

重度火烧对兴安落叶松林群落物种组成及多样性的影响

王 鼎¹, 王梓璇¹, 冯倩倩¹, 舒 洋¹, 周 梅^{1,2}, 赵鹏武^{1,2}

(1. 内蒙古农业大学 草原与资源环境学院, 内蒙古 呼和浩特 010018;

2. 内蒙古赛罕乌拉森林生态系统国家定位研究站, 内蒙古 赤峰 024000)

摘 要: [目的] 研究重度火烧对兴安落叶松林群落物种组成及多样性的影响, 为探索森林生态系统恢复与重建提供依据。[方法] 以内蒙古大兴安岭兴安落叶松林重度火烧迹地为研究对象, 采用分层取样的方法对群落中植被进行调查, 分析比较不同恢复年份后兴安落叶松林群落各层物种组成及多样性的差异。[结果] 不同恢复年份后群落各层 α 多样性指数总表现为: 草本层 > 灌木层 > 乔木层的趋势。群落物种总数随着恢复时间的推移呈逐渐增多的趋势, 这种变化趋势主要出现在草灌层内。群落草本层物种数除 1996S(12 种) 以外(S 表示重度火烧迹地, 1996S 为 1996 年重度火烧迹地, 下同), 其他 3 个恢复年份 2012 年(4 种)、2009 年(7 种)、2003 年(7 种) 均小于对照(CK, 未过火区)(8 种), 而群落灌木层物种数除 2003 年(2 种) 与对照(2 种) 相当, 其他 3 个恢复年份 2012 年(4 种)、2009 年(7 种)、2003 年(7 种) 均大于对照。[结论] 总体来看, 重度火干扰有利于植被的更新与演替。

关键词: 兴安落叶松林; 火烧迹地; 物种组成; 多样性

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2017)06-0056-06

中图分类号: S718.5

文献参数: 王鼎, 王梓璇, 冯倩倩, 等. 重度火烧对兴安落叶松林群落物种组成及多样性的影响[J]. 水土保持通报, 2017, 37(6): 56-61. DOI: 10. 13961/j. cnki. stbctb. 2017. 06. 009; Wang Ding, Wang Zixuan, Feng Qianqian, et al. Species composition and diversity of severe burned phytocoenosium after different regenerate years[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017, 37(6): 56-61. DOI: 10. 13961/j. cnki. stbctb. 2017. 06. 009

Species Composition and Diversity of Severe Burned Phytocoenosium After Different Regenerate Years

WANG Ding¹, WANG Zixuan¹, FENG Qianqian¹,
SHU Yang¹, ZHOU Mei^{1,2}, ZHAO Pengwu^{1,2}

(1. Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia 010019, China;

2. Inner Mongolia Saihanwula Forest Ecosystem National Research Station, Chifeng, Inner Mongolia 024000, China)

Abstract: [Objective] In this study, areas of severe burned *larix gmelinii* forests have experienced different regenerate years. The purpose was to provide a basis for exploring the forest ecosystem restoration and reconstruction. [Methods] The natural regeneration conditions, community structure characteristics, species composition, community biodiversity were observed. [Results] The results showed that: The alpha diversity index of each community layer in different regenerate years showed a rank of herb layer > shrub layer > tree layer. The total number of species had a trend of gradual increase along regeneration. This trend was mainly appeared in herb and shrub layers. The number of species in the herbaceous layer was lower than that of the control plot, except for that in 1996(1996 evere burned, S represents severe burned), while the number of species in the shrub layer were larger than the control plots, except for that in 2003S. [Conclusion] In general, severe fire interference is conducive to the vegetation regeneration and succession.

Keywords: *Larix gmelini* forest; burned area; species composition; diversity of species

收稿日期: 2017-04-01

修回日期: 2017-05-19

资助项目: 国家自然科学基金项目“火烧木管理对寒温带森林火灾后冻土释放二氧化碳的影响研究”(41563006)

第一作者: 王鼎(1989—), 男(汉族), 内蒙古自治区巴彦淖尔市人, 硕士研究生, 研究方向为森林生态学。E-mail: 15147124612@163.com。

通讯作者: 周梅(1960—), 女(汉族), 内蒙古自治区呼和浩特市人, 教授, 博士生导师, 主要从事森林生态学研究。E-mail: dxalzhoumei@yahooo.com.cn。

森林火灾是世界性的林业重大灾害,被联合国粮农组织确认为世界八大自然灾害之一,对森林生态系统产生严重干扰,而中国是世界森林火灾最严重的国家之一^[1]。大兴安岭林区曾经是中国火灾高发区,几乎所有的森林都受到过一定程度的火干扰^[2-3]。林地过火后,森林生态系统会有不同程度的破坏,物种多样性的恢复是衡量火干扰后森林群落恢复与重建的重要指标之一。群落物种多样性不仅反映了其内部结构的多样性和空间异质性,同时还是反映群落功能的重要特征之一,长期以来都是恢复生态学和群落生态学的研究热点。以往的研究注重不同火烧强度林火对群落短期影响的对比^[14],也不乏火干扰对林内环境因子影响的研究^[8],但对重度火烧后森林的长期恢复研究相对较少。因此,研究不同恢复时间兴安落叶松林重度火烧迹地恢复过程中物种组成结构及多样性的差异,对探索森林生态系统恢复与重建有重要意义。

1 研究区概况

研究区位于内蒙古大兴安岭林管局根河林业局开拉气林场、潮查林场及汗马国家级自然保护区,地理坐标为 122°18′—122°45′E, 51°09′—51°37′N,地处大兴安岭北部,是寒温带针叶林区、高纬度原始林区和多年冻土区的代表^[4]。该区地貌由低山、中山、丘陵、山间盆地等构成,海拔 761~1 200 m,属寒温

带大陆性季风气候,冬季漫长,夏季较短。年平均气温为-5.3~-5.6℃,历史最低温度为-60.0℃,年降水量大约 450~550 mm(其中 12%的降水源于降雪)。主要林型有白桦落叶松林、草类落叶松林、杜香落叶松林、杜鹃落叶松林等。建群种为兴安落叶松(*Larix gmelini*),常见的伴生树种有白桦(*Betula platyphylla*)、山杨(*Populus davidiana*)。林下灌木和草本种类较为丰富。

2 研究方法

2.1 试验样地选择与设置

依据内蒙古大兴安岭林管局的森林火灾记录,于 2015 年 5 月选择 1996 年根河(潮查林场)森林火灾,2003 年金河—根河(开拉气林场)森林火灾,2009 年根河(开拉气林场)森林火灾和 2012 年金河(汗马自然保护区)森林火灾 4 个年份的火烧迹地为试验区,在这 4 个年份的火烧迹地中选取重度火烧(树木死亡率大于 70%)的区域作为试验样地,并在未火烧的林地内设置对照,共设置 5 个试验样地,每个试验样地内随机设置 3 个 20 m×20 m 的标准样地,具体设置方法如下:未过火区(CK)、2012 年重度火烧迹地(2012S)、2009 年重度火烧迹地(2009S)、2003 年重度火烧迹地(2003S)、1996 年重度火烧迹地(1996S)(表 1)。

表 1 试验样地基本属性

试验样地	树木死亡率/%	海拔/m	坡位	坡度/(°)	坡向	植被类型
CK	0	717	中坡	15	W	白桦—兴安落叶松林
2012S	78	725	中坡	17	W	白桦—兴安落叶松林
2009S	75	709	中坡	16	WS	白桦—兴安落叶松林
2003S	80	732	中坡	19	W	白桦—兴安落叶松林
1996S	75	718	中坡	15	W	白桦—兴安落叶松林

2.2 植被调查

采取分层取样的方式对植被进行调查。在选定的 20 m×20 m 的样地内对胸径≥5 cm 的乔木进行每木检尺;在每个样地内随机布设 5 个 5 m×5 m 的灌木样方用于调查灌木指标;在每个灌木样方内随机设置 5 个 1 m×1 m 的草本样方用于调查草本指标。用 GPS 测量每个样方的经纬度和高度,坡度计测量坡度,森林罗盘测量坡向。乔木层调查的指标包括树种、胸径、树高、第一枝下高、冠幅大小、郁闭度等。灌木层调查的指标包括种名、株丛数、基径、高度、盖度、频度等。

2.3 数据处理

试验数据经 Excel 2010 整理后,采用 SigmaPlot 10.0 软件进行作图,分析比较了不同恢复年份重度火烧迹地植被群落物种组成状况、α 多样性指数、物种重要值的差异。其中指数计算的过程参照马克平的方法^[5]。主要计算公式为:

Simpson 指数:

$$H' = 1 - \sum N_i(N_i - 1) / N(N - 1)$$

(1)

式中: N_i ——群落中第 i 种的个体数; N ——群落中所有种的个体数。 H' 值越大,表示优势度物种越小,亦表示奇异度越高。

Shannon-Wiener 指数： $H = -\sum(p_i \ln p_i)$ (2)
式中： $p_i = n_i / N$ ——第 i 个种在全体物种中的重要性比例。 H 值越大，表示群落的复杂程度增高。

Pielou 均匀度指数： $J_{sw} = H / H_{\max}$ (3)
式中： H ——实际观察的物种多样性指数； H_{\max} ——最大的物种多样性指数。 J_{sw} 值越大，表示该群落物种分布的均匀程度越高。

Margalef 丰富度指数： $D = (S - 1) / \ln N$ (4)
式中： S ——物种总数量； N ——所有物种总个体数。 D 值越大，表示群落中物种数越多。

3 结果与分析

3.1 不同恢复年份重度火烧迹地植被群落物种组成及变化

由表 2 可知，自然恢复 3 a 后，2012 年重度火烧迹地群落中草本层物种有 4 种，占群落总物种数的 40%。重要值较大的是裂叶蒿 (*Artemisia tanacetifolia*) 和早熟禾 (*Poa annua*)，分别为 0.49、0.28。该群落草本层以裂叶蒿和早熟禾为优势种，柳兰 (*Epilobium angustifolium*)、山野豌豆 (*Viciaa moena*) 等为伴生种。群落灌木层物种有 4 种，占群落总物种数的 40%。重要值最大的是杜香 (*Ledum palustre*) 0.43，是该层优势种，越橘 (*Vaccinium vitis-idaea*)、柴桦 (*Betula fruticosa*)、山刺玫 (*Rosa davurica*) 为该层伴生种。群落乔木层物种有 2 种，占群落总物种数的 20%。重要值最大的是兴安落叶松 0.63，是该层优势种，其次是山杨 0.37，是该层伴生种。自然恢复 6 a 后，2009 年重度火烧迹地群落中草本层物种有 7 种，占群落总物种数的 54%。重要值最大的是早熟禾 0.31。该群落草本层以早熟禾为优势种，柳兰、老鹳草 (*Geranium wilfordii*) 等为伴生种。群落灌木层物种有 4 种，占群落总物种数的 31%。重要值最大的是柴桦 0.80，是该层优势种，绣线菊 (*Spiraea thunbergii*)、山刺玫、库页悬钩子 (*Rubus sachalinensis*) 为该层伴生种。群落乔木层物种有 2 种，占群落总物种数的 15%。重要值最大的是兴安落叶松 0.65，是该层优势种，其次是白桦 0.35，是该层伴生种。自然恢复 12 a 后，2003 年重度火烧迹地群落中草本层物种有 7 种，占群落总物种数的 58%。重要值最大的是老鹳草 0.25，该群落草本层以老鹳草为优势种，蚊子草 (*Filipendulap almata*)、地榆 (*Sanguisorba officinalis*) 等为伴生种。群落灌木层物种有 2 种，占群落总物种数的 17%。重要值最大的是柴桦 0.66，是该层优势种，线叶绣线菊 0.34 为该层伴生

种。群落乔木层物种有 3 种，占群落总物种数的 25%。重要值最大的是兴安落叶松 0.63，是该层优势种，山杨、白桦为该层伴生种。自然恢复 19 a 后，1996 年重度火烧迹地群落中草本层物种有 12 种，占群落总物种数的 63%。重要值最大的是林间荆 (*Eguisetum sylvalicum*) 0.45，该群落草本层以林间荆为优势种，蓍草 (*Achillea sibirca*)、金莲花 (*Trollius chinensis*) 等为伴生种。群落灌木层物种有 4 种，占群落总物种数的 21%。重要值最大的是柴桦 0.88，该群落灌木层以柴桦为优势种，线叶绣线菊、山刺玫等为伴生种。群落乔木层物种有 3 种，占群落总物种数的 16%。重要值最大的是兴安落叶松 0.75，是该层优势种，山杨、白桦为该层伴生种。

总体来看，各群落物种总数随着恢复时间的推移呈逐渐增多的趋势。这种变化趋势主要出现在草灌木层内，而在乔木层内并不明显。其中，群落草本层物种数除 1996S 以外，其他的 3 个恢复年份均小于对照样地，而群落灌木层物种数除 2003S 与对照样地相当，其他的 3 个恢复年份均大于对照样地 (图 1)。

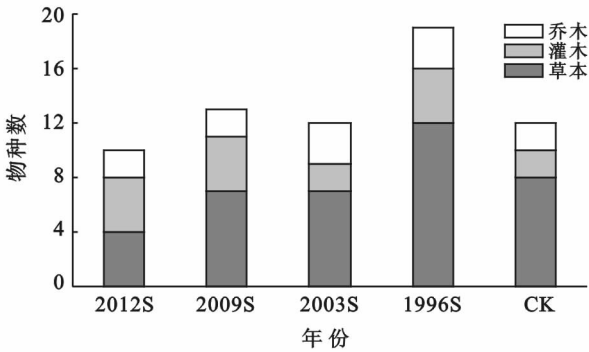


图 1 不同年份重度火烧迹地群落各层物种数比较

3.2 不同恢复年份重度火烧迹地群落物种多样性的变化

重度火干扰后不同恢复阶段兴安落叶松林群落各层 Simpson 指数如图 2 所示。由图 2 可知，从整个恢复过程来看，Simpson 指数在垂直结构上基本呈：草本层 > 灌木层 > 乔木层的变化格局。草本层 Simpson 指数在 0.65~0.86 之间。草本层 Simpson 指数均小于对照样地，并随着恢复时间的推移呈先上升后下降的趋势。灌木层 Simpson 指数在 0.23~0.68 之间。除 2012L (2012 年轻度火烧迹地) 外，其他 3 个年份的灌木层 Simpson 指数均略小于对照。在恢复 3 a 后灌木层 Simpson 指数出现峰值 (0.68)，之后呈波动下降趋势。乔木层 Simpson 指数在 0.21~0.53 之间。乔木层 Simpson 指数均大于对照样地，并随着恢复时间的推移呈先上升后下降的趋势。

表 2 不同年份重度火烧迹地植物群落物种组成及其重要值

层次	物种	试验处理				
		2012S	2009S	2003S	1996S	CK
乔木层	兴安落叶松	0.631 9	0.649 3	0.626 0	0.748 5	0.883 2
	白桦	0.000 0	0.3507	0.144 2	0.059 7	0.116 8
	山杨	0.368 1	0.000 0	0.229 8	0.198 4	0.000 0
	杜香	0.431 8	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0
	山刺玫	0.057 0	0.037 8	0.000 0	0.052 0	0.000 0
灌木层	空心柳	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.026 3	0.000 0
	柴桦	0.245 9	0.798 1	0.656 7	0.876 2	0.656 7
	越橘	0.265 3	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0
	库页悬钩子	0.000 0	0.037 8	0.000 0	0.000 0	0.000 0
	线叶绣线菊	0.000 0	0.126 3	0.343 3	0.052 2	0.343 3
草本层	老鹳草	0.000 0	0.148 7	0.249 1	0.053 7	0.002 0
	林问荆	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.450 5	0.002 0
	薹草	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.084 2	0.000 0
	小叶章	0.000 0	0.073 9	0.000 0	0.000 0	0.077 1
	柳兰	0.111 1	0.187 6	0.000 0	0.044 1	0.000 0
	早熟禾	0.283 3	0.310 3	0.135 9	0.000 0	0.000 0
	地榆	0.000 0	0.000 0	0.160 8	0.045 7	0.000 0
	瓣蕊唐松草	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.054 5	0.000 0
	金莲花	0.000 0	0.093 2	0.000 0	0.060 1	0.000 0
	日阴菅	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.162 9
	裂叶蒿	0.488 9	0.093 2	0.124 6	0.000 0	0.000 0
	山野豌豆	0.116 7	0.000 0	0.000 0	0.064 1	0.000 0
	凤毛菊	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.138 3
	红景天	0.000 0	0.093 2	0.051 4	0.044 9	0.000 0
	铃兰	0.000 0	0.000 0	0.117 4	0.050 5	0.000 0
	蚊子草	0.000 0	0.000 0	0.160 8	0.000 0	0.091 8
	玉竹	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.024 8	0.000 0
	鸢尾	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.029 7	0.000 0
	红花鹿蹄草	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.143 1
	山尖子	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.075 9

注:各物种拉丁学名分别为:空心柳(*Spiraea salicifolia*),小叶章(*Deyeuxia angustifolia*),瓣蕊唐松草(*rum petaloideum*),日阴菅(*Carex pedi formis*),凤毛菊(*Saussurea japonica*),红景天(*Rhodiola rosea*),铃兰(*Convallaria majalis*),玉竹(*Polygonatum od oratum*),鸢尾(*Iris tecto- rum*),红花鹿蹄草(*Pyrola incarttata*),山尖子(*Cacalia hastata*)。

Shannon-Wiener 指数在垂直结构上基本呈:草本层>灌木层>乔木层的变化格局。草本层 Shannon-Wiener 指数在 1.20~2.03 之间。草本层 Shannon-Wiener 指数均小于对照样地,并随着恢复时间的推移呈逐渐上升的趋势(2012S<2009S<2003S<1996S<CK)。灌木层 Shannon-Wiener 指数在 0.52~1.22 之间。随着恢复时间的推移呈逐渐下降的趋势(2012S>2009S>2003S>1996S)。在自然恢复 3 和 6 a 后的样地中灌木层 Shannon-Wiener 指数大于对照样地,而在其余 2 个恢复年份中则小于对照。乔木层 Shannon-Wiener 指数在 0.36~0.91 之间。乔木层 Shannon-Wiener 指数均大于对照样地,并随着恢复时间的推移呈先上升后下降的趋势。

Pielou 指数在垂直结构上基本呈:草本层>灌木层>乔木层的变化格局。草本层 Pielou 指数在 0.80~0.98 之间。4 个不同恢复年份样地草本层 Pielou 指数均小于对照样地,并随着恢复时间的推移呈先上升后下降的趋势。灌木层 Pielou 指数在 0.37~1.00 之间。4 个恢复年份的灌木层 Pielou 指数均小于对照样地。自然恢复的 12 a 后,灌木层 Pielou 指数出现峰值(0.93),之后又开始缓慢的下降。乔木层 Pielou 指数在 0.52~0.95 之间。乔木层 Pielou 指数均大于对照样地,并随着恢复时间的推移呈波动下降的趋势(2012S>2009S>2003S>1996S>CK)。

Margalef 指数在垂直结构上基本呈:草本层>灌木层>乔木层的变化格局。草本层 Margalef 指数在

1.00~3.07 之间。草本层 Margalef 指数除 2012S 外均大于对照样地并随着恢复时间的推移呈波动上升的趋势。灌木层 Margalef 指数在 0.34~1.44 之间。自然恢复的 19 a 内, Margalef 指数随着恢复时间的

推移呈波动上升的趋势。乔木层 Margalef 指数在 0.43~0.80 之间。乔木层 Margalef 指数除 2012S 外均大于对照样地, 并随着恢复时间的推移呈先上升后下降的趋势。

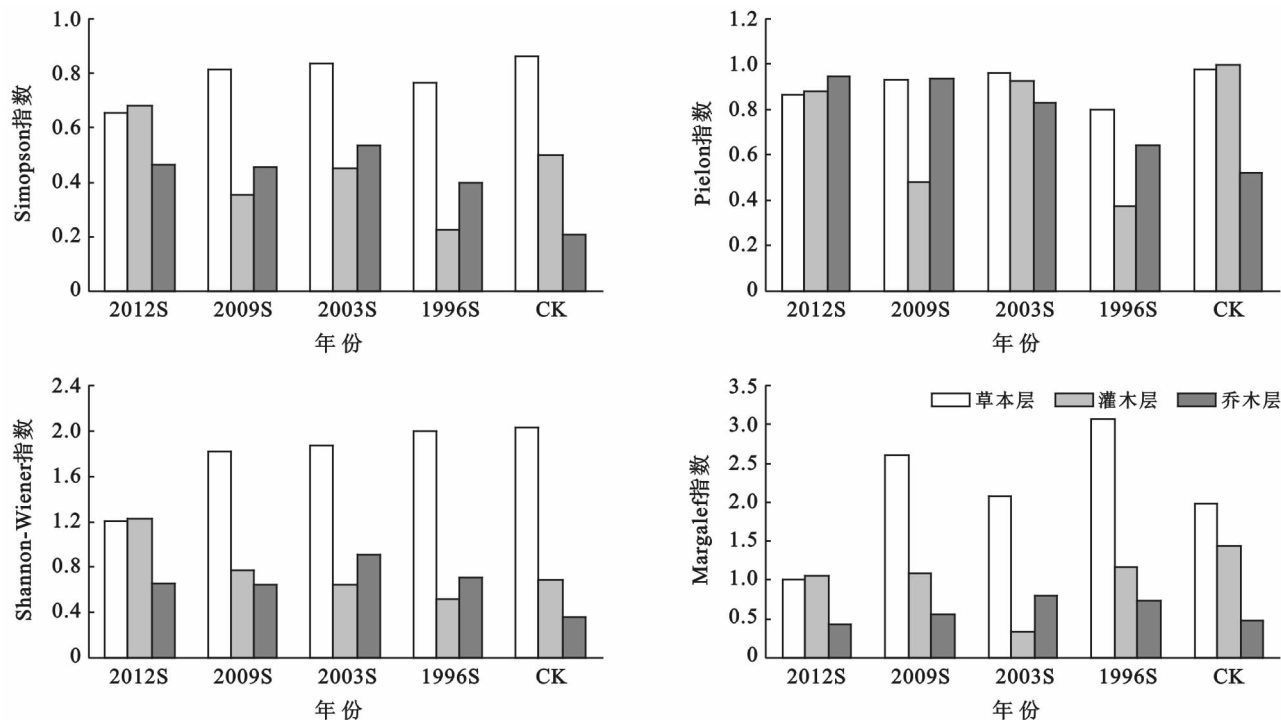


图 2 不同年代重度火烧迹地群落各层 α 多样性指数比较

4 讨论与结论

群落物种组成长久以来一直是群落生态学和恢复生态学的首要认识。火干扰在一定程度上有助于维持森林生态系统的稳定, 对推动群落发展有重要作用^[6]。研究群落各层植被物种组成变化对于科学指导某一地区退化生态系统恢复方面具有重要的指导意义。毛志宏等^[7]在干扰对植被群落物种组成的研究中提出, 干扰对植物群落的影响主要与干扰类型、植物群落特征及物种自身的生物学特征有关。李庆康等^[8]从生理生态学角度指出, 植物群落演替的不同阶段, 不仅在物种组成和结构特征方面存在差异, 而且各演替阶段物种在生理特征及对外界环境的适应能力也存在差异, 正是由于物种的生理特征存在差异, 才使得群落演替得以实现。

本研究发现一定强度的火干扰有助于群落内物种的更新与恢复。邱扬等^[9]从干扰生态学和种群生态学角度着眼提, 一定强度的火干扰有利于兴安落叶松林群落结构的稳定。Nilsson 等^[10]的研究也发现, 火干扰促进了林下土壤养分的循环, 有利于林下植被的更新与恢复。国内很多学者^[11-12]的研究都发现, 火

烧后群落中的总物种数呈上升趋势。本研究还发现, 随着恢复时间的推移, 不同恢复年份重度火烧迹地群落总物种数呈逐渐上升的趋势。其中乔木层物种数随恢复时间推移变化较小。灌草层物种数随恢复时间推移呈波动的上升趋势。韩风林等^[13]的研究发现, 火烧后由于上木层的移除, 一些阳生的灌木会入侵到群落中来, 这可能是火烧后灌木层物种数增加的原因之一。方志伟^[14]的研究发现, 火后恢复初期喜光的草本物种在种类和密度上都有所增加, 这与本研究的结果相吻合。总体来看, 随恢复时间的推移, 火烧迹地群落总物种数呈波动的上升趋势。其中乔木层物种数变化较小, 灌草层物种数呈波动的上升趋势。

物种多样性的恢复是衡量火干扰后森林群落恢复与重建的重要指标之一。研究森林群落不同演替过程中物种多样性的变化, 对于揭示火干扰后森林群落植被恢复具有重要意义。牛树奎等^[15]在林火对生物多样性干扰的研究中指出, 火干扰对生物多样性的影响主要取决于林火强度、火烧面积、火周期等因素。并提出特殊条件下, 可采用计划火烧保护生物多样性的观点。Knick 等^[16]在美国西部的研究中发现, 火烧后外来物种的入侵与当地植被物种多样性密切相关。

本研究发现不同恢复年份的群落各层 α 多样性指数总表现为:草本层>灌木层>乔木层的趋势。李裕元等在黄土高原子午岭植被自然恢复的研究中发现,随着恢复时间的推移,群落中灌草层的 α 多样性指数呈抛物线变化趋势,且各层物种多样性恢复速度不同^[17]。有学者也都发现,群落灌草层的多样性指数恢复随时间推移呈先上升后下降的单峰趋势^[11,18]。Keeley 等^[19]在火烧对针叶林生物多样性影响的研究中发现,火烧后植被物种多样性与火烧强度和火烧时间关系密切,高强度火烧降低了林内的郁闭度,增加了光照和营养物质使得林内植被物种多样性在短时间内迅速上升。本研究发现,不同年份重度火烧迹地多样性指数随恢复时间推移变化较为复杂,但还是可以看出各群落灌木层和草本层的多样性指数随恢复时间的推移,大体呈先上升后下降的趋势。王丽红等^[20]采用时空互代法,对大兴安岭火烧迹地不同恢复阶段生物多样性进行了研究,结果显示恢复 21 a 后群落物种多样性指数和丰富度指数最高,恢复 13 a 群落均匀度指数最高。本研究类似结果显示恢复 19 a(1996S)后群落物种数最多,恢复 12 a(2003S)后群落均匀度指数最高。这主要是由于火干扰初期森林郁闭度降低,产生了林间空隙或形成林窗,同时火烧促进了土壤层养分循环,这些都为群落林下植被更新和生长提供了有力的条件。但随着群落的恢复和演替,林下环境变的相对阴湿,一些阳生耐旱的物种逐渐减少,这样就导致林下植被物种多样性降低。本研究还发现当群落种中草本层占优势时其灌木层优势度往往较小,这可能是群落内部种间资源和空间竞争所造成的。

[参 考 文 献]

- [1] 朱教君,刘足根. 森林干扰生态研究[J]. 应用生态学报, 2004,15(10):1703-1710.
- [2] 王绪高,李秀珍,贺红士. 1987 年大兴安岭特大火灾后不同管理措施对落叶松林的长期影响[J]. 应用生态学报, 2008,19(4):915-921.
- [3] 王绪高,李秀珍,贺红士,等. 1987 年特大火灾后不同树种种植比例对大兴安岭森林景观的长期影响[J]. 应用生态学报, 2006,17(5):855-861.
- [4] 周梅,余新晓,冯林,等. 大兴安岭林区冻土及湿地对生态环境的作用[J]. 北京林业大学学报, 2003, 25(6): 91-93.
- [5] 马克平. 生物群落多样性的测度方法(I): α 多样性的测度方法(上)[J]. 生物多样性, 1994, 3(2):162-168.
- [6] 孙家宝,胡海清. 大兴安岭兴安落叶松林火烧迹地群落演替状况[J]. 东北林业大学学报, 2010, 54(5):30-33.
- [7] 毛志宏,朱教君. 干扰对植物群落物种组成及多样性的影响[J]. 生态学报, 2006, 26(8):2695-2701.
- [8] 李庆康,马克平. 植物群落演替过程中植物生理生态学特性及其主要环境因子的变化[J]. 植物生态学报, 2002, 26(S1):9-19.
- [9] 邱扬,李湛东,徐化成. 兴安落叶松种群的稳定性与火干扰关系的研究[J]. 植物研究, 1997, 39(4):89-94.
- [10] Nilsson M C, Wardle D A. Understory vegetation as a forest ecosystem driver: Evidence from the northern Swedish boreal forest[J]. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2005, 3(8):421-428.
- [11] 徐化成,李湛东,邱扬. 大兴安岭北部地区原始林火干扰历史的研究[J]. 生态学报, 1997, 17(4):3-9.
- [12] 杨华斌,韦小丽,党伟. 黔中喀斯特植被不同演替阶段群落物种组成及多样性[J]. 山地农业生物学报, 2009, 28(3):203-207.
- [13] 韩风林,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.
- [14] 方志伟. 炼山对杉木人工林群落学特征影响的研究[J]. 林业科学, 2001, 37(S1):208-211.
- [15] 牛树奎,严承高. 林火对生物多样性的影响[C]//生物多样性研究进展:首届全国生物多样性保护与持续利用研讨会论文集. 中国科学院生物多样性委员会、林业部野生动物和森林植物保护司、中国植物学会青年工作委员会, 1994.
- [16] Knick S T, Rotenberry J T. Landscape characteristics of disturbed shrubsteppe habitats in southwestern Idaho (USA)[J]. *Landscape Ecology*, 1997, 12(5):287-297.
- [17] 李裕元,邵明安. 子午岭植被自然恢复过程中植物多样性的变化[J]. 生态学报, 2004, 24(2):252-260.
- [18] 董和利,徐鹤忠,刘滨辉. 大兴安岭火烧迹地主要目的树种的天然更新[J]. 东北林业大学学报, 2006, 50(1): 22-24.
- [19] Keeley J E, Lubin D, Fotheringham C J. Fire and grazing impacts on plant diversity and alien plant invasions in the southern Sierra Nevada[J]. *Ecological Applications*, 2003, 13(5):1355-1374.
- [20] 王丽红,辛颖,邹梦玲,等. 大兴安岭火烧迹地植被恢复中植物多样性与生物量分配格局[J]. 北京林业大学学报, 2015, 37(12):41-47.