

长白山红松阔叶林不同演替阶段优势种的变化*

郭利平^{1,2,3} 姬兰柱^{1**} 王 珍^{1,3} 王智轩⁴

(¹ 中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110016; ² 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; ³ 中国科学院研究生院, 北京 100049; ⁴ 东北育才学校, 沈阳 110179)

摘 要 以皆伐后长白山红松阔叶林4个不同演替阶段的林分为对象,分析其群落和优势树种的变化特征.结果表明:在长白山红松阔叶林不同演替阶段中,乔木树种的丰富度、Shannon多样性和Simpson优势度变化较小,多度和均匀度变化较大.随着演替的进程,群落的优势树种组成发生变化,种数逐渐减少,优势种的胸高断面积和和最大重要值逐渐增加,说明不同演替阶段群落的优势种地位不断提高.长白山红松阔叶林的演替过程是白桦、山杨、黄檗、春榆等阳性或半阴性树种不断减少,而紫椴、水曲柳、红松、色木槭等阴性树种不断增加的过程.

关键词 长白山 红松阔叶林 优势种 皆伐干扰 耐阴性 重要值

文章编号 1001-9332(2011)04-0866-07 **中图分类号** Q145.2; S718.5 **文献标识码** A

Dynamic changes of dominant tree species in broad-leaved Korean pine forest at different succession stages in Changbai Mountains. GUO Li-ping^{1,2,3}, JI Lan-zhu¹, WANG Zhen^{1,3}, WANG Zhi-xuan⁴ (¹*Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China*; ²*Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China*; ³*Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*; ⁴*Northeast Yucai School, Shenyang 110179, China*). -*Chin. J. Appl. Ecol.*, 2011, 22(4): 866–872.

Abstract: Taking the broad-leaved Korean pine forest stands at four different succession stages after clear-cutting in Changbai Mountains as test objects, this paper studied the change characteristics of community composition and dominant species. The tree species richness, Shannon diversity index, and Simpson dominance index at different succession stages had less change, but the evenness and abundance changed greatly. As succession progressed, the community composition changed constantly, *i. e.*, species number decreased, while the basal area sum and the maximum importance value of dominant tree species increased, suggesting that the dominance of dominant species was continuously improved with succession. In the succession process of broad-leaved Korean pine forest in Changbai Mountains, *Betula platyphylla*, *Populus davidiana*, *Phellodendron amurense*, *Ulmus japonica*, and other intolerant or semi-intolerant tree species decreased, while *Tilia amurensis*, *Fraxinus mandshurica*, *Pinus koraiensis*, *Acer mono*, and other shade-tolerant species increased.

Key words: Changbai Mountains; broad-leaved Korean forest; dominant species; clear-cutting disturbance; shade tolerance; importance value.

植被演替是群落结构和物种组成的一个单向变化,群落优势种是判断森林类型和演替阶段的一个重要因素^[1].近年来通过优势树种分析群落演替的研究较多,研究内容涉及不同演替阶段优势种的种群动态^[2-3]、生态位^[4-6]、优势种与生态因子关联度分析^[7-8]和演替阶段判断^[9]等.红松阔叶林是长白山地区海拔1200 m以下的地带性顶极群落,其演替

规律的研究一直是群落生态学和种群生态学的重点,同时也是红松阔叶林合理经营的基础^[9].群落树种的更替变化与其耐阴性密切相关^[10],但目前将优势树种及其耐阴性与红松阔叶林演替规律相结合的研究还较少.徐化成等^[11]研究表明,长白山红松阔叶林树种耐阴性的顺序为:色木槭(*Acer mono*)>紫椴(*Tilia amurensis*)>春榆(*Ulmus japonica*)>红松(*Pinus koraiensis*)>水曲柳(*Fraxinus mandshurica*)>蒙古栎(*Quercus mongolica*).

本文以长白山自然保护区皆伐后的杨-桦幼龄

* 国家“十一五”科技支撑计划项目(2006BAD03A09)资助.

** 通讯作者. E-mail: ji.lanzhu@iae.ac.cn

2010-10-20 收稿,2011-01-10 接受.

林、杨-桦成熟林、红松阔叶林和红松过熟林 4 个演替阶段的乔木树种为对象,通过测定优势种的综合指标(平均树高、总胸高断面积、多度、径级和耐阴性),分析不同演替阶段森林群落和优势树种的变化,以及与优势树种耐阴能力的关系。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

长白山位于吉林省东南部的中朝交界处,海拔 2744 m,是欧亚大陆东岸的最高峰。该地区属温带大陆性气候,冬季寒冷而漫长,夏季温暖而短暂,年平均气温在 0.9℃~3.9℃之间,年降水量在 632.8~782.4 mm 之间,降水主要集中在夏季。长白山的植被垂直分布十分明显,是我国乃至全球自然生态系统保存最为完整的地区之一,具有亚洲东部典型的山地森林生态系统^[12]。

长白山北坡的红松阔叶林带坡度平缓,排水良好,土壤为发育在火山灰沙砾上的暗棕色森林土,适于树种生长;林分结构复杂,多为混交复层异龄林,海拔在 500~1100 m 之间,是长白山区的地带性顶极森林生态系统。主要树种有红松、紫椴、色木槭、蒙古栎、水曲柳、白桦和山杨等^[13]。

1.2 样地设置

2009 年夏、秋两季,采用典型的群落取样方法^[14-18],对长白山自然保护区北坡红松阔叶林中 25 a 的杨桦幼龄林(Ⅰ)、75 a 的杨桦成熟林(Ⅱ)、≥200 a 的红松阔叶成熟林(Ⅲ)和 ≥300 a 的红松阔叶过熟林(Ⅳ) 4 个不同演替阶段的林分进行调查。其中,杨桦幼龄林和成熟林分别是 20 世纪 70 年代中期和 30 年代皆伐后的天然次生林。共设置面积为 30 m×30 m 的样地 13 块:杨桦幼龄林样方 4 块,杨桦成熟林、原始红松阔叶成熟林和红松阔叶过熟林各 3 块。然后将其划分为 36 个 5 m×5 m 的小样方。对树高>2 m 的乔木测定树高和胸径;>2 m 的乔木则记录种名和株数。各样方的经纬度、海拔、坡位、坡度和坡向等信息见文献^[19-20]。

1.3 数据处理

统计各样方中的物种数、个体总数、平均树高、相对频度、多度与显著度;选择重要值作为表征物种在森林群落中的地位和作用的数量指标。

相对多度 = $\frac{\text{某一种植物个体总数}}{\text{同一生活型植物个体总数}} \times 100$

相对频度 = $\frac{\text{一个种的频度}}{\text{所有种的总频度}} \times 100$

相对显著度 = $\frac{\text{该种的胸高断面积之和}}{\text{所有种个体胸高断面积总和}} \times 100$

乔木树种的重要值 = (相对多度 + 相对显著度 + 相对频度) / 3

各演替阶段森林群落的优势种数(A_v)目测公式为^[21]:

$$A_v = \frac{1}{\sum_{i=1}^s \left(\frac{V_i}{V}\right)^2}$$

式中: s 为群落的物种数; V_i 为物种 i 的重要值; V 为所有物种的重要值总数。

Patrick 指数(d)、Shannon 多样性指数(H)、Simpson 优势度指数(D)和 Pielou 均匀度指数(J)公式^[22]为:

$$d = S$$
$$H = - \sum_{i=1}^S (P_i \ln P_i)$$
$$D = \sum_{i=1}^S \frac{N_i(N_i - 1)}{N(N - 1)}$$
$$J = H / \ln S$$

式中: S 为研究区内的树种种数; N_i 为 i 的个体数; P_i 表示第 i 个种的多度比例,即 $P_i = N_i / N_0$ 。

使用 Canoco 对样方中所有种的重要值矩阵进行排序;分析各演替阶段优势种的个体数、平均树高以及各类林木的比例。当 4 个轴中梯度最大值超过 4,选择单峰模型排序(CA、CCA、DCA);<3,选择线性模型(PCA、RDA);介于 3~4 之间,则选择单峰模型和线性模型^[23]。

采用 Excel 2007 和 SPSS 软件进行数据统计分析,用 Origin 7.5 和 SigmaPolt 10.0 软件制图。

2 结果与分析

2.1 红松阔叶林不同演替阶段群落特征

随着演替的发展,群落的树种丰富度不断下降;演替阶段Ⅰ的乔木种类数为 21 种,隶属于 13 科 17 属;演替阶段Ⅱ为 18 种,隶属于 11 科 13 属;演替阶段Ⅲ为 17 种,隶属于 11 科 11 属;演替阶段Ⅳ为 10 种,隶属于 8 科 8 属(表 1)。

由图 1 可以看出,随着演替的进程,Simpson 优势度负指数变化幅度极小,未达到显著水平;而均匀度指数为 J 型曲线,变化明显,物种个体数分布越来越均匀,在演替阶段 4 达到最大值 0.76。多度和 Shannon 多样性指数的变化趋势较一致,均达到显著水平;在演替阶段 2 为单峰曲线,演替阶段 3 和 4

表 1 不同演替阶段的乔木种组成
Table 1 Tree species' composition at four succession stages

科 Family	属 Genera	种 Species	演替阶段 Succession stage			
			I	II	III	IV
桦木科 Betulaceae	桦木属 <i>Betula</i>	白桦 <i>Betula platyphylla</i>	+	+	-	-
		枫桦 <i>Betula costata</i>	+	-	-	+
槭树科 Aceraceae	赤杨属 <i>Alnus</i>	水冬瓜赤杨 <i>Alnus sibirica</i>	+	-	+	-
	槭属 <i>Acer</i>	白牛槭 <i>Acer mandshuricum</i>	+	+	+	+
		假色槭 <i>Acer pseudo-sieboldianum</i>	+	+	+	-
		拧劲槭 <i>Acer triflorum</i>	-	+	+	+
		花楷槭 <i>Acer ukurunduense</i>	-	-	+	-
		青楷槭 <i>Acer tegmentosum</i>	-	+	+	-
		色木槭 <i>Acer mono</i>	+	+	+	+
松科 Pinaceae	冷杉属 <i>Picea</i>	臭冷杉 <i>Abies nephrolepis</i>	+	-	-	-
	云杉属 <i>Picea</i>	长白鱼鳞云杉 <i>P. jezoensis</i> var. <i>komarovii</i>	+	+	-	-
	松属 <i>Pinus</i>	红松 <i>Pinus koraiensis</i>	+	+	+	+
		落叶松 <i>Larix olgensis</i>	+	-	-	-
蔷薇科 Rosaceae	李属 <i>Prunus</i>	稠李 <i>Prunus padus</i>	+	+	-	-
榆科 Ulmaceae	榆属 <i>Ulmus</i>	春榆 <i>Ulmus japonica</i>	+	+	+	+
杨柳科 Salicaceae	杨属 <i>Populus</i>	大青杨 <i>Populus ussuriensis</i>	+	+	+	-
		山杨 <i>Populus davidiana</i>	+	+	-	-
胡桃科 Juglandaceae	胡桃属 <i>Juglans</i>	核桃楸 <i>Jugland mandshurica</i>	+	-	+	-
芸香科 Rutaceae	黄檗属 <i>Phellodendron</i>	黄檗 <i>Phellodendron amurense</i>	+	+	+	-
椴树科 Tiliaceae	椴树属 <i>Tilia</i>	紫椴 <i>Tilia amurensis</i>	+	+	+	+
		糠椴 <i>Tilia mandshurica</i>	-	+	+	-
壳斗科 Fagaceae	栎属 <i>Quercus</i>	蒙古栎 <i>Quercus mongolica</i>	+	+	+	+
豆科 Leguminosae	合欢属 <i>Acacia</i>	山槐 <i>Maackia amurensis</i>	+	+	+	-
鼠李科 Rhamnaceae	鼠李属 <i>Buckthorn</i>	鼠李 <i>Rhmnmusmnus davurica</i>	+	-	-	+
木犀科 Oleaceae	白蜡属 <i>Fraxinus</i>	水曲柳 <i>Fraxinus mandshurica</i>	+	+	+	+

+ 有分布 There were the species; - 无分布 No observed.

下降;但是二者的降幅有所差异,而 Shannon 多样性指数却较演替阶段 1 的值大.

物种重要值矩阵的 DCA 分析结果表明,4 个轴的最大梯度长度为1. 805 (<3) ,故采用线性模型

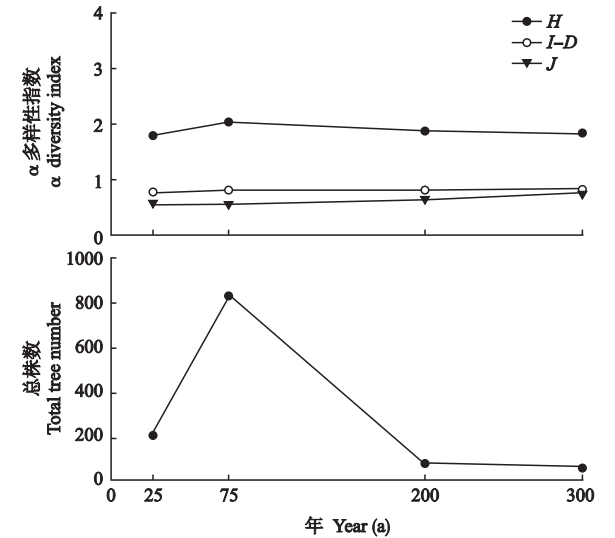


图 1 各演替阶段群落的多度及多样性指数变化
Fig.1 Community's abundance and diversity index at different succession stages.

(PCA)进行非约束排序分析. 然后将调查样方在第一排序轴的得分与演替时间进行相关分析(图 2), 结果显示,红松阔叶林在演替 250 a 左右达到顶极阶段(峰值).

2.2 各演替阶段优势树种的动态变化
2.2.1 优势树种的确定 经计算,4 个演替阶段的重要值分别为 12、9、8、5. 为了客观地选出能概括各演替阶段森林群落特征的树种,选取最小值 5 作为阈值. 各演替阶段重要值>5 的树种共计 13 种优势树

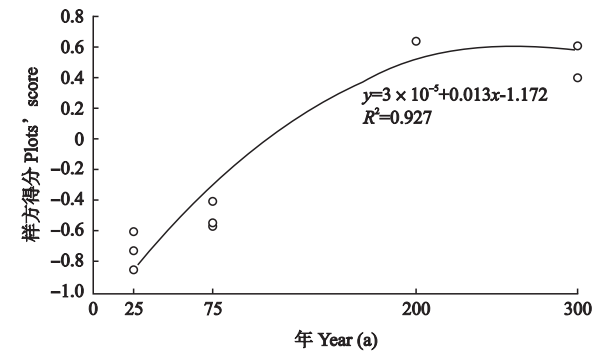


图 2 调查样方得分与演替时间的相关关系
Fig.2 Correlation of survey plots' scores and succession time.

种. 演替阶段 I 有山杨、白桦、色木槭、春榆、大青杨、蒙古栎、红松、紫椴、黄檗; 演替阶段 II 有白桦、红松、山杨、色木槭、蒙古栎、假色槭、紫椴; 演替阶段 III 为红松、色木槭、假色槭、水曲柳、蒙古栎、青楷槭、紫椴; 演替 IV 有红松、色木槭、紫椴、拧劲槭、春榆.

2.2.2 优势种个体数 由图 3 可以看出, 在不同演替阶段的 13 种优势乔木种中, 除白桦、水曲柳和黄檗外, 绝大多数优势种的个体数均在演替阶段 II 达到最大值, 其中红松、假色槭和色木槭的增幅最大, 为其他演替阶段个体数的 10 倍以上 (主要为幼树); 紫椴、春榆、蒙古栎、青楷槭和拧劲槭次之, 为其他演替阶段个体数的 5 倍左右.

2.2.3 优势种树高和径级结构 由表 2 可以看出, 在演替阶段 I, 白桦、大青杨和山杨占据主导地位, 平均树高分别为 24.6、17.4 和 17.3 m, 且以中大径木 (胸径>6 cm) 的形式存在; 优势种的胸高断面积之和为 15931 cm², 占该演替阶段总胸高断面积的 84.8% .

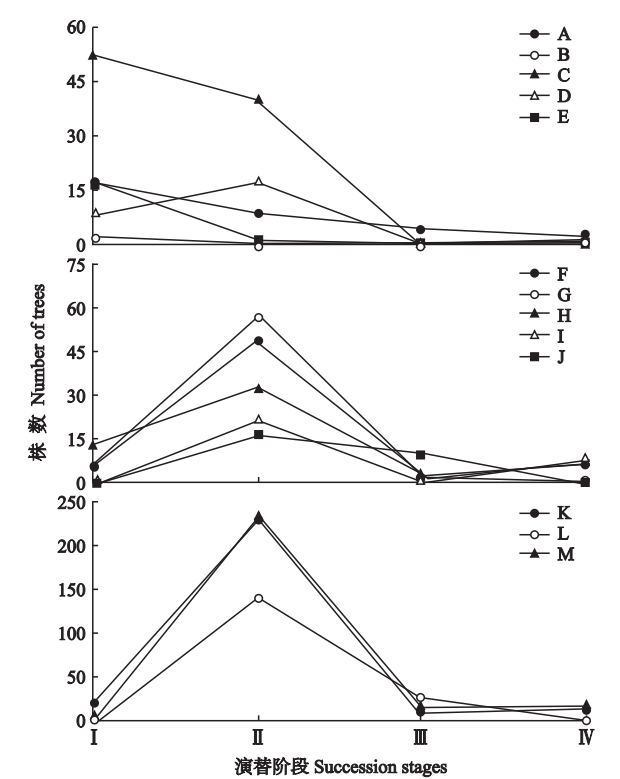


图 3 不同演替阶段优势种个体数变化
Fig.3 Number changes of dominant tree species on different succession stages.

A:水曲柳 *Fraxinus mandshurica*; B:大青杨 *Populus ussuriensis*; C:白桦 *Betula platyphylla*; D:山杨 *Populus davidiana*; E:黄檗 *Phellodendron amurense*; F:紫椴 *Tilia amurensis*; G:蒙古栎 *Quercus mongolica*; H:春榆 *Ulmus japonica*; I:拧劲槭 *Acer triflorum*; J:青楷槭 *Acer tegmentosum*; K:红松 *Pinus koraiensis*; L:假色槭 *Acer pseudo-sieboldianum*; M:色木槭 *Acer mono*. 下同 The same below.

在演替阶段 II 中, 白桦占据主导地位, 山杨在幼树 (胸径<2 cm)、小径木 (胸径介于 2 cm 和 6 cm 之间)、中大径木的分布比例为 36%、34% 和 30%, 平均树高降至 8 m, 而大青杨已退居次要地位; 优势种的胸高断面积之和为 20530 cm², 占该演替阶段群落胸高断面积总和的 70.2% .

演替阶段 III 段, 白桦、大青杨和山杨几乎不再存在, 而在前两个演替阶段中主要以幼树方式存在的红松、蒙古栎、水曲柳和紫椴迅速发展, 平均树高在 16 m 以上, 80% 以上以中大径木形式存在. 假色槭、青楷槭和色木槭也得到较大发展, 绝大部分以小径木和中大径木的形式存在, 幼树所占比例低于 5% . 优势种的总胸高断面积为 46936.6 cm², 占群落胸高断面积总和的 98.1% .

演替阶段 IV, 蒙古栎和水曲柳的重要值大大降低, 春榆和拧劲槭迅速发展, 平均树高分别为 23.7 和 17.7 m, 全部为中大径木. 红松继续保持原有的优势, 色木槭和紫椴得到部分提高. 优势种的总胸高断面积为 47434.8 cm², 占该演替阶段群落胸高断面积总和的 92.4% .

2.2.4 优势树种排序和耐阴性 乔木种的 PCA 排序的第一轴基本上反映了演替发生变化的过程. 由图 4 可以看出, 白桦、山杨、黄檗、春榆、蒙古栎和大青杨与演替时间存在负相关关系, 其中以白桦和山杨最大; 紫椴、假色槭、拧劲槭、水曲柳、青楷槭、红松和色木槭与演替时间存在正相关关系, 且以红松和色木槭最大.

从不同演替阶段优势种重要值的变化趋势 (图 4) 可见, 白桦、山杨、黄檗、春榆和大青杨相关性较大, 归为第 1 组; 假色槭、蒙古栎、青楷槭和水曲柳归为第 2 组; 红松、色木槭和紫椴、拧劲槭归为第 3 组.

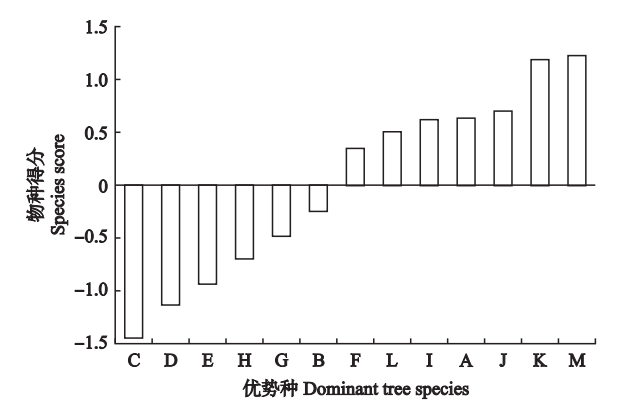


图 4 优势种在主成分分析 (PCA) 第一排序轴的得分
Fig.4 Species scores on the AX1 of principal component analysis (PCA).

表 2 各演替阶段优势种平均树高和径级
Table 2 Main tree species' average height and diameter distribution at different succession stages

优势种 Dominant species	平均树高 Average tree height (m)				幼 树 Sapling (%)				小径木 Trail wood (%)				中大径木 Middle and large wood (%)			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
白桦 <i>B. platyphylla</i>	24. 6	21	—	—	0	0	—	—	0	0	—	—	100	100	—	—
春榆 <i>U. japonica</i>	5. 1	—	—	23. 7	47. 6	—	—	0	4. 8	—	—	0	47. 6	—	—	100
大青杨 <i>P. ussuriensis</i>	17. 4	—	—	—	0	—	—	—	0	—	—	—	100	—	—	—
红松 <i>P. koraiensis</i>	5. 3	1. 6	23	25. 5	14. 8	89. 8	0	0	51. 9	8. 3	0	0	33. 3	2	100	100
黄檗 <i>P. amurens</i>	7. 3	—	—	—	14. 3	—	—	—	28. 6	—	—	—	57. 2	—	—	—
假色槭 <i>A. pseudo-sieboldianum</i>	—	2. 1	7. 7	—	—	82	2	—	—	14	39. 6	—	—	4	58. 3	—
蒙古栎 <i>Q. mongolica</i>	5. 8	4. 2	23	—	45. 5	70. 9	0	—	9	9. 1	0	—	45. 5	20	100	—
拧劲槭 <i>A. triflorum</i>	—	—	—	17. 7	—	—	—	0	—	—	—	0	—	—	—	100
青楷槭 <i>A. tegmentosum</i>	—	—	9. 2	—	—	—	0	—	—	—	100	—	—	—	0	—
色木槭 <i>A. mono</i>	7. 7	2. 5	9. 4	15	33. 3	84	3	11. 1	8. 3	9. 7	28	5. 6	58. 3	6. 3	69	83. 3
山杨 <i>P. davidiana</i>	17. 3	8	—	—	0	36	—	—	0	34	—	—	100	30	—	—
水曲柳 <i>F. mandshurica</i>	—	—	23	—	—	—	0	—	—	—	0	—	—	—	100	—
紫椴 <i>T. amurensis</i>	3. 7	5. 1	16	18. 5	57	37. 3	0	16. 7	28. 6	45. 1	16. 7	0	14. 3	17. 6	83. 3	83. 3

— 无分布 No observed.

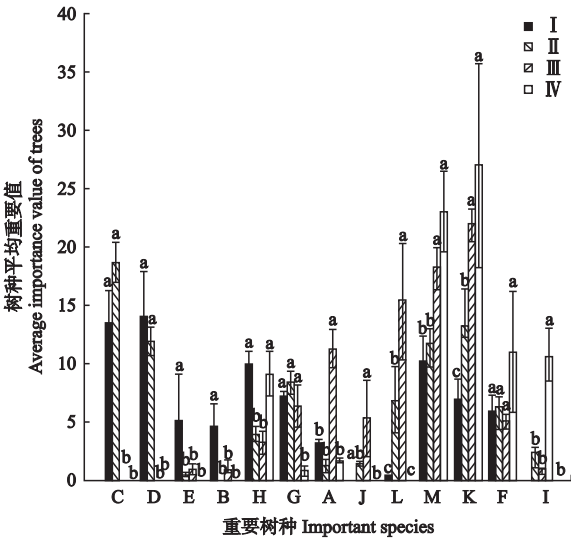


图 5 不同演替阶段各类树种的重要值分布
Fig. 5 Distribution and multiple comparison of importance value for three types tree species at different succession stages.
不同小写字母表示演替阶段间差异显著 ($P<0.05$) Different small letters meant significant difference among stages at 0.05 level.

将上述各组与树种的耐阴程度相对应,可将树种分成三大类:第 1 组属于喜光树种;第 2 组为耐阴能力低于红松的阔叶树和槭树类树种;第 3 组为耐阴能力高于红松的树种(含红松).

由图 5 可以看出,演替阶段 I 以第 1 组阳性树种占绝对优势,第 3 组次之,第 2 组只有部分分布;演替阶段 II 第 1 组树种减少,第 3 组树种增加,第 2 组树种分布较少;演替阶段 III 中,第 3 组树种在群落中占绝对优势,第 2 组树种得以发展,而第 1 组树种几乎退出演替系列;演替阶段 IV 主要由第 3 组树种

组成,其他两组树种在群落中所占比例极低.

3 讨 论

3.1 森林群落的演替变化

本研究所选演替系列中,群落的乔木种数不断减少,个体数先增加后降低,符合森林群落一般演替规律,可以代表红松阔叶林的演替发展过程.与择伐干扰^[24]相比,皆伐后长白山区乔木种丰富度和 Shannon 多样性指数变化均较小;但 Simpson 优势度指数变化趋势不同,皆伐干扰生态优势度指数的变化较小,择伐干扰后恢复前期变化大、后期变化较小.

随演替的进行,群落的树种种数不断减少,树种株数先增加后降低.样方得分与演替时间的二次拟合曲线较好地反映了 4 组调查林分随演替时间发展,到达演替顶极再衰败的过程.

3.2 不同演替阶段优势种的变化

各演替阶段优势种的总胸高断面面积排序为:演替阶段 I < 演替阶段 II < 演替阶段 III < 演替阶段 IV,最大重要值的排序为:14. 01 < 18. 68 < 21. 89 < 27. 05),说明随着演替发展,不同演替阶段优势种的优势地位不断提高;但各优势树种在群落不同演替阶段中所处的地位不同.有些树种在演替早期的地位较高,随着演替发展,其地位不断降低,进而逐渐退出演替系列.例如臭冷杉和落叶松只在演替阶段 I 存在,白桦、大青杨和山杨只在演替阶段 I 和 II 中存在.有些优势树种(如红松、色木槭、紫椴)存在于演替的各阶段,其重要性随着演替发展不断提高;

有些优势树种(如蒙古栎和水曲柳等)则变化不大^[25]. 还有些树种(如拧劲槭等)在演替的后期,其重要性地位才得到较大提升.

3.3 优势种的耐阴性分析

乔木种重要值在 PCA 排序图第一轴的得分基本上反映了森林群落演替变化过程中树种更替的规律. 白桦、山杨、黄檗、春榆、蒙古栎和大青杨与演替时间存在负相关关系,在演替的前期(演替 I、II 阶段)占据着较高的地位;紫椴、假色槭、拧劲槭、水曲柳、青楷槭、红松和色木槭与演替时间存在正相关关系,在演替的后期(演替 III、IV 阶段)占据着较高的地位. 说明森林群落不同演替阶段的优势树种数目和组成不同^[25]. 随着演替的发展,优势树种的种数不断减少. 演替前两个阶段以喜光和耐阴能力高于红松的树种为优势种,如第 1 组的白桦、山杨和大青杨在演替早期占据重要地位,随后由于存活年龄较短(<100 a)、耐阴能力差等原因而逐渐退出演替. 其中,红松和色木槭等树种凭借自身耐阴能力强、存活率高的优势,其重要性地位不断提高,成为各演替阶段都占据优势地位的树种.

植物耐阴性是由植物的遗传特性和对外部光环境变化的适应性决定的^[26]. 优势种耐阴能力的大小是引起群落和树种更替变化的重要原因之一. 这是因为森林群落在演替进程中,逐渐抑制了对光照条件要求高的树种的繁殖,为耐阴物种提供了生存条件,因此,耐阴能力强的树种取代耐阴能力弱或者喜光的树种是必然的发展趋势. 长白山红松阔叶林演替的发展基本上就是随着白桦、山杨、黄檗、春榆等阳性或者半阴性树种不断减少,紫椴、水曲柳、红松、色木槭等阴性树种不断增加的过程.

致 谢 中国科学院沈阳应用生态研究所张伟东、王晓伟和赵大昌对文章提出修改意见.

参考文献

- [1] Chapman JL, Reiss JL. Ecology: Principles and Applications. Cambridge: Cambridge University Press, 2001
- [2] Zhang Q-F (张全发), Jin Y-X (金义兴). Successional trend of distributional pattern for population in Dalao. *Journal of Wuhan Botanical Research* (武汉植物学研究), 1996, **14**(1): 41–46 (in Chinese)
- [3] Liu Y-C (刘玉成), Miao S-L (缪世利). The dynamics of communities and dominant populations, the study on secondary succession of evergreen broadleaved forests on Jinyun Mountain. *Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica* (植物生态学与地植物学学报), 1992, **16**(1): 26–35 (in Chinese)
- [4] Chen Y-R (陈艳瑞), Yin L-K (尹林克). Community composition and niche change characteristics of dominant species in the wind-breaking and sand-fixing forest, Xinjiang, China. *Chinese Journal of Plant Ecology* (植物生态学报), 2008, **32**(5): 1126–1133 (in Chinese)
- [5] Zhang G-M (张光明), Tang J-W (唐建维), Shi J-P (施济普), et al. Niche dynamics of dominant populations of *Musa acuminata* Colla pioneer community in Xishuangbanna, SW China. *Journal of Plant Resources and Environment* (植物资源与环境学报), 2000, **9**(1): 22–26 (in Chinese)
- [6] Guo Q-B (郭全邦), Ma P-A (马平安), Liu Y-C (刘玉成). The real niche of dominant populations in forest secondary sere in Mt. Jinyun. *Geography and Territorial Research* (地理学与国土研究), 1998, **14**(4): 49–51 (in Chinese)
- [7] Zhou X-Y (周先叶), Wang B-S (王伯荪), Li M-G (李鸣光), et al. Analysis of the relatedness between dominant populations and ecological factors in secondary succession of forest community in Heishiding Nature Reserve. *Journal of Tropical and Subtropical Botany* (热带亚热带植物学报), 1999, **7**(4): 267–272 (in Chinese)
- [8] Liu Y-C (刘玉成), Du D-L (杜道林), Yue Q (岳泉). Analysis of the relatedness of dominant populations and ecological factors in the secondary succession forest community of Jinyun Mountain. *Chinese Journal of Plant Ecology* (植物生态学报), 1994, **18**(3): 283–289 (in Chinese)
- [9] Yu Z-L (于振良), Dong L-R (董立荣). Summary of broadleaved Korean pine forest. *Journal of Jilin Forestry University* (吉林林业学院学报), 1996, **12**(4): 235–238 (in Chinese)
- [10] Zhang J-C (张家城), Chen L (陈力). A study on judgment and evaluation of succession situation for forest community with several dominant tree species in subtropical zone in China. *Scientia Silvae Sinicae* (林业科学), 2000, **36**(2): 116–121 (in Chinese)
- [11] Xu H-C (徐化成). Natural forest of *Pinus koraiensis* in China. Beijing: China Forestry Press, 2001 (in Chinese)
- [12] Cheng B-R (程伯容), Xu G-S (许广山), Ding G-F (丁桂芳), et al. The main soil groups and their properties of the natural reserve on northern slope of Changbai Mountain. *Research of Forest Ecosystem* (森林生态系统研究), 1981, **2**: 196–206 (in Chinese)
- [13] Hao Z-Q (郝占庆), Li B-H (李步杭), Zhang J (张健), et al. Broad-leaved Korean pine mixed forest in

- Changbaishan of China: Community composition and structure. *Chinese Journal of Plant Ecology* (植物生态学报), 2008, **32**(2): 238–250 (in Chinese)
- [14] Dai L-M (代力民), Gu H-Y (谷会岩), Shao G-F (邵国凡), *et al.* The Broad-leaved Korean Pine Mixed Forest on Changbai Mountain of China. Shenyang: Liaoning Science and Technology Press, 2004 (in Chinese)
- [15] Cox GW. Trans. Jiang Y-X (蒋有绪). Laboratory Manual of General Ecology. Beijing: Science Press, 1979 (in Chinese)
- [16] Dombois DM, Ellenberg H. Aims and Methods of Vegetation Ecology. New York: John Wiley and Sons, 1974
- [17] Oosting HJ. The Study of Plant Communities. San Francisco: Freeman, 1956
- [18] Chapman SB. Trans. Yang H-X (阳含熙). Method in Plant Ecology. Beijing: Science Press, 1980 (in Chinese)
- [19] Fang J-Y (方精云), Wang X-P (王襄平), Shen Z-H (沈泽昊), *et al.* Methods and protocols for plant community inventory. *Biodiversity Science* (生物多样性), 2009, **17**(6): 533–548 (in Chinese)
- [20] Guo L-P (郭利平), Ji L-Z (姬兰柱), Zhang W-D (张伟东), *et al.* Forest recovery state in in wind disaster area of Changbai Mountains, Northeast China. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2010, **21**(6): 1381–1388 (in Chinese)
- [21] Tan L (覃林). Complexity and Stability in the Forest Communities. PhD Thesis. Guangzhou: Sun Yat-Sen University, 2004
- [22] Zhang J-T (张金屯). Quantity Ecology. Beijing: Science Press, 2004 (in Chinese)
- [23] Braak CJF ter, Smilauer P. CANOCO Reference Manual and CanoDraw for Windows User's Guide: Software for Canonical Community Ordination Ver. 4. 5. Ithaca: Microcomputer Power, 2002
- [24] Jin Y-H (金永焕), Li D-Q (李敦求), Jiang H-X (姜好相), *et al.* Changes in species diversity of natural secondary forests after selective cutting disturbance in Changbai Mountain. *Journal of Jinlin Agricultural University* (吉林农业大学学报), 2006, **28**(1): 35–39 (in Chinese)
- [25] Zhang C-Y (张春雨), Zhao X-H (赵秀海), Zhao Y-Z (赵亚洲). Community structure in different successional stages in north temperate forests of Changbai Mountains, China. *Chinese Journal of Plant Ecology* (植物生态学报), 2009, **33**(6): 1090–1100 (in Chinese)
- [26] An F-L (安锋林), Lin W-F (林位夫). Significances of plant shade-tolerance study and its advances. *Chinese Journal of Tropical Agriculture* (热带农业科学), 2005, **25**(2): 68–72 (in Chinese)

作者简介 郭利平,女,1984年生,博士研究生.主要从事种群生态、群落生态和生态系统过程与机理模拟研究. E-mail: guolipingiae@126.com

责任编辑 李凤琴
