



不同林型兴安落叶松林火烧迹地 物种组成及多样性研究

王 鼎¹, 周 梅^{1,2*}, 赵鹏武^{1,2}, 王梓璇¹,
冯倩倩¹, 葛 鹏¹, 张 波¹, 舒 洋¹

(1 内蒙古农业大学, 呼和浩特 010019; 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: 以内蒙古大兴安岭兴安落叶松林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了调查, 分析比较了 3 种不同林型兴安落叶松林群落恢复过程中物种组成及多样性的差异。结果表明: 不同林型兴安落叶松林群落各层 α 多样性指数总体表现为草本层 > 灌木层 > 乔木层。不同林型兴安落叶松林火烧迹地群落恢复 12 年后, 草本层的 Simpson 和 Shannon-Wiener 指数均小于对照样地并呈现出草类-兴安落叶松林 > 杜鹃-兴安落叶松林 > 杜鹃-兴安落叶松林的趋势, 而在灌木层则各指数均大于对照样地并呈现出草类-兴安落叶松林 > 杜鹃-兴安落叶松林 > 杜鹃-兴安落叶松林的趋势。

关键词: 兴安落叶松林; 火烧迹地; 物种组成; 多样性

中图分类号: Q948.15⁺4; S718.5

文献标志码: A

Study on Species Composition and Diversity in Burned Phytocoenosium of Different Forest Types

WANG Ding¹, ZHOU Mei^{1,2*}, ZHAO Pengwu^{1,2}, WANG Zixuan¹,
FENG Qianqian¹, GE Peng¹, ZHANG Bo¹, SHU Yang¹

(1 Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010019, China; 2 Inner Mongolia Saihanwula Forest Ecosystem National Research Station, Chifeng, Inner Mongolia 024000, China)

Abstract: In this study, *Larix gmelinii* forest burned areas were experienced in different forest types. The natural regeneration conditions, community structure characteristics, species composition, community biodiversity were observed and researched in 2015. The results showed that: the alpha diversity index of community each layer in different forest types showed a ranking of herb layer > shrub layer > tree layer. After twelve years, the Simpson and Shannon-Wiener indices in herb layer in 3 different forest types burned areas are less than that of unburned area and showed a ranking of 2003S-G > 2003S-L > 2003S-R, while the indices of burned areas in the shrub layer are greater than that of unburned area and showed a ranking of 2003S-G > 2003S-R > 2003S-L.

Key words: *Larix gmelinii* forest; burned area; species composition; diversity of species

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

收稿日期: 2017-01-11; 修改稿收到日期: 2017-03-27

基金项目: 国家自然科学基金(41563006); 内蒙古自治区科技计划(20130435)

作者简介: 王 鼎(1989-), 男, 在读硕士研究生, 主要从事森林生态学研究。E-mail: 15147124612@163.com

* 通信作者: 周 梅, 教授, 博士生导师, 主要从事森林生态学研究。E-mail: dxalzhoumei@yahoo.com.cn

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。因此,研究不同林型兴安落叶松林群落恢复过程中生物多样性及物种组成结构的差异,对探索森林生态系统恢复与重建有重要的意义。

1 材料和方法

1.1 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,地理坐标为 E 122°40′~122°45′, N 51°24′~51°35′,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 742~1 200 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。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。

1.2 研究方法

1.2.1 试验样地选择与设置 本研究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 2003 年金河—根河森林火灾的重度火烧迹地为研究区域,在根河林业局开拉气林场,选择不同林型(草类-兴安落叶松林、杜香-兴安落叶松林、杜鹃-兴安落叶松林)的重度火烧迹地(树木死亡率大于

70%)为试验样地,共设置 3 个研究区,每个研究区内随机设置 3 个 20 m×20 m 的标准样地,具体设置方法如下:未过火区(CK)、草类-兴安落叶松林火烧迹地(2003S-G)、杜香-兴安落叶松林火烧迹地(2003S-L)、杜鹃-兴安落叶松林火烧迹地(2003S-R)。样地详细信息见表 1。

1.2.2 火烧迹地植被恢复调查 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;在每个样地的四角和中心分别布设 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。灌草层调查的指标包括种名、株丛数、基径、高度、盖度、频度等。

1.3 数据处理

试验数据经 Excel 2010 整理后,采用 SPSS18.0 软件进行处理,计算了火烧后不同类型火烧迹地植被群落各个物种的相对多度、相对频度、相对显著度、重要值和植物群落的物种多样性指数等。指数计算参照马克平等的计算方法^[5]。

2 结果与分析

2.1 不同林型火烧迹地植被群落物种组成及变化

由表 2 可知,草类-兴安落叶松林火烧迹地(2003S-G)群落共有 15 种植物,草本层物种有 10 种,占群落总物种数的 66.67%。重要值最大的是早熟禾(*Poa annua*)和红花鹿蹄草(*Pyrola incarnata*),分别为 0.31、0.17。该群落草本层以早熟禾和红花鹿蹄草为优势种,蚊子草(*Filipendula palmata*)、山野豌豆(*Vicia amoena*)、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 26.67%。重要值最大的是越

表 1 试验样地基本信息
Table 1 The basic properties of test plots

林型样地 Sample	植被类型 Forest type	火烧强度 Fire intensity	海拔 Altitude /m	坡度 Gradient	坡向 Slope aspect
2003S-G	草类-兴安落叶松林 Grass- <i>Larix gmelini</i> forest	重度火烧 Serious fire intensity	744	15°	WS
2003S-L	杜香-兴安落叶松林 <i>Ledum sphagnum-Larix gmelini</i> forest	重度火烧 Serious fire intensity	758	17°	W
2003S-R	杜鹃-兴安落叶松林 <i>Rhododendron dahuricum-Larix gmelini</i> forest	重度火烧 Serious fire intensity	769	18°	W
CK	草类-兴安落叶松林 Grass- <i>Larix gmelini</i> forest	未火烧 Unburned	747	15°	W

橘(*Vaccinium vitis-idaea*)和线叶绣线菊(*Spiraea thunbergii*),分别为 0.43、0.30。该群落灌木层以越橘和线叶绣线菊为优势种,柴桦(*Betula fruticosa*)、山刺玫(*Rosa davurica*)为伴生种。群落乔木层物种有 1 种,占群落总物种数的 6.66%。兴安落叶松为该群落乔木层绝对优势种。

杜香-兴安落叶松林火烧迹地(2003S-L)群落共有 10 种植物,草本层物种有 4 种,占群落总物种数的 40.00%。重要值最大的是手参 0.31,为群落草本层优势种,地榆(*Sanguisorba officinalis*)、日阴菅(*Carex pediformis*)、早熟禾为该层伴生种。群落灌木层物种有 4 种,占群落总物种数的 40.00%。重要值最大的是杜香(*Ledum palustre*)0.61,为该群落灌木层优势种,山刺玫、越橘、线叶绣线菊为该层伴生种。群落乔木层物种有 2 种,占群落总物种数的 20.00%。重要值最大的是白桦0.57,为群落乔木层优势种,其次为兴安落叶松0.43,为该层伴

生种。

杜鹃-兴安落叶松林火烧迹地(2003S-R)群落共有 11 种植物,草本层物种有 4 种,占群落总物种数的 36.36%。重要值最大的是凤毛菊(*Saussurea japonica*)0.39,该群落草本层以凤毛菊为优势种,日阴菅、早熟禾、地榆为伴生种。群落灌木层物种有 5 种,占群落总物种数的 45.45%。重要值最大的是兴安杜鹃(*Rhododendron dauricam*)0.60,该群落灌木层以兴安杜鹃为优势种,柴桦、库页悬钩子(*Rubus sachalinensis*)、线叶绣线菊等为伴生种。群落乔木层物种有 2 种,占群落总物种数的 18.19%。重要值最大的是兴安落叶松 0.54,为群落乔木层优势种,其次是白桦 0.46,为该层伴生种。

由图 1 可知未过火区(CK)样地群落共有 12 种植物,草本层物种有 8 种,占群落总物种数的 66.66%。重要值最大的是日阴菅和老鹳草,都为 0.16。该群落草本层以日阴菅和老鹳草为优势种,

表 2 不同林型火烧迹地植物群落物种组成及其重要值
Table 2 Species composition and importance value of burned phytocoenosium of different forest types

层次 Layer	物种 Species	不同林型样地 Sample of different forest types			
		2003S-G	2003S-L	2003S-R	CK
乔木层 Arbor layer	兴安落叶松 <i>Larix gmelini</i>	1.00	0.43	0.54	0.88
	白桦 <i>Betula platyphylla</i>	0.00	0.57	0.46	0.12
灌木层 Shrub layer	杜香 <i>Ledum palustre</i>	0.00	0.61	0.00	0.00
	山刺玫 <i>Rosa davurica</i>	0.10	0.21	0.00	0.00
	兴安杜鹃 <i>Rhododendron dauricum</i>	0.00	0.00	0.60	0.00
	库页悬钩子 <i>Rubus sachalinensis</i>	0.00	0.00	0.10	0.00
	柴桦 <i>Betula fruticosa</i>	0.17	0.00	0.14	0.66
	越橘 <i>Vaccinium vitis-idaea</i>	0.43	0.13	0.07	0.00
	线叶绣线菊 <i>Spiraea thunbergii</i>	0.30	0.05	0.09	0.34
草本层 Herb layer	老鹳草 <i>Geranium wilfordii</i>	0.06	0.00	0.00	0.16
	林间荆 <i>Eguisetum sylvaticum</i>	0.04	0.00	0.00	0.15
	小叶章 <i>Deyeuxia angustifolia</i>	0.00	0.00	0.00	0.08
	早熟禾 <i>Poa annua</i>	0.31	0.21	0.22	0.00
	地榆 <i>Sanguisorba officinalis</i>	0.06	0.24	0.15	0.00
	手参 <i>Gymnadenia conopsea</i>	0.04	0.31	0.00	0.00
	日阴菅 <i>Carex pediformis</i>	0.04	0.24	0.23	0.16
	凤毛菊 <i>Saussurea japonica</i>	0.00	0.00	0.39	0.14
	蚊子草 <i>Filipendula palmata</i>	0.14	0.00	0.00	0.09
	红花鹿蹄草 <i>Pyrola incarnata</i>	0.17	0.00	0.00	0.14
	山尖子 <i>Cacalia hastata</i>	0.00	0.00	0.00	0.08
	蓍草 <i>Achillea sibirica</i>	0.04	0.00	0.00	0.00
	山野豌豆 <i>Vicia amoena</i>	0.10	0.00	0.00	0.00

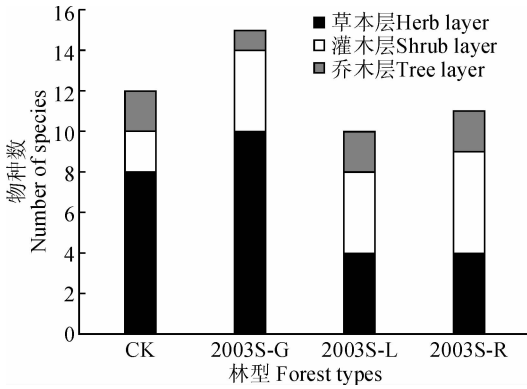


图1 不同林型火烧迹地群落各层物种数比较

Fig.1 The number of species comparison in burned phytocoenosium of different forest types

凤毛菊、蚊子草等为伴生种。群落灌木层物种有2种,占群落总物种数的16.67%。重要值较大的是柴桦0.66,该群落灌木层以柴桦为优势种,线叶绣线菊为伴生种。群落乔木层物种有2种,占群落总物种数的16.67%。重要值最大的是兴安落叶松0.88,是该层优势种,其次是白桦0.12,为该层伴生种。

总体来看,3种不同林型兴安落叶松林火烧迹地乔木层物种数变化较对照相比变化较小,而灌木层物种数较对照相比都显著增多。此外,草类-落叶松林火烧迹地群落中草本层物种数大于对照,而杜香-落叶松林火烧迹地和杜鹃-落叶松林火烧迹地群落中草本层物种数小于对照。3种不同林型兴安落叶松林火烧迹地群落各层物种总数比较为草类-兴安落叶松林>杜鹃-兴安落叶松林>杜香-兴安落叶松林。

2.2 不同林型火烧迹地群落物种多样性的变化

不同林型兴安落叶松林群落各层 Simpson 指数如图2所示。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。其中不同林型火烧迹地草本层 Simpson 指数在0.72~0.86之间。草本层 Simpson 指数在不同林型兴安落叶松林中均小于对照样地并呈现出草类-兴安落叶松林>杜香-兴安落叶松林>杜鹃-兴安落叶松林的趋势。不同林型火烧迹地灌木层 Simpson 指数在0.56~0.69之间。灌木层 Simpson 指数在不同林型兴安落叶松林中均大于对照样地并呈现出草类-兴安落叶松林>杜鹃-兴安落叶松林>杜香-兴安落叶松林的趋势。不同林型火烧迹地乔木层 Simpson 指数在0~0.50之间。乔木层 Simpson 指数在不同林型兴安落叶松林中呈现出杜鹃-兴安落叶松林>杜香-兴安落叶松林>对照>草类-兴安落叶松林的趋势。可以看出火干扰对各林

型草本层植被的恢复有一定消极的影响,同时由于草本植物的减少,为灌木层植物的生长腾出了空间,这在一定程度上促进了灌木的生长。

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。其中不同林型火烧迹地草本层 Shannon-Wiener 指数在1.33~2.02之间。草本层 Shannon-Wiener 指数在不同林型兴安落叶松林中均小于对照样地并呈现出草类-兴安落叶松林>杜香-兴安落叶松林>杜鹃-兴安落叶松林的趋势。不同林型火烧迹地灌木层 Shannon-Wiener 指数在1.04~1.26之间。灌木层 Shannon-Wiener 指数在不同林型兴安落叶松林中均大于对照样地并呈现出草类-兴安落叶松林>杜鹃-兴安落叶松林>杜香-兴安落叶松林的趋势。不同林型火烧迹地乔木层 Shannon-Wiener 指数在0~0.69之间。乔木层 Shannon-Wiener 指数在不同林型兴安落叶松林中呈现出杜鹃-兴安落叶松林>杜香-兴安落叶松林>对照>草类-兴安落叶松林的趋势。可以看出火干扰对 Shannon-Wiener 指数的影响主要出现在灌草层,这主要是由于火干扰破坏了林内各层次结构和立地条件所造成的。

Pielou 指数垂直结构在2003S-R和2003S-L中呈乔木层>草本层>灌木层,在草类-兴安落叶松林和对照样地中呈灌木层>草本层>乔木层的变化格局。其中不同林型火烧迹地草本层 Pielou 指数在0.88~0.99之间。草本层 Pielou 指数在不同林型兴安落叶松林中呈现出杜香-兴安落叶松林>对照>杜鹃-兴安落叶松林>草类-兴安落叶松林的趋势。不同林型火烧迹地灌木层 Pielou 指数在0.75~0.91之间。灌木层 Pielou 指数在不同林型兴安落叶松林中均小于对照样地并呈现出草类-兴安落叶松林>杜鹃-兴安落叶松林>杜香-兴安落叶松林的趋势。不同林型火烧迹地乔木层 Pielou 指数在0~1.00之间。乔木层 Pielou 指数在不同林型兴安落叶松林中呈现杜鹃-兴安落叶松林>杜香-兴安落叶松林>对照>草类-兴安落叶松林的趋势。

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。其中不同林型火烧迹地草本层 Margalef 指数在1.08~2.24之间。草本层 Margalef 指数在不同林型兴安落叶松林中呈现出草类-兴安落叶松林>对照>杜香-兴安落叶松林>杜鹃-兴安落叶松林的趋势。不同林型火烧迹地灌木层 Margalef 指数在0.92~1.21之间。灌木层 Margalef 指数在不同林型兴安落叶松林中均小于对

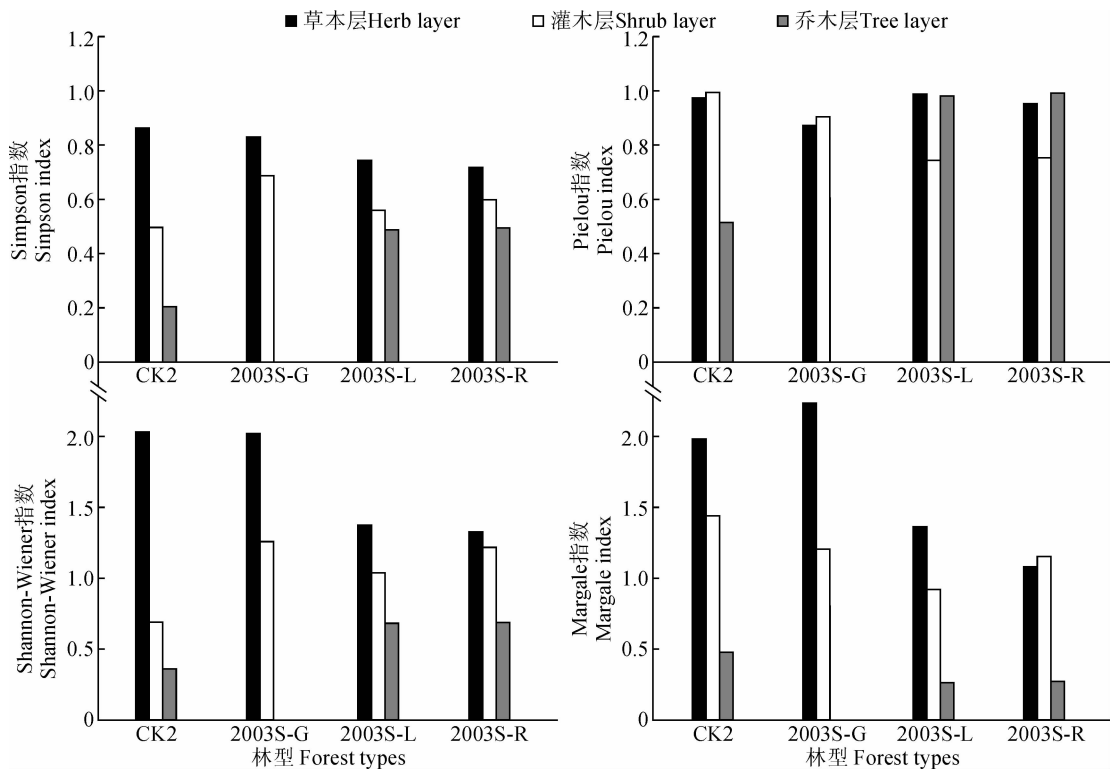


图 2 不同林型火烧迹地群落各层 α 多样性指数比较

Fig. 2 Different layer α diversity index comparison in burned phytocoenosium of different forest types

照样地并呈现出草类-兴安落叶松林>杜鹃-兴安落叶松林>杜香-兴安落叶松林的趋势。不同林型火烧迹地乔木层 Margalef 指数在 0~0.27 之间。乔木层 Margalef 指数在不同林型兴安落叶松林中均小于对照样地并呈现出杜鹃-兴安落叶松林>杜香-兴安落叶松林>草类-兴安落叶松林的趋势。

3 讨论

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。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。本研究发现草类-兴安落叶松林的树木更新数量要显著小于其他 2 种林型,且无次生白桦的更新出现,这可能是由于该群落内林下植被盖度较大,导致光照不足而造成的^[6]。本研究还发现 3 种不同林型兴安落叶松林火烧迹地群落灌木层物种数较对照相比都有所增加,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利的条件^[7]。恢复 12 年后,在不同林型的火烧迹地群落中,灌木层物种数和优势度较对照样地有所增加。游水生等^[8]的研究也发现,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,这可能也是火烧后灌木层物种数增加的原因之一。经过 12 年的天然更新,草类-兴安落叶松林草本层物种数大于对照并显著大于杜香-兴安落叶松林和杜鹃-兴安落叶松林,这可能是由于该群落土壤中草本种子积累多于其他两个群落的原因^[9]。Nilsson 等^[10]的研究发现,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。覃炳醒^[11]在大兴安岭典型植被的研究中也发现,一定强度的火干扰有助于群落内物种的更新与恢复,本研究也得出了与此相近的结果。

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。本研究发现不同林型兴安落叶松林群落各层多个 α 多样性指数总表现为草本层>灌木层>乔木层的趋势。张万里等^[12]和王丽红等^[13]的研究均得出了类似的结论。这可能是群落各层植被恢复速度不同而造成的^[14]。本研究发现不同林型火烧迹地草本层 Simpson 和 Shannon-Wiener 指数均小于对照样地并呈现出草类-兴安落叶松林>杜香-兴安落叶松林>杜鹃-兴安落叶松林的趋势,而在灌木层则都大于对照样地并呈现出草类-兴安落叶松林>杜鹃-兴安落叶松林>杜香-

兴安落叶松林的趋势。研究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^[15-16]。从短期

来看,草类-兴安落叶松林火烧迹地灌草层物种组成及多样性恢复效果要优于其他两种林型,这可能与其种源及立地条件等因素有关^[17]。

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):1 703-1 710.
ZHU J J,LIU Z G. Study on forest disturbance ecology[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004,**15**(10):1 703-1 710.

[2] 王绪高,李秀珍,贺红土. 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.
WANG X G,LI X Z,HE H S. Long-term effects of different management strategies on *Larix gmelinii* forests in Great Hing'an Mountains after the catastrophic fire in 1987[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008,**19**(4):915-921.

[3] 王绪高,李秀珍,贺红土,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.
WANG X G,LI X Z,HE H S,et al. Long-term effects of different planting proportion on forest landscape in Great Hing'anling Mountains after the catastrophic fire in 1987[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 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.
ZHOU M,YU X X,FENG L, et al. Effects of permafrost and wetland in forests in Great Xing'an Mountains on ecology and environment[J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 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,**2**(3):162-168.
MA K P. Biological community diversity measure method I (on) α diversity index of measurement methods[J]. *Chinese Biodiversity*, 1994,**2**(3):162-168.

[6] 王建林. 林火干扰对长苞铁杉更新的影响[J]. 华东森林经理,2011,**25**(2):18-21.
WANG J L. The influence of fire disturbance on long bract hemlock update[J]. *East China Forest Management*, 2011, **25**(2):18-21.

[7] 罗菊春,王庆锁,牟长城,等. 干扰对天然红松林植物多样性的影响[J]. 林业科学,1997,**43**(6):498-503.
LUO J C,WANG Q S,MU C C,et al. Plant diversity of *Pinus koraiensis* forests under disturbance in Changbai Mountains of China[J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 1997,**43**(6):498-503.

[8] 游水生,张志翔,李如泽,等. 福建武夷帽布米栎林火烧后植物种类变化的研究 II. 火烧前后重要值和物种多样性变化[J]. 福建林学院学报,1998,**18**(1):65-68.
YOU S S,ZHANG Z X,LI R Z, et al. Diversity changes of natural *Castanopsis carlesii* community after clearcut and then burned[J]. *Journal of Fujian College of Forest*, 1998, **18**(1):65-68.

[9] 宋瑞生,于明坚,李铭红,等. 片断化常绿阔叶林的土壤种子库

及天然更新[J]. 生态学报,2008,**28**(06):2 554-2 562.
SONG R S,YU M J,LI M H, et al. Fragments of evergreen broad-leaved forest soil seed banks and natural regeneration[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2008,**28**(6):2 554-2 562.

[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] 覃炳醒. 林火干扰对大兴安岭典型林型植被特征的影响[D]. 哈尔滨:东北林业大学,2012.

[12] 张万里,李雷鸿. 黑龙江省东部林区森林植物生物多样性与干扰的研究[J]. 东北林业大学学报,2000, **44**(5):77-82.
ZHANG W L,LI L H. Forest plant biodiversity and interference in the east of Heilongjiang Province forest areas[J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 2000, **44**(5): 77-82.

[13] 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.
WANG L H,XIN Y,ZOU M L, et al. Plants diversity and biomass distribution of vegetation restoration in burned area of Great Xing'an Mountains[J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2015,**37**(12):41-47.

[14] 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.
LI Y Y,SHAO M A. The change of plant diversity during natural recovery process of vegetation in Ziwuling area[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2004,**24**(2):252-260.

[15] 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.
XU H C,LI Z D, QIU Y. Fire disturbance history in virgin forest in northern region of Daxinganling Mountains[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1997,**17**(4):3-9.

[16] 戚裕锋,杨徐烽,张奇平,等. 浙江天童受损害绿阔叶林实验生态学研究(V):不同干扰下植被恢复初期主要树种 5 年的恢复和更新[J]. 华东师范大学学报(自然科学版),2010, **56**(3):10-25.
QI Y F,YANG X F,ZHANG Q P, et al. Experimental ecology research on destroyed evergreen broad-leaved forests in TNFP, Zhejiang(V):Five-year recovery and regeneration of main trees after different disturbances[J]. *Journal of East China Normal University(Natural Science)*, 2010,**56**(3):10-25.

[17] 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): 1 355-1 374.

(编辑:潘新社)