

# 地表火对呼伦贝尔沙地 樟子松林林下植物多样性的影响

喻泓, 杨晓晖<sup>①</sup>

(中国林业科学研究院林业研究所 国家林业局林木培育重点实验室, 北京 100091)

**摘要:** 选择无地表火发生、当年发生地表火和地表火发生后 12 a 的天然樟子松林分, 利用多尺度、面积 1 000 m<sup>2</sup> 改进的 Whittaker 样方, 研究了地表火对呼伦贝尔沙地天然樟子松 (*Pinus sylvestris* L. var. *mongolica* Litv.) 林下植被多样性的影响。结果表明, 各林分所有林木的平均胸径 (*DBH*) 差异极显著 ( $P < 0.01$ )。在 1 m<sup>2</sup> 样方尺度上, 3 种林分的林下植被盖度有极显著差异 ( $P < 0.0001$ ), 其中地表火发生后 12 a 的林分林下植被盖度最低 (32.0%)。在面积 1 和 10 m<sup>2</sup> 样方尺度上, 各林分林下植被的  $\alpha$  多样性有显著差异 ( $P < 0.05$ ), 且以当年发生地表火的林分林下植被丰富度最高; 不同功能群植物 (包括木本植物、禾本科植物和非禾本科草本植物) 的  $\alpha$  多样性也仅在小尺度上有一定的差异。林下植被的  $\beta$  多样性随火后持续时间的延长不断增加, 无地表火发生的林分  $\beta$  多样性最高。间接梯度分析 (*DCA*) 结果表明, 当年发生地表火的林分中植物种类较多, 林下植物均表现出从偏旱生到偏湿生、沿水分梯度分布的趋势。因此, 樟子松林下植被多样性仅在小尺度上对地表火干扰产生响应, 随着时间的推移其多样性趋于一致, 表明天然樟子松林的林下植被具有抵御地表火干扰的能力。

**关键词:** 樟子松林; 地表火; 多样性; 改进的 Whittaker 样方; 尺度

中图分类号: S791.253.02; S762.1 文献标志码: A 文章编号: 1004-0978(2009)01-0006-06

**Effects of surface fire on species diversity of understory plant in *Pinus sylvestris* var. *mongolica* forests in Hulun Buir sandy land of Inner Mongolia** YU Hong, YANG Xiao-hui<sup>①</sup> (Key Laboratory of Tree Breeding and Cultivation of State Forestry Administration, Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China), *J. Plant Resour. & Environ.* 2009, 18(1): 6-11

**Abstract:** The species diversity of understory plants of three stands including no surface fire, surface fire occurred in the current year and surface fire occurred 12 a ago in *Pinus sylvestris* L. var. *mongolica* Litv. forest in Hulun Buir sandy land were investigated with multi-scale modified Whittaker plots (1 000 m<sup>2</sup>). The results show that the *DBH* difference of all trees in each stand is very significant ( $P < 0.01$ ). The understory vegetation coverage has extremely significant difference in the three stands at 1 m<sup>2</sup> scale ( $P < 0.0001$ ) and that of the stand with surface fire occurred 12 a ago is the lowest (32.0%). At 1 and 10 m<sup>2</sup> scales, the  $\alpha$  diversity of understory plants exhibits significant difference ( $P < 0.05$ ), and the understory species richness of the stand with surface fire occurred in the current year is the highest. The  $\alpha$  diversity of different functional groups, including woody plant, gramineous plant and forb has a little difference at small scales. The  $\beta$  diversity of understory plants increases continuously as time goes on and that of stand with no surface fire is the highest. The results of detrended correspondence analysis (*DCA*) show that there are more understory species in the stand with surface fire occurred in the current year and understory plants distribute from drought to hygrophytic habitat along water gradient. Therefore, it is suggested that the understory plant diversity of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* forest only responses to surface fire significantly at small scales and trends to be uniform as time goes on, and the understory vegetation has the ability to resist surface fire disturbance.

收稿日期: 2008-08-05

基金项目: 国家“十五”科技攻关项目 (2005BA517A04)

作者简介: 喻泓 (1969—), 男, 河南潢川人, 博士研究生, 主要研究方向为森林生态和自然保护区研究。

<sup>①</sup>通讯作者 E-mail: yangxh@forestry.ac.cn; deset608@126.com

**Key words:** *Pinus sylvestris* L. var. *mongolica* Litv. forest; surface fire; diversity; modified Whittaker plot; scale

樟子松(*Pinus sylvestris* L. var. *mongolica* Litv.) 是中国北方针叶林区的建群树种之一, 内蒙古呼伦贝尔沙地的红花尔基为中国天然樟子松林的集中分布区, 这些天然樟子松林是在 20 世纪 50 年代残存的团块状片林的基础上经封育而形成的<sup>[1]</sup>。红花尔基樟子松林位于森林草原过渡带上, 在草原放牧压力导致的物种多样性变化及植被退化环境中, 樟子松林作为森林草原区的物种库具有不可替代的作用<sup>[2]</sup>。由于红花尔基地区气候寒冷、干燥, 且林中的枯落物堆积较厚, 因而林火成为该地区天然樟子松林的主要干扰因子, 每年的春、秋季都是林火发生的高危险期。红花尔基樟子松林的林火主要为地表火或林冠火, 林冠火往往烧死树木或全部地面植被, 使局部生态系统崩溃, 产生次生裸地, 在无人为措施影响下, 植被演替将在林火产生的次生裸地上进行; 而地表火的强度相对较小, 烧毁部分或全部林下植被及部分林冠层树木, 林下植被演替将在林冠层庇护下的火烧迹地上进行<sup>[1]</sup>。近年来, 关于林火干扰下樟子松林内植物的生长变化<sup>[3-4]</sup>、竞争及空间格局<sup>[5-7]</sup>等方面的研究较多, 然而, 关于林火干扰下樟子松林林下植物多样性的变化却未见报道。作者采用改进的 Whittaker 样方法研究了地表火干扰下樟子松林林下植物多样性的变化状况, 以期为天然樟子松林的生物多样性管理和自然资源保护计划的制定等提供研究依据。

## 1 研究地概况及研究方法

### 1.1 研究地概况

内蒙古红花尔基自然保护区地理位置为北纬 47°36' ~ 48°35'、东经 118°58' ~ 120°32', 海拔 700 ~ 1 100 m。该地区属于半湿润半干旱气候区, 年均气温 -1.5 °C,  $\geq 10$  °C 的年积温为 2 000 °C; 年均降水量 344 mm, 降水主要集中在每年的 7、8 月份; 年均蒸发量 1 174 mm, 干燥度 1.33; 年均无霜期约 90 d。该保护区的主要地貌类型为垄状波状起伏沙地<sup>[1]</sup>。

被调查的天然樟子松林主要分布在内蒙古红花尔基自然保护区内的低缓沙丘及其间宽广的低地上, 均经过多年的封育管理, 区域地带性植被已经演

化成外貌较为一致的樟子松林顶极群落, 林间有白桦(*Betula platyphylla* Suk.) 等少量伴生树种。

### 1.2 调查方法

于 2006 年 6 月份至 7 月份, 在红花尔基天然樟子松林中选择 2006 年<sup>[8]</sup>(地表火发生当年) 和 1994 年发生地表火<sup>[9]</sup>(火后 12 a) 及 1970 年以来一直没有发生过林火的林分进行林下植物多样性研究。同一类型林分各调查 3 个面积为 1 000 m<sup>2</sup> 改进的 Whittaker 样方(50 m × 20 m)<sup>[10-11]</sup>, 不同类型林分的各样方间相距 3 ~ 8 km, 同一类型林分中各样方间相距 50 ~ 100 m。在每个改进的 Whittaker 样方中, 于样方中心划定 1 个 100 m<sup>2</sup>(20 m × 5 m) 的 Whittaker 样方, 调查其中新出现的植物种数; 在面积 1 000 m<sup>2</sup> 大样方的左下角和右上角分别划定 1 个 10 m<sup>2</sup>(5 m × 2 m) 的样方, 分别调查其中的植物种数; 在 1 000 m<sup>2</sup> 大样方的边缘划定 6 个 1 m<sup>2</sup>(2 m × 0.5 m) 的小样方(长边 2 个, 宽边 1 个), 在 100 m<sup>2</sup> 的中心样方边缘划定 4 个 1 m<sup>2</sup>(2 m × 0.5 m) 的小样方, 调查记录这 10 个小样方中的植物(指维管植物)种数及其总盖度; 对于 1 000 m<sup>2</sup> 样方中的余下部分, 只记录其中新出现的植物种数。另外, 对每个 1 000 m<sup>2</sup> 的 Whittaker 样方中的林木进行每木检尺, 记录其胸径(DBH)。共调查了 3 种林分的植物多样性状况, 每个林分中面积为 1 000、100、10 和 1 m<sup>2</sup> 的样方数分别为 9、9、18 和 90 个。

### 1.3 数据处理

以林木径级分布表征林分结构特征<sup>[5]</sup>, 将林木胸径划分为 3 个径级:  $DBH > 0$  cm、 $DBH \geq 8$  cm 和  $DBH \geq 31$  cm, 在上述 3 个径级上分析红花尔基天然樟子松林林分结构的差异。用种的丰富度来比较不同林分林下植被的  $\alpha$  多样性<sup>[12]</sup>, 而植被的  $\beta$  多样性则可利用公式  $\beta_w = S \cdot \alpha^{-1}$  进行计算<sup>[13-15]</sup>, 式中,  $\beta_w$  为 Whittaker 多样性指数,  $S$  为物种总数,  $\alpha$  为平均每个样方的物种数。所有植物种类的  $\beta$  多样性均可利用公式  $\beta_{HI} = 100(S \cdot \alpha^{-1} - 1) \cdot (N - 1)^{-1}$  进行计算<sup>[16]</sup>, 式中,  $\beta_{HI}$  为 Harrison 多样性指数,  $S$  为物种总数,  $\alpha$  为平均每个样方的物种数,  $N$  为样方数。

通过间接梯度分析法(DCA)对各林分林下植物的种类组成及变化进行分析, 并利用非参数

Kruskal-Wallis 法和  $F$  分布法对不同林分的物种丰富度及其林木胸径的差异进行方差分析。所有调查数据的统计和分析均使用 SAS 9.0 软件进行。

## 2 结果和分析

### 2.1 不同樟子松林分的结构特征分析

以樟子松林乔木层的平均胸径为表征林分结构特征的指标<sup>[5]</sup>,研究了地表火对不同樟子松林分结构特征的影响,结果见表1。由表1可见,在当年发生地表火的林分中,胸径(DBH)在8 cm 以上的林木株数占该林分林木总株数的百分率在3种林分中最小,仅为33.6%,其中胸径大于或等于31 cm 的林木株数仅占该林分林木总株数的11.6%;而在地表

火发生后12 a 的林分中,胸径在8 cm 以上的林木株数占该林分林木总株数的百分率在3种林分中最大,达到89.3%,其中胸径大于或等于31 cm 的林木株数占该林分林木总株数的42.9%。

不同樟子松林分间所有林木的平均胸径有显著差异;在排除小于8 cm 的小径阶林木后,未发生地表火的林分与当年发生地表火的林分之间的林木胸径有极显著差异( $P < 0.01$ ),但地表火发生后12 a 的林分林木胸径与前两个林分间无显著差异;3种林分中,大径阶( $DBH \geq 31$  cm)林木的胸径没有显著差异。因此,从林冠层树木的径阶分布来看,不同林分的结构具有一定的相似性,同一林分不同样方间林木胸径的差异不大,有些甚至无显著差异。

表1 内蒙古呼伦贝尔沙地樟子松林不同林分的结构特征<sup>1)</sup>

Table 1 Structural characters of different stands of *Pinus sylvestris* L. var. *mongolica* Litv. forest in Hulun Buir sandy land of Inner Mongolia<sup>1)</sup>

林分 and 样方 Stand and plot	径级 $DBH > 0$ cm 林木的特征参数 Character parameter of trees in diameter class of $DBH > 0$ cm		径级 $DBH \geq 8$ cm 林木的特征参数 Character parameter of trees in diameter class of $DBH \geq 8$ cm		径级 $DBH \geq 31$ cm 林木的特征参数 Character parameter of trees in diameter class of $DBH \geq 31$ cm	
	总株数 Total number of tree	平均胸径/cm ( $\bar{X} \pm SE$ ) Average of DBH	总株数 Total number of tree	平均胸径/cm ( $\bar{X} \pm SE$ ) Average of DBH	总株数 Total number of tree	平均胸径/cm ( $\bar{X} \pm SE$ ) Average of DBH
	FE-1	41	20.0 $\pm$ 2.66a	24	31.6 $\pm$ 2.64a	17
FE-2	46	17.3 $\pm$ 2.38a	24	29.5 $\pm$ 2.77a	14	39.5 $\pm$ 1.31a
FE-3	30	28.8 $\pm$ 2.45b	26	32.3 $\pm$ 2.05a	17	38.8 $\pm$ 1.16a
FE	117	21.2 $\pm$ 1.51A	74	31.2 $\pm$ 1.42A	48	39.2 $\pm$ 0.60A
F01-1	99	14.0 $\pm$ 1.33a	45	26.3 $\pm$ 1.49a	19	35.0 $\pm$ 0.62a
F01-2	102	11.4 $\pm$ 1.52ab	26	34.4 $\pm$ 2.85b	18	42.5 $\pm$ 1.48b
F01-3	213	10.4 $\pm$ 0.72b	68	23.6 $\pm$ 1.11a	11	36.1 $\pm$ 2.73a
F01	414	11.5 $\pm$ 0.62B	139	26.5 $\pm$ 0.95B	48	38.1 $\pm$ 0.99A
F12-1	53	24.0 $\pm$ 1.59a	45	27.5 $\pm$ 1.30a	18	35.7 $\pm$ 0.79a
F12-2	48	26.3 $\pm$ 1.91a	43	28.8 $\pm$ 1.77a	23	38.0 $\pm$ 1.09a
F12-3	39	28.6 $\pm$ 1.93a	37	29.8 $\pm$ 1.82a	19	38.5 $\pm$ 1.22a
F12	140	26.1 $\pm$ 1.04C	125	28.6 $\pm$ 0.93AB	60	37.5 $\pm$ 0.63A

<sup>1)</sup> FE、F01 和 F12 分别表示自1970年以来没有发生过地表火的林分、当年发生地表火的林分和地表火发生12 a 后的林分;横线后的数字1、2、3 分别表示各林分中的3个样方 FE, F01 and F12 indicate the stand where no surface fire has occurred since 1970, surface fire occurred in the current year and surface fire occurred 12 a ago, respectively; Arabic numerals (1, 2, 3) after the hyphen indicate the three plots in different stands, respectively. 同列中不同的小写字母表示同一林分不同样方间在  $P = 0.01$  水平上差异显著;同列中不同的大写字母表示不同林分间在  $P = 0.01$  水平上差异显著 The different small letters in the same column indicate significant difference among different plots in the same stand at  $P = 0.01$  level; The different capitals in the same column indicate significant difference among different stands at  $P = 0.01$  level.

### 2.2 不同樟子松林分林下植被盖度状况分析

统计结果表明,在1 m<sup>2</sup>样方尺度上,不同樟子松林分林下植被盖度有显著差异( $F = 102.05$ ,  $P < 0.0001$ )。其中,30 多年内未发生地表火的林分林下植被盖度最高,达到83.7%;当年发生地表火的林分林下植被盖度为45.3%;12 a 前发生地表火的林分林下植被盖度最小,仅为32.0%。

### 2.3 不同樟子松林分林下植被多样性分析

2.3.1  $\alpha$  多样性分析 经过地表火干扰后,呼伦贝尔沙地樟子松林林下植被的  $\alpha$  多样性在不同样方尺度上表现出不同的特征(表2)。在1和10 m<sup>2</sup>样方尺度上,不同林分林下植物种类的丰富度存在一定的差异,且以当年发生地表火的林分林下植物的  $\alpha$  多样性指数最高;在1 000 m<sup>2</sup>样方尺度上,不同林分

林下植物种的丰富度没有显著差异。

在不同林分及不同样方尺度上,不同功能群的植物多样性有一定差异。在当年发生地表火的林分中,在所有尺度的样方中木本植物种数均最多,且在1和10 m<sup>2</sup>样方尺度上有显著差异( $P < 0.05$ )。在当年发生地表火的林分中,在10 m<sup>2</sup>样方尺度上,禾本

科植物种数最多;而在30多年内未发生地表火的林分中,在1和1000 m<sup>2</sup>样方尺度上,禾本科植物种数最多。在当年发生地表火的林分中,在1和10 m<sup>2</sup>样方尺度上,非禾本科草本植物种数均最多;而在30多年内未发生地表火的林分中,在1000 m<sup>2</sup>样方尺度上,非禾本科草本植物种数最多。

表2 内蒙古呼伦贝尔沙地樟子松林不同林分林下植物丰富度的比较( $\bar{X} \pm SE$ )<sup>1)</sup>

Table 2 Comparison of species richness of understory plant in different stands of *Pinus sylvestris* L. var. *mongolica* Litv. forest in Hulun Buir sandy land of Inner Mongolia ( $\bar{X} \pm SE$ )<sup>1)</sup>

样方尺度/m <sup>2</sup> Scale of plot	功能群 Functional group	不同林分的丰富度指数 Richness index of different stands			显著性 Significance
		F01	F12	FE	
1	木本植物 Woody plant	1.3 ± 0.10a	0.5 ± 0.09b	0.5 ± 0.10b	$F = 21.16, P < 0.0001$
	禾本科植物 Gramineous plant	0.5 ± 0.09ab	0.3 ± 0.08b	0.7 ± 0.10a	$F = 4.01, P = 0.0216$
	非禾本科草本植物 Forb	10.0 ± 0.52ab	8.5 ± 0.35b	9.4 ± 0.32a	$F = 3.61, P = 0.0313$
	全部种类 All species	11.8 ± 0.57a	9.2 ± 0.38b	10.5 ± 0.33c	$F = 8.77, P = 0.0003$
10	木本植物 Woody plant	1.7 ± 0.42a	0.8 ± 0.31ab	0.3 ± 0.21b	$F = 4.30, P = 0.0340$
	禾本科植物 Gramineous plant	1.3 ± 0.33a	0.5 ± 0.22a	1.0 ± 0.26a	$F = 2.32, P = 1.3280$
	非禾本科草本植物 Forb	15.7 ± 0.67a	13.7 ± 1.14a	14.3 ± 1.14a	$F = 1.01, P = 0.3862$
	全部种类 All species	18.8 ± 0.65a	15.3 ± 0.89b	16.2 ± 1.17ab	$F = 4.01, P = 0.0402$
1000	木本植物 Woody plant	4.3 ± 0.89a	2.7 ± 0.70a	2.7 ± 0.33a	$F = 2.08, P = 0.2056$
	禾本科植物 Gramineous plant	2.7 ± 0.33a	2.3 ± 0.88a	3.0 ± 0.00a	$F = 0.37, P = 0.7023$
	非禾本科草本植物 Forb	34.7 ± 2.90a	36.3 ± 1.67a	38.7 ± 2.18a	$F = 0.51, P = 0.5092$
	全部种类 All species	41.7 ± 1.76a	41.3 ± 2.67a	44.3 ± 2.40a	$F = 0.51, P = 0.6260$

<sup>1)</sup> FE、F01和F12分别表示自1970年以来没有发生过地表火的林分、当年发生地表火的林分和地表火发生12a后的林分 FE, F01 and F12 indicate the stand where no surface fire has occurred since 1970, surface fire occurred in the current year and surface fire occurred 12 a ago, respectively. 同行中不同的小写字母表示在 $P = 0.05$ 水平上差异显著 The different small letters in the same row indicate significant difference at  $P = 0.05$  level.

2.3.2  $\beta$ 多样性分析 经过地表火干扰后,樟子松林林下植被的 $\beta$ 多样性有较大变化。在1000 m<sup>2</sup>样方尺度上,30多年内未发生地表火的林分和当年发生地表火的林分中林下植物种类的变化最大,有近50%的种类发生了更新( $\beta_{HI} = 0.4355$ )。与地表火发生后12a的林分相比,30多年内未发生地表火的林分林下植物的种类有27.9%进行了更替;而当年发生地表火的林分中林下植物种类的变化也超过了三分之一( $\beta_{HI} = 0.3667$ )。

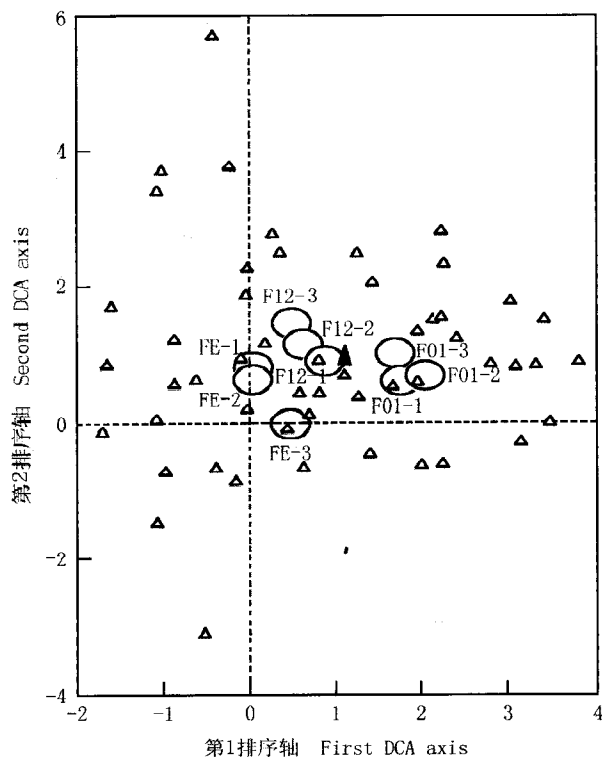
#### 2.4 樟子松林林下植被的间接梯度分析(DCA)

总体上看,3种樟子松林分的环境条件相似,且具有相同的林分起源和相似的结构,其林下植物种类的数量和组成也均有一定的相似性(每种林分平均有61种植物,共有种占63.4%),平均每个样方在1、10、100和1000 m<sup>2</sup>尺度上分别记录了10.5、16.8、21.4和42.4种维管植物,总共记录了97种维管植物。DCA的4个排序轴的特征值分别为

0.341、0.141、0.050和0.005,前2个特征值较大,因此以第1排序轴(水平轴)和第2排序轴(垂直轴)作物种-样地二维排序图,详细结果见图1。由图1可见,同一类型林分的样方间距离较近;林下植物种类的组成较相似;不同类型林分的样方间相距较远,林下植物种类的组成差异较大。总体上看,不同樟子松林分的样方分布趋于集中,表现出同一群落类型林下植被具有一定的相似性。

另外,沿第1排序轴(水平轴)从左至右,林下植物从早生的羊茅(*Festuca ovina* L.)、冰草[*Agropyron cristatum* (L.) Gaertn.]等到中早生的叉分蓼(*Polygonum divaricatum* L.)等,再到中生的艾(*Artemisia argyi* Lévl. et Van.)、多叶隐子草(*Cleistogenes polyphylla* Keng)等,最后到湿生的斑叶堇菜(*Viola variegata* Fisch. ex Link)、寸草(*Carex duriuscula* C. A. Mey.)及莎草属(*Cyperus* L.)植物等,反映出植物种类分布从偏旱生到偏湿生、沿着水

分梯度变化的趋势。从左到右沿第1排序轴方向,样地分布从近原点出发依次为30多年内未发生地表火的林分,地表火发生后12 a的林分和当年发生地表火的林分,呈现出樟子松不同林分在DCA排序中的分布格局,其中当年发生地表火的林分林下植物种类最多。



○: 样地 Plot  
△: 不同种类的分布点 Distribution plot of different species  
▲: 许多种类的集中分布点 Distribution plot of many species

FE、F01 和 F12 分别表示自 1970 年以来没有发生过地表火的林分、当年发生地表火的林分和地表火发生后 12 a 后的林分;横线后的数字 1、2、3 分别表示各林分中的 3 个样方 FE、F01 和 F12 indicate the stand where no surface fire has occurred since 1970, surface fire occurred in the current year and surface fire occurred 12 a ago, respectively; Arabic numerals (1,2,3) after the hyphen indicate the three plots in different stands, respectively.

图 1 内蒙古呼伦贝尔沙地樟子松林 1 000 m<sup>2</sup> 样方尺度上物种-样地的 DCA 二维排序图

Fig. 1 DCA two-dimensional ordination diagram of species and plots in 1 000 m<sup>2</sup> plot of *Pinus sylvestris* L. var. *mongolica* Litv. forest in Hulun Buir sandy land of Inner Mongolia

### 3 结论和讨论

林冠层对林下植被有重要影响,林火通过对林冠层特别是林下植被的作用而驱动生态系统的演替变化<sup>[17]</sup>,这种变化与林地有机层厚度、林龄及林冠层均有关系<sup>[18]</sup>。对于针阔混交林而言,地形地貌是

影响林下植物多样性的最重要因素,而林火与林冠层的影响则居于次要地位<sup>[19]</sup>。然而,有关温带针阔混交林的研究结果却显示,草本植物的多度随林火干扰频率的增加而增大<sup>[20]</sup>,林火干扰后草本植物的盖度先降低随后又恢复到原来水平<sup>[21]</sup>。在不同的演替阶段,天然樟子松群落的植物多样性也有较大差异<sup>[22]</sup>,短期内(1 a)地表火的干扰能促使樟子松林下植被盖度增大;随火后时间的推移,林下植被盖度表现出先降低后升高的趋势,这或许与林火短期内打开了林隙并使林内可利用养分增多有关。在地表火干扰后的不同时期,在林冠层成分及结构相似的樟子松林中,林下植物种数的差异不大。在小尺度(1 和 10 m<sup>2</sup>)样地上,不同林分林下植物种的丰富度有显著差异,而在较大尺度(1 000 m<sup>2</sup>)的样地上却没有差异。因此,在地表火干扰后的短期内,在小尺度上林下植物种的  $\alpha$  多样性显著增加,植被盖度下降;随火后植被的恢复,在较大尺度上植物种的多样性趋于一致,表明地表火干扰具有时效性,樟子松林下植被具有抵抗地表火干扰的能力。

在地表火干扰后的不同时期内,不同功能群的植物也表现出不同的响应机制。在小尺度样方上,各林分木本植物的丰富度有显著差异,且当年发生地表火的林分木本植物种数最多,表明木本植物有入侵火烧迹地的迹象;禾本科植物和非禾本科草本植物的丰富度仅在 1 m<sup>2</sup> 样方尺度上有显著差异,表明草本植物在地表火干扰后的短期内在较大尺度样方上并没有显著变化。随着时间的推移,经地表火干扰后的林分与无地表火干扰的林分在植被多样性上的差异越来越显著,林下植被的  $\beta$  多样性沿火后时间的推移不断增大,说明林下植被对地表火干扰有缓冲效应,即随着时间的推移,地表火干扰对林下植被的影响逐渐消失。从长远来看,地表火干扰对樟子松林下植被不会造成毁灭性的破坏,但长期无地表火干扰的林分林下植被的演替方向还需进一步的研究。

地表火干扰后,呼伦贝尔沙地樟子松林林下植物种类的变化在改进的 Whittaker 样方调查中得到了准确的反映<sup>[10]</sup>,平均每个样方在 1、10、100 和 1 000 m<sup>2</sup> 尺度上分别记录了 10.5、16.8、21.4 和 42.4 种维管植物,总共记录了 97 种维管植物,这与“呼伦贝尔沙地樟子松林有 118 种维管植物”<sup>[1]</sup>的调查结论较接近,说明樟子松林具有区域尺度上物种

库的作用。DCA 分析也表明,在樟子松林的不同林分中,当年发生地表火的林分中植物种类较多;另外,林下植物种类的排序也反映出潜在的、沿水分梯度分布的格局。由于当年发生地表火的林分趋于湿生环境,因此该林分中出现较多的偏湿生种类,这表明地表火干扰能够改变林冠层结构、清除部分林下植被、烧掉部分或大部分枯落物,进而改变水分等资源的分配和利用格局,使局部小生境趋于湿润从而有利于偏湿生植物的生长。

研究结果表明,周期性草原火烧具有一定的防止外来物种入侵的作用,而当有大量外来种存在时,周期性火烧对入侵种扩散的防止作用并不明显<sup>[23]</sup>。在原生或次生裸地植物的演替过程中,其物种组成与邻近森林的物种库有显著相关性<sup>[24]</sup>,地表火干扰可能也是维持樟子松林下植被群落稳定及保持较高物种多样性的重要驱动力。因此,在草原过牧、草场退化的压力下,樟子松林下植被作为物种库,在森林草原过渡区具有重要地位。

#### 参考文献:

- [1] 赵兴梁. 内蒙呼伦贝尔盟沙地上的樟子松林初步调查报告[J]. 植物生态学与地植物学资料丛刊, 1958(1): 90-180.
- [2] Köllner T. Species-pool effect potentials (SPEP) as a yardstick to evaluate land-use impacts on biodiversity [J]. Journal of Cleaner Production, 2000, 8(4): 293-311.
- [3] 罗菊春. 大兴安岭森林火灾对森林生态系统的影响[J]. 北京林业大学学报, 2002, 24(5/6): 101-107.
- [4] 王宏良, 卜善阳, 金森, 等. 大兴安岭樟子松火烧死亡判别模型[J]. 东北林业大学学报, 2005, 33(4): 75, 80.
- [5] 喻泓, 杨晓晖, 慈龙骏. 地表火对红花尔基沙地樟子松种群空间分布格局的影响[J]. 植物生态学报, 2009, 33(1): 71-80.
- [6] 杨晓晖, 喻泓, 于春堂, 等. 呼伦贝尔沙地樟子松林火烧后恢复演替的空间格局分析[J]. 北京林业大学学报, 2008, 30(2): 44-49.
- [7] 毛磊, 杨丹青, 王冬梅, 等. 红花尔基自然保护区天然樟子松种内种间竞争分析[J]. 植物资源与环境学报, 2008, 17(2): 9-14.
- [8] 赵慧颖, 孟军, 宋卫士, 等. “5·16”红花尔基樟子松林重大火灾发生的气候条件探讨[J]. 森林防火, 2006(4): 13-15.
- [9] 兰玉坤. 红花尔基樟子松林特大火灾气候成因分析[J]. 内蒙古气象, 1996(4): 38-40.
- [10] Campbell P, Comiskey J, Alonso A, et al. Modified Whittaker plots as an assessment and monitoring tool for vegetation in a lowland tropical rainforest [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2002, 76(1): 19-41.
- [11] 梁继业, 于春堂, 杨晓晖. 改进的 Whittaker 方法: 一种多尺度的嵌套式植物多样性取样方法[J]. 水土保持研究, 2007, 14(1): 226-229, 233.
- [12] Magurran A E. Measuring Biological Diversity [M]. Oxford: Blackwell, 2004: 100-101.
- [13] Wilson M V, Shmida A. Measuring beta diversity with presence-absence data [J]. Journal of Ecology, 1984, 72(3): 1055-1064.
- [14] Gray J S. The measurement of marine species diversity, with an application to the benthic fauna of the Norwegian continental shelf [J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2000, 250(1/2): 23-49.
- [15] Whittaker R H. Vegetation of the Siskiyou Mountains, Oregon and California [J]. Ecological Monographs, 1960, 30(3): 279-338.
- [16] Harrison S, Ross S J, Lawton J H. Beta diversity on geographic gradients in Britain [J]. Journal of Animal Ecology, 1992, 61(1): 151-158.
- [17] Nilsson M C, Wardle D A. Understorey 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.
- [18] De Grandpre L, Gagnon D, Bergeron Y. Changes in the understorey of Canadian southern boreal forest after fire [J]. Journal of Vegetation Science, 1993, 4(6): 803-810.
- [19] Chipman S J, Johnson E A. Understorey vascular plant species diversity in the mixedwood boreal forest of western Canada [J]. Ecological Applications, 2002, 12(2): 588-601.
- [20] Waldrop T A, White D L, Jones S M. Fire regimes for pine-grassland communities in the southeastern United States [J]. Forest Ecology and Management, 1992, 47(1): 195-210.
- [21] Elliott K J, Hendrick R L, Majorb A E, et al. Vegetation dynamics after a prescribed fire in the southern Appalachians [J]. Forest Ecology and Management, 1999, 114(2/3): 199-213.
- [22] 杨帆, 刘康, 王效科, 等. 内蒙古红花尔基沙地樟子松群落多样性变异研究[J]. 干旱区资源与环境, 2005, 19(4): 192-196.
- [23] Smith M D, Knapp A K. Size of the local species pool determines invasibility of a C<sub>4</sub>-dominated grassland [J]. Oikos, 2001, 92(1): 55-61.
- [24] Butaye J, Jacquemyn H, Honnay O, et al. The species pool concept applied to forests in a fragmented landscape: dispersal limitation versus habitat limitation [J]. Journal of Vegetation Science, 2002, 13(1): 27-34.