

火干扰及环境因子对油松林林下植被的影响

褚燕琴, 牛树奎, 陈 锋, 芮淑君, 王 凯

(北京林业大学 林学院, 北京 100083)

摘要: 为研究火干扰及环境因子影响下油松 *Pinus tabulaeformis* 林林下植被的变化, 以河北省平泉县辽河源森林公园人工油松林火烧迹地为对象, 根据烧伤程度不同, 划分为轻度、中度、重度3个火烧强度级别, 设置重复3个样地⁻¹, 并分别设置了对照样地(未过火林地), 通过对不同火烧强度样地植被与环境因子进行调查, 采用冗余分析(RDA)分析了环境因子对林下植被的影响, 并探讨火烧迹地的林下植被恢复特征。结果表明: ①火烧后林下植被的生长受树木死亡率和坡向的影响比较大, 坡位和坡度对林下植被重要值几乎没有影响。②火烧过后植物种类均有所增加, 草本种类和灌木种类的重要值发生了不同程度的变化, 重度火烧迹地增加幅度最大, 与对照相比, 草本种类从15种增加到26种, 灌木种类由3种增加为6种。③随着火烧强度的增加, 林下植被的丰富度指数(R)和多样性指数(H)呈增加趋势($P < 0.05$), 均匀度指数(J)递减($P < 0.05$)。火烧后林下植被的生长与变化, 受林火因子与地形因子的共同影响, 且火烧在一定程度上有利于林下植被的生长。图3表5参25

关键词: 森林保护学; 火烧强度; 林下植被; 冗余分析(RDA); 重要值; 多样性指数

中图分类号: S718.5

文献标志码: A

文章编号: 2095-0756(2017)01-0096-08

Fire disturbance and environmental factors for the undergrowth in a *Pinus tabulaeformis* forest

CHU Yanqin, NIU Shukui, CHEN Feng, RUI Shujun, WANG Kai

(College of Forestry, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: To study the influence of fire disturbance and environmental factors on undergrowth vegetation changes in a *Pinus tabulaeformis* forest, burned areas of an artificial *P. tabulaeformis* forest in Liaoheyuan National Forest Park of Pingquan County, Hebei Province were used as research objects. The burned forest was divided into three levels according to the degree of burn: mild, moderate, and severe. And three repeated plots were set. Non-burned forests near the burned area were also used for control plots. A redundancy analysis (RDA) was conducted on undergrowth vegetation and environmental factors in the three degrees of the burned area and the non-burned forest. Analysis also determined the richness index(R), diversity index(H), and evenness index (J). Results showed that undergrowth regeneration after fire was largely influenced by tree mortality rate and slope aspect, but slope and slope position had little effect on important herbs. The importance value for herbs and shrubs showing different degrees of change after fire: compared to control plots the severe burned area had a sharp increase in the number of herbaceous species from 15 to 26 with the number of shrub species increasing from 3 to 6. With an increase in fire intensity, R and H showed an overall increase ($P < 0.05$); whereas, J decreased ($P < 0.05$). Thus, growth and changes in undergrowth vegetation after fire were jointly affected by fire and topographic factors with fire being conducive to regeneration of undergrowth vegetation partly. [Ch, 3 fig. 5 tab. 25 ref.]

Key words: forest protection; fire intensity; undergrowth vegetation; Redundancy Analysis (RDA); importance

收稿日期: 2016-01-19; 修回日期: 2016-04-17

基金项目: 国家林业局林业科学技术推广项目(2015-04)

作者简介: 褚燕琴, 从事林火生态研究。E-mail: 15650700210@163.com。通信作者: 牛树奎, 教授, 博士, 从事林火生态研究。E-mail: shukuiniu@163.com

value; diversity index

林火作为一种重要的生态因子^[1]，一方面大的火灾会导致林内环境的剧烈变化，破坏生态平衡，对森林植被造成严重的危害；另一方面，适度强度和频率的林火在维护生态平衡和生物多样性方面会起到促进作用^[2]。火强度过大或火烧频率过高会破坏林分结构和功能，打破生态系统平衡；而低强度和周期性火烧可以改善林分结构，促进物质循环^[3]。林火被认为是群落演替的重要驱动力^[4]，由林火干扰引发的植被演替在森林结构和物种多样性方面起着显著的作用。全球气候变暖形势可能会促进林火的发生，未来林火干扰的频率和强度都呈增加的趋势^[5]，森林植被可能会因火灾的增加而发生很大的变化。近年来，对火烧迹地植被变化的研究不断有新的进展和成果^[6]。蔡文华等^[7]利用增强树回归法对黑龙江省大兴安岭林区火烧迹地植被更新进行了研究，陈鹏飞等^[8]在土壤性质分析的基础上对北京西山地区火烧迹地植被恢复特征进行了研究，对火烧初期植被更新以及火烧后生物多样性变化的研究也在逐年增多^[9-12]。前人的研究大多是比较火干扰前后林下植被的变化特征，将火干扰强度和环境因子结合起来对林下植被进行的研究比较少。为了深入了解火后林下植被演替发展过程以及影响因素，本研究以河北省辽河源森林公园火烧 1 a 后的人工油松 *Pinus tabulaeformi* 林火烧迹地为对象，初步研究了火烧初期不同强度火干扰和环境因子共同影响下林下植被的恢复特征，为探讨火烧迹地的植被恢复及植被演替规律提供科学依据。

1 研究地概况

研究地位于河北省平泉县大窝铺林场的辽河源森林公园(41°00'~41°10'N, 118°30'~118°40'E)，地处河北省承德市东北部，燕山山脉末端，东接辽宁省凌源市，北接内蒙古自治区宁城县，西接河北省承德市。森林覆盖率超过 80%，主峰海拔达到 1 780 m，区域属于暖温带向中温带过度，大陆性季风气候。年平均气温为 5.0~7.0 ℃，四季分明，雨水充足，年均降水量为 500.0~700.0 mm，主要集中在夏季，无霜期为 120.0~130.0 d。土壤类型主要是棕土和褐土，海拔 700 m 以上主要分布有褐土，厚度为 20~30 cm。该区主要有油松林、蒙古栎 *Quercus mongolica* 林、山杨 *Populus davidiana* 林、白桦 *Betula platyphylla* 林和落叶松 *Larix gmelinii* 林等几种森林群落类型，林下植被主要由胡枝子 *Lespedeza bicolor*，大花溲疏 *Deutzia grandiflora*，土庄绣线菊 *Spiraea pubescens* 等灌木和鸡腿堇菜 *Viola acuminata*，细叶薹草 *Carex duriuscula*，野青茅 *Deyeuxia arundinacea*，小红菊 *Dendranthema chanelii*，银背风毛菊 *Saussurea nivea*，玉竹 *Polygonatum odoratum*，藜 *Chenopodium album* 等草本组成。

2 研究方法

2.1 样地设置依据

在火烧迹地中，树木枝叶死亡原因有多种，比如被火烧死、病虫害、烟熏等，有的样地里根据熏黑高度和受伤林冠层的特征可以得知火烧并未烧到树冠，部分林冠层下层的叶子死亡可能是受火的熏烤，使枝叶失去营养成分和水分导致的干死。有的样地里的树木全部死亡，但是树冠层残留枯叶，地表也有枯枝落叶层，说明样地中的树木并非当时全部被火烧死，可能当时的火烧力度并不足以把叶子全部点燃，而是经过火烤烟熏以后，由于缺乏水分和生长的营养成分而枯死。有些地方树木全部死亡，树干完全熏黑，树冠未保留任何枯叶，地表也无枯枝落叶层，说明当时的火蔓延到树冠顶端把树叶全部烧光，没有残留。据调查可知：当熏黑高度达到树高的 2/3 以上时，树木会全部死亡，而在 1/3 以下时，仅造成地表火，未伤及树冠。根据火烧迹地树木死亡情况、死亡原因、熏黑高度和地表枯落物层，对样地的火烧强度进行如下划分^[9,13]：①轻度火烧迹地(地表火)。烧死木占林木株数的 30%以下，林冠大部分存活，树冠有绿叶。熏黑高度与树高的比值在 1/3 以下。②中度火烧迹地。烧死木占林木株数的 30%~69%，林冠层少部分存活，叶子大部分枯黄，树冠顶端有少许绿叶，熏黑高度与树高的比值在 1/3~2/3。③重度火烧迹地。烧死木占林木株数的 70%~100%，林冠层全部死亡，根据树冠层存留的枯叶和熏黑高度以及地表枯枝落叶枯叶判断，死亡原因有受火烟熏后枯死的，有被火直接烧死的，树冠上存留枯死叶，熏黑高度与树高的比值在 2/3 以上。

2.2 调查方法

以河北省辽河源森林公园火烧 1 a 后的人工油松林火烧迹地为调查对象, 样地过火时间是 2014 年 10 月, 调查时间为 2015 年 7 月到 9 月中旬, 在具有不同火烧强度和不同立地因子的火烧迹地以及未过火林地。设置大小为 20 m × 30 m 或者 30 m × 30 m 的样地, 记录每块样地的坡向、坡度、坡位、海拔等立地因子, 并测定树木熏黑高度和烧伤等级。将每块样地分为 5 m × 5 m 的小样方, 分别调查每个小样方内的乔木、灌木、草本的种类、盖度、高度和数量。本研究共设置大样地 20 块, 设置样地时尽量选取生境条件一致且有代表性的地段以减小样地本底的差异, 所有调查数据均取自于这些样地。20 块样地均用于冗余分析(RDA), 选取其中 12 块样地用于研究不同火烧强度下林下植被重要值和多样性。所有样地概况如表 1。

表 1 标准地概况

Table 1 General situation of sampling plots

编号	样地类型	海拔/m	坡度/(°)	坡向/(°)	坡位	平均熏黑高度与树高的比值	烧死木株数百分比/%
1	轻度	1 189	27	282	上	0.10	6.76
2	中度	1 173	26	272	上	0.49	51.02
3	重度	1 173	26	242	上	1.00	75.50
4	未过火(对照)	1 165	25	279	上	0.00	0.00
5	轻度	1 159	28	79	中	0.14	5.90
6	中度	1 168	27	105	中	0.35	39.00
7	重度	1 198	24	95	中	1.00	100.00
8	未过火(对照)	1 185	28	101	中	0.00	0.00
9	轻度	1 179	27	258	下	0.29	12.99
10	中度	1 225	24	242	下	0.37	35.94
11	重度	1 116	27	235	下	0.72	74.07
12	未过火(对照)	1 180	27	235	下	0.00	0.00
13	重度	1 109	37	228	中	1.00	100.00
14	重度	1 150	25	185	上	1.00	100.00
15	重度	1 148	26	276	中	1.00	100.00
16	轻度	1 198	24	275	中	0.14	0.00
17	重度	1 186	30	130	中	0.47	34.04
18	未过火(对照)	1 210	34	179	上	0.00	0.00
19	未过火(对照)	1 239	29	44	中	0.00	0.00
20	重度	1 145	25	300	上	1.00	100.00

2.3 指标计算

植物组成变化采用重要值进行分析, 植被多样性的变化采用丰富度指数(Margalef 指数)、多样性指数(Shannon 指数)和均匀度指数(Pielou 指数)等 3 个指标进行评价^[14]。

灌木/草本重要值: 重要值 = (相对密度+相对高度+相对盖度) / 3。植被多样性: 丰富度指数 $R = (S-1) / \ln N$; 均匀度指数 $J = - \sum_{i=1}^S (P_i \ln P_i) / \ln S$; 多样性指数 $H = - \sum_{i=1}^S (P_i \ln P_i)$ ($i=1, 2, 3, \dots, S$)。其中: S 为群落中的总物种数; N_i 为种 i 的个体数; N 为群落中全部种的总个体数, $P_i = N_i / N$ 。

2.4 数据分析

用 CANOCA 4.5 进行冗余分析(RDA)^[15-19], 物种矩阵采用草本与灌木物种的重要值数据, 环境矩阵包含 5 个变量, 其中, 坡度(SI), 平均熏黑高度与树高比值(SH), 烧死木株数百分比(DR)以实测及计算数据为准, 坡向(AS)和坡位(SP)需要进行数字转化, 坡向(AS)以 1~8 数字代替, 坡位以 1~3 数字代替^[20], 运用 Excel 2007 计算不同火烧强度下的林下植被的重要值以及多样性指数并绘图, 林下植被多样性指数间差异的最小显著差法(LSD)检验及环境因子与轴相关系数的显著性检验在 SPSS 21.0 中进行。

3 结果与分析

3.1 火烧迹地林下植被与环境因子的关系

运用冗余分析(RDA)对林下植被重要值和环境因子的关系进行分析, 经对物种进行筛选后得到排序结果(表 2 和表 3)和排序图(图 1 和图 2)。

表 2 冗余分析(RDA)结果

Table 2 Result of redundancy analysis (RDA)

轴	物种与环境的相关系数	对物种数据解释百分比/%	物种环境关系的累计贡献率/%	蒙特卡罗置换检验
1	0.907	26.8	62.2	$P=0.002$
2	0.709	34.0	78.8	

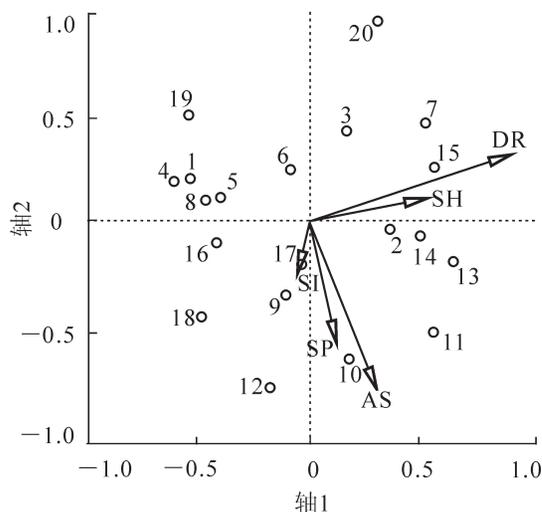
表 3 RDA 排序轴与环境因子的相关系数

Table 3 Correlation coefficients of the RDA ordination axes and the environmental factors

物种与环境因子	轴 1	轴 2
坡度(SP)	-0.108 2	-0.408 8*
坡向(AS)	0.260 3	-0.556 8**
坡位(SI)	-0.043 4	-0.169 7
平均熏黑高度与树高的比值(SH)	0.479 9**	0.071 0
烧死木株数百分比(DR)	0.843 3**	0.219 0

说明: **表示 0.01 水平上极显著相关, *表示在 0.05 水平上显著相关。

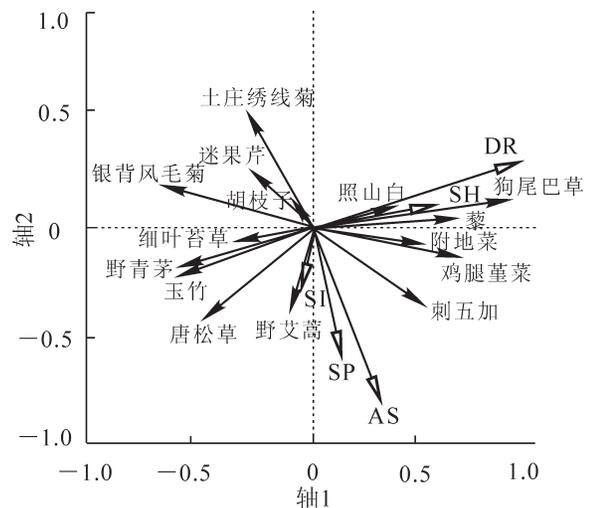
排序轴的前 2 轴累计解释了物种数据的 34.0%, 可能丢失了部分物种信息。由表 2 可知: 第 1 轴解释了火烧迹地林下植被与环境关系的 62.2%, 相关系数为 0.907, 第 2 轴解释了物种环境关系的 16.6%, 相关系数为 0.709; 前 2 轴共同解释了物种环境间关系的 78.8%, 可反映排序的绝大部分信息, 且 $P < 0.01$, 可通过检验。RDA 排序图中, 阿拉伯数字代表样方编号, 数字间的距离代表样方的相似程度, 环境变量箭头连线的长度表示该环境因子对物种分布影响的大小, 连线越长影响越大, 物种箭头长短表示排序轴对该物种的估算力的强弱, 箭头夹角的余弦值为相关系数^[16-18]。由图 1 和表 3 可以看出: 对林下植被分布影响最大的是烧死木株数百分比(DR), 其次是坡向(AS)。烧死木株数百分比(DR)与第 1 轴的



SH. 平均熏黑高度与树高比值; AS. 坡向; DR. 烧死木株数百分比; SI. 坡位; SP. 坡度
1~20为样地编号, 其中4, 8, 12, 18, 19为未过火样地, 1, 5, 9, 16为轻度火烧迹地; 2, 6, 10, 17为中度火烧迹地; 3, 7, 11, 13, 14, 15, 20为重度火烧迹地。

图 1 样地与环境因子的 RDA 排序

Figure 1 RDA ordination of sample and environment variables



SH. 平均熏黑高度与树高比值; AS. 坡向; DR. 烧死木株数百分比; SI. 坡位; SP. 坡度。

图 2 物种与环境因子的 RDA 排序

Figure 2 RDA ordination of species and environment variables

夹角最小,说明其与第1轴的相关程度最高;坡位(SP)的影响不大。由图1可以看出:沿烧死木株数百分比(DR)箭头的方向,样地编号沿对照—轻度—中度—重度梯度变化,说明烧死木株数百分比(DR)可以代表火烧强度对林下植被的影响;沿坡向(AS)的箭头样地编号由阴坡到阳坡过度。由图2可以看出:排序图对狗尾巴草 *Setaria viridis*, 土庄绣线菊和银背风毛菊有最大估算力,狗尾巴草 *Setaria viridis* 与烧死木株数百分比(DR)显著成正比,是火烧后的入侵种,随火烧强度的增加,其重要值也在增加,唐松草 *Thalictrum aquilegifolium*, 玉竹、野青茅则与烧死木株数百分比(DR)成反比;土庄绣线菊和银背风毛菊与坡向(AS)成一定的负相关,说明土庄绣线菊与银背风毛菊更适宜在阳坡生长。各植物种随烧死木株数百分比(DR)和坡向(AS)的变化都有不同程度的变化。

3.2 不同强度火干扰对林下物种组成及重要值的影响

由表4可以看出:与未过火林地相比,火烧迹地草本种类均有所增加,增加最为显著的是重度火烧迹地。未过火林地以及不同强度的火烧迹地之间各植被重要值有所差异,对照林地中的草本种类有15种,其中细叶薹草和小红菊的重要值最高,为优势种;火烧后保留的物种有野艾蒿,鸡腿堇菜,迷果芹 *Sphallerocarpus gracilis*, 细叶薹草,小红菊,野青茅,银背风毛菊和玉竹,这些草本大多适应环境能力较强;彻底消失的物种有毛茛 *Ranunculus japonicus*, 唐松草和蛇莓,这些均为不耐旱的植物;增加的植物种类有多头苦苣菜 *Ixeris polycephala*, 附地菜 *Trigonotis peduncularis*, 苍术 *Atractylodes lancea*, 沙参 *Adenophora stricta*, 野豌豆 *Vicia sepium* 和狗尾巴草等旱生植物,其中狗尾巴草的重要值随着火烧强度的增加而增加,并在重度火烧迹地中成为了优势种,鸡腿堇菜虽然喜阴湿环境,但是其耐旱性也较强,在重度火烧后,有些不耐旱的植物重要值降低,耐旱植物的重要值就会相应增高,所以鸡腿堇菜的重要值在重度火烧迹地也有所增加。轻度火烧和中度火烧后的样地中草本植物种类增加到17种,优势种仍然是小红菊和细叶薹草,但是与对照林地相比,小红菊的重要值随着火烧强度的增加有所增加,而细叶薹草的重要值随火烧强度的增加而减小了,但重度火烧样地草本种类增加到了26种,增加的多为一些喜光植物和固氮植物。由表5看出:灌木的种类随着火烧强度的增加而增加,与对照相比重度火烧迹地中大花溲疏的重要值增加,并成为了优势种,在中度和重度火烧迹地出现了照山白 *Rhododendron micranthum* 和刺五加 *Acanthopanax senticosus*, 皆为耐干旱、耐寒、耐瘠薄、适应性强的灌木。重度火烧后,树木大部分被烧死,光照条件更为充足,林内小环境发生了较大的变化,所以产生了较多新的物种,但是所增加的物种的重要值都比较低,说明在重度火烧1a后林下植被发生了较大的变化,但是这种变化并不稳定,这些增加的物种可能在林地环境恢复,郁闭度增加的过程中逐渐消失,被原先的物种所取代。重度火烧后地表覆盖的枯落物被烧光,

表4 不同强度火烧迹地草本重要值

Table 4 Importance values of herb in different degree of burned area and non-burned forest

草本层	重要值/%			
	轻度	中度	重度	对照
唐松草 <i>Thalictrum aquilegifolium</i>				4.17
费菜 <i>Sedum aizoon</i>			0.20	1.32
野艾蒿 <i>Artemisia lavandulaefolia</i>	3.77	8.61	5.48	4.20
鸡腿堇菜 <i>Viola acuminata</i>	8.41	10.81	14.24	4.87
早开堇菜 <i>Viola prionantha</i>	0.87		0.20	
迷果芹 <i>Sphallerocarpus gracilis</i>	1.42		1.64	1.90
茜草 <i>Rubia cordifolia</i>		1.14	0.17	0.55
细叶薹草 <i>Carex duriuscula</i>	23.86	17.44	12.06	27.46
毛茛 <i>Ranunculus japonicus</i>				11.55
野青茅 <i>Deyeuxia arundinacea</i>	2.58	1.38	3.55	9.60
银背风毛菊 <i>Saussurea nivea</i>	4.41	0.34	0.20	4.58
玉竹 <i>Polygonatum odoratum</i>	9.00	8.35	2.68	8.02
鸢尾 <i>Iris tectorum</i>		6.02		0.61
附地菜 <i>Trigonotis peduncularis</i>	1.61	4.31	2.12	
狗尾巴草 <i>Setaria viridis</i>	10.18	12.03	27.15	
石竹 <i>Dianthus chinensis</i>		1.03		
野蒜 <i>Allium macrostemon</i>	0.81	0.80	0.18	
柴胡 <i>Bupleurum chinense</i>			0.61	0.57
并头黄芩 <i>Scutellaria scordifolia</i>		1.48	0.41	
苍术 <i>Atractylodes lancea</i>	1.96	2.18		
鸭跖草 <i>Commelina communis</i>		1.80	0.86	
藜 <i>Chenopodium album</i>		0.69	2.97	
鸦葱 <i>Scorzonera austriaca</i>			1.80	
拳蓼 <i>Polygonum bistorta</i>			0.73	
小红菊 <i>Dendranthema chanelii</i>	27.06	21.58	16.16	20.07
沙参 <i>Adenophora stricta</i>	0.49			
委陵菜 <i>Potentilla chinensis</i>	1.74			
多头苦苣菜 <i>Ixeris polycephala</i>			1.06	
蛇莓 <i>Duchesnea indica</i>				0.52
酸膜叶蓼 <i>Polygonum lapathifolium</i>			0.29	
乌头 <i>Aconitum carmichaeli</i>			1.70	
野豌豆 <i>Vicia sepium</i>	0.25		0.87	
早熟禾 <i>Poa annua</i>	1.58		0.57	
风毛菊 <i>Saussurea japonica</i>			0.59	

树冠层烧伤严重，使得草本植物接触充足的光照，且土壤温度升高，空气湿度降低，一些适应性强耐干旱的植物均可以生长，所以重度火烧后出现的植物种类较多，但增加的种类的重要值均较小。这预示着在植被恢复过程中，随着乔木幼苗和灌木的生长，郁闭度增大，这些新增加的植被很可能被原先的植被所取代。

3.3 不同强度火烧后的林下植被的生物多样性

由图 3 可知：随着火烧强度的增加，林下植物的丰富度指数(R)呈增加趋势，其中重度火烧迹地的丰富度指数(R)显著高于其他 3 种样地($P < 0.05$)；均匀度指数(J)递减；多样性指数(H)在轻度和中度火烧前后变化不大($P > 0.05$)，而在重度火烧后略为增加($P < 0.05$)，可能是因为火烧 1 a 内植被类型还没有长全，在重度火烧初期，树木烧伤严重，林内郁闭度大幅度下降，短时间内难以恢复，导致林下植物的丰富度随着光照强度增加，分布不均匀，但是多样性指数仍然有所增加。重度火烧迹地中，环境相对于其他 3 种样地更会激化某些优势种的生长，使得优势种的重要值变大，如鸡腿堇菜、狗尾巴草、大花溲疏，而新侵入其他的植物种如野豌豆、苦蕒菜、并头黄芩等重要值却很小，从而导致植物均匀度低于其他 3 种样地。

4 结论与讨论

火干扰对林下植被的影响不是由单一的因素造成，而是由火后形成的多种环境因素以及原有的地形因子共同制约。在林火蔓延过程中，地形不仅可能对林火形成阻碍作用而造成林火强度的空间异质性，还可以影响土壤肥力等^[21]。不同的地形下，火干扰对林下植被影响程度也不同。RDA 研究结果显示：对油松林林下植被分布影响较大的是烧死木百分比(DR)和坡向(AS)。烧死木百分比(DR)体现了火烧强度的大小，可导致林分郁闭度，土壤微环境，林内养分等条件的变化，从而影响植物的萌发和生长；坡向(AS)通过光照影响植物生长，随着阴坡向阳坡的转变，有些阳生植物的重要值有所增加，而阴生植物的重要值有所减小；因调查区域海拔差异较小，故本次研究将海拔因子剔除。

火烧 1 a 后，林下植被的种类以及优势种的重要值均有所增加。重度火烧后，原有的适应性强的物种仍然存在，但因环境异质性的增加，又有大量物种侵入；中轻度火烧对油松林林下植被影响不大，说明火烧初期，重度火烧迹地更有利于多数林下植被的生长。丰富度指数(R)和多样性指数(H)随着火烧强度的增加呈增加趋势，这与曹慧等^[10]的研究结果一致。均匀度指数(J)随火烧强度的增大而减小，与孙家宝等^[22]的研究结果一致，与 BERGERON 等^[23-25]得出的“林下植被在中等强度林火干扰下具有最高的多样性”的结果有所差异。原因可能是，本研究火烧迹地的调查时间距发生火灾将近 1 a，重度火烧迹地所增加的植被种类的重要值均较小，这预示着在植被恢复过程中，这些新增加的物种很可能已经被原先的植被所取代。在后续乔木的更新过程中，林下植被结构还可能发生重大的变化，所以需要进一步调查。本研究仅探讨了火烧演替初级阶段的林下植被特征，可为植被演替规律初期提供科学依据。

综上所述，火烧后林下植被的生长与变化，受林火因子与环境因子的共同作用，但影响力大小不一。林火干扰会通过影响林下植被分布特征从而影响其对资源的竞争，是林下植被组成与动态变化的一个重要驱动力；研究火烧初期不同火干扰下林下植被的特征，既可评价火干扰的生态学效果，又可了解林下植被多样性在不同火强度及环境因素下的变化机制^[21]。本研究所选用的环境因子主要反映的是地

表 5 不同强度火烧迹地灌木重要值

Table 5 Importance values of shrub in different degree of burned area and non-burned forest

灌木层	重要值/%			
	轻度	中度	重度	对照
胡枝子 <i>Lespedeza bicolor</i>	38.60	19.49	17.78	22.43
土庄绣线菊 <i>Spiraea pubescens</i>	21.43	33.33	3.78	62.24
大花溲疏 <i>Deutzia grandiflora</i>	11.69	33.33	61.94	15.32
大果榆 <i>Ulmus macrocarpa</i>	1.62		1.49	
山莓 <i>Rubus corchorifolius</i>		3.08		
照山白 <i>Rhododendron micranthum</i>		10.77	9.87	
刺五加 <i>Acanthopanax senticosus</i>			5.14	

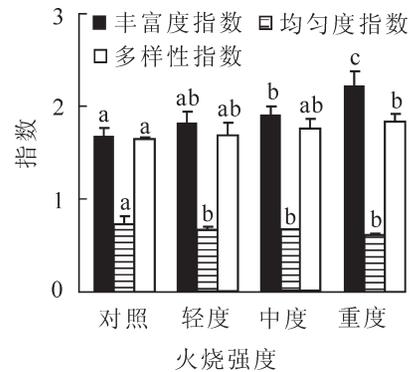


图 3 不同火强度下林下植被多样性指数

Figure 3 Diversity index of undergrowth plant under different fire intensity

形、微环境以及可燃物分布状态对火后林下植被的影响。下一步可以从土壤理化性质、林分因子以及人为干扰等方面进行细化探究。然而应该看到, 由于野外调查具有一定的局限性, 无法确保对照样地和过火样地的本底植物分布状况完全一致, 但由于设置样地时尽量选择了相似生境下与典型地段的样地, 结果仍然比较可靠。

5 参考文献

- [1] 李俊清, 牛树奎. 森林生态学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [2] 孔繁华, 李秀珍, 王绪高, 等. 林火迹地森林恢复研究进展[J]. 生态学杂志, 2003, **22**(2): 60 – 64.
KONG Fanhua, LI Xiuzhen, WANG Xugao, *et al.* Advance in study on the forest restoration in the burned blank [J]. *Chin J Ecol*, 2003, **22**(2): 60 – 64.
- [3] 朱学灵, 崔向慧, 刘晓静. 宝天曼自然保护区林火干扰下不同恢复阶段栎林群落幼苗库动态特征[J]. 林业科学研究, 2011, **24**(5): 572 – 578.
ZHU Xueling, CUI Xianghui, LIU Xiaojing. The dynamic characteristics of the seedling bank of quercus community at different restoration stages under the disturbance of forest fire in Baotianman Nature Reserve [J]. *For Res*, 2011, **24**(5): 572 – 578.
- [4] 韩凤林, 布仁仓, 常禹, 等. 大兴安岭白桦-兴安落叶松林火烧迹地林下植被群落恢复过程的动态分析 [J]. 生态学杂志, 2015, **34**(2): 312 – 318.
HAN Fenglin, BU Rencang, CHANG Yu, *et al.* Dynamics of recovery process of understory vegetation of *Betula platyphylla-Larix gmelinii* forest in Daxing'an Mountains after fire disturbance [J]. *Chin J Ecol*, 2015, **34**(2): 312 – 318.
- [5] RUNNING S W. Is global warming causing more, larger wildfires? [J]. *Science*, 2006, **313**(5789): 927 – 928.
- [6] 宋启亮, 董希斌, 李勇, 等. 大兴安岭火烧迹地植被天然恢复效果评价[J]. 森林工程, 2010, **26**(4): 14 – 17.
SONG Qiliang, DONG Xibin, LI Yong, *et al.* Evaluation on burned slash vegetation natural restoration effects in Daxinganling [J]. *For Eng*, 2010, **26**(4): 14 – 17.
- [7] 蔡文华, 杨健, 刘志华, 等. 黑龙江省大兴安岭林区火烧迹地森林更新及其影响因子[J]. 生态学报, 2012, **32**(11): 3302 – 3307.
CAI Wenhua, YANG Jian, LIU Zhihua, *et al.* Controls of post-fire tree recruitment in Great Xing'an Mountains in Heilongjiang Province [J]. *Acta Ecol Sin*, 2012, **32**(11): 3302 – 3307.
- [8] 陈鹏飞, 吕林昭, 李继磊, 等. 北京西山地区火烧迹地植被恢复研究[J]. 林业资源管理, 2007(1): 65 – 68.
CHEN Pengfei, LÜ Linzhao, LI Jilei, *et al.* Study of vegetation restoration in burnt areas of Beijing Xishan [J]. *For Resour Manage*, 2007(1): 65 – 68.
- [9] 张立志, 孙亚娟, 宋银平, 等. 不同强度林火干扰对红花尔基樟子松天然林更新的影响[J]. 防护林科技, 2015(5): 17 – 19.
ZHANG Lizhi, SUN Yajuan, SONG Yinping, *et al.* Effects of fire disturbance with different intensities on regeneration of natural forest of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* in Honghuaerji Region [J]. *Prot For Sci Technol*, 2015(5): 17 – 19.
- [10] 曹慧, 白晋华, 王建让, 等. 火烧对不同植被恢复类型物种多样性的影响[J]. 防护林科技, 2015(6): 5 – 6.
CAO Hui, BAI Jinhua, WANG Jianrang, *et al.* Effects of fire on species diversity under different kinds of vegetation restoration [J]. *Prot For Sci Technol*, 2015(6): 5 – 6.
- [11] ARNAN X, RODRIGO A, RETANA J. Post-fire regeneration of Mediterranean plant communities at a regional scale is dependent on vegetation type and dryness [J]. *J Veg Sci*, 2007, **18**(1): 111 – 122.
- [12] CALVO L, SANTALLA S, VALBUENA L, *et al.* Post-fire natural regeneration of a *Pinus pinaster* forest in NW Spain [J]. *Plant Ecol*, 2008, **197**(1): 81 – 90.
- [13] 倪宝龙, 刘兆刚. 不同强度火干扰下盘古林场天然落叶松林的空间结构[J]. 生态学报, 2013, **33**(16): 4975 – 4984.
NI Baolong, LIU Zhaogang. A dynamic analysis of spatial distribution pattern of *Larix gmelinii* natural forest in Pangu Farm under varying intensity of fire disturbance [J]. *Acta Ecol Sin*, 2013, **33**(16): 4975 – 4984.
- [14] 杨立学, 孙跃志. 不同林龄胡桃楸林下植物多样性的差异[J]. 生态学杂志, 2013, **32**(4): 807 – 812.
YANG Lixue, SUN Yuezhi. Biodiversity of understory vegetation in different-aged Manchurian walnut plantations [J].

- Chin J Ecol*, 2013, **32**(4): 807 – 812.
- [15] LEPSŠ J, ŠMILAUER P. *Multivariate Analysis of Ecological Data Using CANOCO* [M]. New York: Cambridge University Press, 2003: 25 – 41.
- [16] 刘宏文, 程小琴, 康峰峰. 油松人工林下植物群落变化及其环境解释[J]. 生态学杂志, 2014, **33**(2): 290 – 295.
LIU Hongwen, CHEN Xiaoqin, KANG Fengfeng. Changes of understory plant community in *Pinus tabulaeformis* plantation and associated environmental explanations [J]. *Chin J Ecol*, 2014, **33**(2): 290 – 295.
- [17] 黄小荣, 何峰, 庞世龙, 等. 广西石山人工林灌草多样性与环境因子的关系[J]. 生态学杂志, 2015, **34**(11): 3024 – 3033.
HUANG Xiaorong, HE Feng, PANG Shilong, *et al.* Understory biodiversity of plantations on karst mountains in Guangxi and its relation to environmental factors [J]. *Chin J Ecol*, 2015, **34**(11): 3024 – 3033.
- [18] 余敏, 周志勇, 康峰峰, 等. 山西灵空山小蛇沟林下草本层植物群落梯度分析及环境解释[J]. 植物生态学报, 2013, **37**(5): 373 – 383.
YU Min, ZHOU Zhiyong, KANG Fengfeng. Gradient analysis and environmental interpretation of understory herb-layer communities in Xiaoshagou of Lingkong Mountain, Shanxi, China [J]. *Chin J Plant Ecol*, 2013, **37**(5): 373 – 383.
- [19] RBRAAK C J F T, SMILAUER P. *CANOCO Reference Manual and Cano Draw for Windows User's Guide: Software for Canonical Community Ordination* (version 4.5) [M]. New York: Microcomputer Power, 2002.
- [20] 杨洁. 不同环境梯度毛竹林群落结构及组成成分[D]. 北京: 北京林业大学, 2011: 19.
YANG Jie. *The study of plant community structure and composition of Moso Bamboo Forests under multi-environmental Gradients* [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2011: 19.
- [21] 孙家宝, 张海林, 胡海清. 火干扰强度对兴安落叶松林物种组成及多样性的影响[J]. 森林工程, 2009, **25**(6): 1 – 5.
SUN Jiabao, ZHANG Hailin, HU Haiqing. Effect of fire disturbance intensity on species composition and species diversity of *Larix gmelinii* forest in Daxing'anling Mountain [J]. *For Eng*, 2009, **25**(6): 1 – 5.
- [22] 杨健, 孔健健, 刘波. 林火干扰对部分针叶林林下植被的影响[J]. 植物生态学报, 2013, **37**(5): 474 – 480.
YANG Jian, KONG Jianjian, LIU Bo. A review of effects of fire disturbance on understory vegetation in boreal coniferous forest [J]. *Chin J Plant Ecol*, 2013, **37**(5): 474 – 480.
- [23] de GRANDPRÉ L, GAGNON D, BERGERON Y. Changes in the understory of Canadian southern boreal forest after fire [J]. *J Veg Sci*, 1993, **4**(6): 803 – 810.
- [24] BERGERON Y, DUBUC M. Succession in the southern part of the Canadian boreal forest [J]. *Vegetation*, 1989, **79**(1): 51 – 63.
- [25] ROBERTS M R. Response of the herbaceous layer to natural disturbance in North American forests [J]. *Can J Bot*, 2004, **82**(9): 1273 – 1283.