Prevention, 1994(2): 16-18. (in Chinese)
- [11] 刘晓东,王军,张东升,等. 大兴安岭地区兴安落叶松林可燃物模型的研究[J]. 森林防火,1995(3):8-9.
Liu X D, Wang J, Zhang D S, et al. Research of fuel model of *Larix gmelinii* forests in Daxing'anling region [J]. Forest Fire Prevention, 1995(3): 8-9. (in Chinese)
- [12] 田晓瑞,王明玉,殷丽,等. 大兴安岭南春季火行为特征及可燃物消耗[J]. 林业科学,2009,45(3):90-95.
Tian X R, Wang M Y, Yin L, et al. Fire behavior and consumption of fuel loadings in spring season in southern Daxing'an mountains [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2009, 45(3): 90-95. (in Chinese)

- [13] 王明玉,舒立福,赵凤君,等.北京西山可燃物特点及潜在火行为[J].林业科学,2010,46(1):84-90.
Wang M Y,Shu L F,Zhao F J,et al. Characteristics of forest fuel and potential fire behavior in Xishan mountain of Beijing[J]. Scientia Silvae Sinicae,2010,46(1):84-90. (in Chinese)
- [14] 舒立福,王明玉,田晓瑞,等.关于森林燃烧火行为特征参数的计算与表述[J].林业科学,2004,40(3):179-183.
Shu L F,Wang M Y,Tian X R,et al. Caculation and description of forest fire behavior characters[J]. Scientia Silvae Sinicae,2004,40(3):179-183. (in Chinese)
- [15] 陈宏伟,常禹,胡远满,等.大兴安岭呼中林区森林死可燃物载量及其影响因子[J].生态学杂志,2008,27(1):50-55.
Chen H W,Chang Y,Hu Y M,et al. Load of forest surface dead fuel in Huzhong area of Daxing'anling Mountains and relevant affecting factors[J]. Chinese Journal of Ecology,2008,27(1):50-55. (in Chinese)
- [16] 郭利峰,牛树奎,阚振国.八达岭人工油松林地表枯死可燃物负荷量的研究[J].林业资源管理,2007(5):53-58.
Guo L F,Niu S K,Kan Z G. Study on dead surface fuel loading of *Pinus tabulaeformis* forest of Badaling forest center in Beijing[J]. Forest Resources Management,2007(5):53-58. (in Chinese)
- [17] 胡海清.利用林分特征因子预测森林地被可燃物载量的研究[J].林业科学,2005,41(5):96-100.
Hu H Q. Predicting forest surface fuel load by using forest stand factors[J]. Scientia Silvae Sinicae,2005,41(5):96-100. (in Chinese)
- [18] 田晓瑞,舒立福,王明玉,等.大兴安岭雷击火时空分布及预报模型[J].林业科学研究,2009,22(1):14-20.
Tian X R,Shu L F,Wang M Y,et al. Spatial and temporal distribution of lightning fire and forecasting model for Daxing'anling region[J]. Forest Research,2009,22(1):14-20. (in Chinese)
- [19] 田晓瑞,殷丽,舒立福,等.2005—2007年大兴安岭林火释放碳量[J].应用生态学报,2009,20(12):2877-2883.
Tian X R,Yin L,Shu L F,et al. Carbon emission from forest fires in daxing'anling region in 2005—2007[J]. Chinese Journal of Applied Ecology,2009,20(12):2877-2883. (in Chinese)
- [20] 徐化成.大兴安岭森林[M].北京:科学出版社,1998:10-15.
Xu H C. Forests in Daxing'anling[M]. Beijing:China Science Press,1998:10-15. (in Chinese)
- [21] 姜孟霞,姜东涛.森林可燃物等级标准与调查的研究[J].森林防火,1998(1):19-21.
Jiang M X,Jiang D T. Research of standard and survey of forest fuel[J]. Forest Fire Prevention,1998(1):19-21. (in Chinese)
- [22] 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.
Hu H Q. Measurement and analysis of the physics and chemistry character of main forest fuel in Daxing'anling forests[J]. Forest Fire Prevention,1995(1):27. (in Chinese)
- [23] Burrows N D,Mccaw W L. Fuel characteristics and bushfire control in Banksia low woodlands in Western Australia[J]. Environmental Management,1990,31:229-236.
- [24] 胡海清,牛树奎,金森,等.林业生态与管理[M].北京:中国林业出版社,2005:17-19.
Hu H Q,Niu S K,Jin S,et al. Fire ecology and management[M]. Beijing:China Forestry Publishing House,2005:17-19. (in Chinese)
- [25] 王晓丽,牛树奎,马钦彦,等.北京地区主要针叶林易燃可燃物垂直分布[J].北京林业大学学报,2009,31(2):31-35.
Wang X L,Niu S K,Ma Q Y,et al. Vertical distribution of flammable fuels in major conifer forests of Beijing area[J]. Journal of Beijing Forestry University,2009,31(2):31-35. (in Chinese)
- [26] 田晓瑞,王明玉,殷丽,等.大兴安岭南部分春季火行为特征及可燃物消耗[J].林业科学,2009,45(3):90-95.
Tian X R,Wang M Y,Yin L,et al. Fire behavior and consumption of fuel loading in spring season in southern Daxing'an mountains[J]. Scientia Silvae Sinicae,2009,45(3):90-95. (in Chinese)
- [27] 王刚,毕湘虹,骆介禹,等.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(1):22-24.
Wang G,Bi X H,Luo J Y,et al. Chemical composition and combustibility of several main fuel in Daxing'anling[J]. Forest Fire Prevention,1996(1):22-24. (in Chinese)
- [28] Harmon M E,Cromack J K,Smith B G. Coarse woody debris in mixed conifer forests,Sequoia National Park[J]. Canadian Journal of Forest Research,1987,17(10):1265-1272.
- [29] 周志权.辽东3种主要林型地被可燃物载量的研究[J].东北林业大学学报,2000,28(1):32-34.
Zhou Z Q. Loading capacity of fuels of ground cover for three major forest types in Eastern Liaoning[J]. Journal of Northeast University,2000,28(1):32-34. (in Chinese)
- [30] 王叁,牛树奎,李德,等.云南松林可燃物的垂直分布及影响因子[J].应用生态学报,2013,24(2):331-337.
Wang S,Niu S K,Li D,et al. Vertical distribution of fuels in *Pinus yunnanensis* forest and related affecting factors[J]. Chinese Journal of Applied Ecology,2013,24(2):331-337. (in Chinese)
- [31] 刘艳红,马炜.长白落叶松人工林可燃物碳储量分布及燃烧性[J].北京林业大学学报,2013,35(3):32-38.
Liu Y H,Ma W. Carbon distribution and combustibility of fuels in *Larix olgensis* plantations[J]. Journal of Beijing Forestry University,2013,35(3):32-38. (in Chinese)
- [32] 金琳,刘晓东,任本才,等.十三陵林场低山林区针叶林地表可燃物负荷量及其影响因子[J].林业资源管理,2012(2):9.
Jin L,Liu X D,Ren B C,et al. Surface fuel loads in the low mountain coniferous forest of Ming Tombs Forest Farm and relevant affecting factors[J]. Forest Resources Management,2012(2):9. (in Chinese)