

# 长白山区阔叶红松林残留片段木本植物 物种组成与群落结构\*

宋厚娟<sup>1,2</sup> 叶吉<sup>1</sup> 师帅<sup>1,2</sup> 张昭臣<sup>1,2</sup> 匡旭<sup>1,2</sup> 邢丁亮<sup>1,2</sup> 原作强<sup>1</sup>  
蔺菲<sup>1,2</sup> 蔡成军<sup>3</sup> 王绪高<sup>1\*\*</sup> 郝占庆<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>中国科学院沈阳应用生态研究所森林与土壤生态国家重点实验室, 沈阳 110164; <sup>2</sup>中国科学院大学, 北京 100049; <sup>3</sup>磐石市官马林场, 吉林磐石 132300)

**摘要** 阔叶红松林是我国东北东部山区的地带性植被, 长白山区是阔叶红松林的核心分布区。由于人类活动的干扰, 目前天然阔叶红松林只在长白山和小兴安岭地区残留了一些面积不等的片段。为比较分析阔叶红松林在不同分布区的异同, 以广义长白山区阔叶红松林残留片段为研究对象, 依照巴拿马 Barro Colorado Island (BCI) 50 hm<sup>2</sup> 热带雨林样地的技术规范, 于2012年在吉林长白山自然保护区和辽宁东部山区阔叶红松林残留片段分别建立了3个固定样地, 对6个样地内胸径≥1 cm的木本植物进行定位调查。结果表明: 6个样地共记录到木本植物69种, 隶属于24科42属, 其中槭树科为6个样地物种最丰富的科, 区系组成均以北温带成分为主, 同时混有亚热带成分; 从物种多度、平均胸径、胸高断面积和重要值看, 各样地优势种明显; 6个样地所有独立个体的径级结构均呈倒“J”型, 但各样地不同径级个体比例有很大差异, 表明6个样地群落处于不同的演替阶段。各样地中重要值位于前3位物种的径级结构可分为倒“J”型、“L”型、单峰型和偏峰型4种类型; 各样地主要树种随物种、径级的变化呈现出不同的空间分布格局, 同一物种在不同样地的分布格局也表现出一定的差异。

**关键词** 长白山区 阔叶红松林 物种组成 径级结构 空间分布

文章编号 1001-9332(2014)05-1239-11 中图分类号 S718.5 文献标识码 A

**Woody plant species composition and community structure in residual fragments of broad-leaved Korean pine mixed forests in Changbai Mountains area.** SONG Hou-juan<sup>1,2</sup>, YE Ji<sup>1</sup>, SHI Shuai<sup>1,2</sup>, ZHANG Zhao-chen<sup>1,2</sup>, KUANG Xu<sup>1,2</sup>, XING Ding-liang<sup>1,2</sup>, YUAN Zuo-qiang<sup>1</sup>, LIN Fei<sup>1,2</sup>, WANG Xu-gao<sup>1</sup>, HAO Zhan-qing<sup>1</sup> (<sup>1</sup>State Key Laboratory of Forest and Soil Ecology, Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110164, China; <sup>2</sup>University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; <sup>3</sup>Guanma Forest Farm, Panshi 132300, Jilin, China). -*Chin. J. Appl. Ecol.*, 2014, 25(5): 1239-1249.

**Abstract:** The broad-leaved Korean pine mixed forest represents the typical vegetation type of the eastern mountain area in Northeast China. However, due to the interference of human activities, the natural broad-leaved Korean pine forest only distributes in some residual fragments with unequal areas in Changbai Mountains and Small Hinggan Mountains. To compare and analyze the similarities and differences of broad-leaved Korean pine mixed forests in the different areas, we established six forest plots following the field protocol of the 50 hm<sup>2</sup> forest plot in Panama (Barro Colorado Island, BCI) in 2012 in Changbai Mountain National Nature Reserve in Jilin Province and the eastern mountain area in Liaoning Province. All free-standing plant species with DBH (diameter at breast height) ≥1 cm were mapped, tagged and identified to species. The results showed that there were 69 woody species in the six plots, comprising 42 genera and 24 families. Aceraceae was the most species-rich family in all six plots. Most species belonged to the plant type of North Temperate Zone, with a minor subtropical plant species component. The statistics of species abundance, basal area, mean DBH, and importance value showed that there were obviously dominant species in each

\* 国家科技基础性工作专项(2012FY112000)和国家自然科学基金项目(41101188, 31100447)资助。

\*\* 通讯作者。E-mail: wxg\_7980@163.com

2013-07-03 收稿, 2014-02-18 接受。

community. The DBH distribution of all individuals showed a reversed "J" type. However, the percentage of individuals in small size-class and large size-class varied in the six communities, which indicated that these communities were at different successional stages. Ranked by the importance value, the DBH distribution of the top three species in the six plots showed four distribution types: reversed "J" distribution, reversed "L" distribution, unimodal distribution, and partial peak distribution. Spatial distribution patterns of the main species in the six plots changed differently with species and size-class, and the distribution patterns of the same species varied in the different plots.

**Key words:** Changbai Mountain; broad-leaved Korean pine mixed forest; species composition; tree size distribution; spatial distribution.

DOI:10.13287/j.1001-9332.2014.0003

阔叶红松林是我国东北温带针阔混交林区的典型植被类型,分布于我国东北东部的长白山、完达山和小兴安岭, ( $49^{\circ} 20' - 40^{\circ} 40' N$ ,  $134^{\circ} - 124^{\circ} 45' E$ )<sup>[1]</sup>,其中长白山区是阔叶红松林的核心分布区<sup>[2]</sup>.阔叶红松林区受海面陷落、冰期和间冰期时代的气候和环境变化的影响,物种进行了大尺度的迁移,如冰期时代西伯利亚的寒地植物由北向南移动,间冰期时代植物由南向北退却,南北相互渗透.独特的进化与演变历史导致阔叶红松林区具有丰富的生物多样性<sup>[3]</sup>,是研究生物多样性形成与维持机制的关键区域.

阔叶红松林群落结构复杂,自20世纪50年代以来,许多学者对其组成与结构<sup>[2,4-6]</sup>、更新及演替<sup>[7-9]</sup>、主要树种的分格局<sup>[5,10-14]</sup>等方面进行了广泛研究.因各方面条件的限制,以往的研究主要集中于长白山自然保护区,虽然近年来对小兴安岭阔叶红松林的研究逐渐增多,但对分布区南端的辽东(以下简称辽东)山区阔叶红松林的研究较少.另外,对阔叶红松林的物种组成与群落结构的研究多集中于某一样地,有关阔叶红松林在不同地理分布区的对比研究较少.

群落作为生物多样性的基本载体之一,群落的组成与结构为研究物种共存机制提供了重要信息<sup>[15-16]</sup>.固定样地的建设为研究群落结构、物种共存机制和生物多样性保护提供了很好的平台<sup>[17-19]</sup>.近一个多世纪以来,由于人类活动的干扰,原始阔叶红松林的面积急剧缩小<sup>[20]</sup>,阔叶红松林呈显著的斑块性分布.辽东山区为阔叶红松林分布的最南端.因此,在东北阔叶红松林残留片段内建立固定样地进行动态监测,对不同地区阔叶红松林的物种组成、群落特征、空间格局等进行对比分析是十分必要的.

基于此,以广义长白山区阔叶红松林残留片段为研究对象,参照巴拿马巴洛科罗拉多岛(Barro Colorado Island, BCI) 50 hm<sup>2</sup>热带雨林样地的技术规范,于2012年在吉林和辽东的长白山区,分别建立

了3块阔叶红松林自然群落残留片段样地,对6个样地进行了调查和取样.本文对6个样地的物种组成、区系特征、径级结构和主要树种的空间分布进行了分析和对比,以期阔叶红松林生物多样性的保护提供科学依据.

## 1 研究地区与研究方法

### 1.1 研究区概况

长白山区有广义与狭义之分,广义长白山一般指长白山系,即中国东北部和朝鲜北部山地高原的总称<sup>[21]</sup>,在中国主要包括长白山主脉、千山山脉、龙岗山脉、威虎岭、张广才岭等多个分支;狭义的长白山则特指长白山旅游区<sup>[21]</sup>.本文研究区域为广义长白山区.

长白山区的核心区为吉林境内的长白山.吉林长白山位于中国东北吉林省东南部的中朝交界处,是中国东北地区松花江、鸭绿江和图们江3大河流的发源地.由于特殊的自然条件及历史、社会原因,使得长白山成为我国乃至全球自然生态系统保存最为完整的地区之一<sup>[22]</sup>.该区属于温带大陆性季风气候,冬季寒冷而漫长,夏季温暖多雨且短暂.气候随海拔高度的变化较大,山脚表现出典型的暖温带气候,山顶表现出复杂、多变的近极地气候<sup>[23]</sup>.巨大的海拔差异导致了水热条件的不同,从而形成了从下至上明显的环境梯度,造就了长白山类型多样的自然植被<sup>[22]</sup>.南北植物种渗入,为该样地添加了亚热带和亚寒带的特色.

长白山区的南端为辽东山区,是长白山脉向南的延伸.辽东山区包括铁岭-营口线以东的山地丘陵地区,组成本区的山脉均为东北-西南走向,自北向南有大黑山、吉林哈达岭山脉、龙岗支脉、千山山脉和老爷岭山脉,地势由北向南逐渐升高,东北-西南走向的山脉便于植物的相互渗透<sup>[24-25]</sup>.本区属于温带湿润的季风气候,冬季比较寒冷,夏季多雨且短暂.土壤多为棕色森林土和暗棕色森林土.全区植物

属长白植物区系,地带性植物群落为以红松为主的针阔混交林,目前绝大部分已演变为天然次生林<sup>[26]</sup>。受第四纪冰期强烈融冻作用的影响,该区形成了很多乱石窖地貌,乱石窖地貌具有特殊的水、热条件,对该地区的植被分布具有一定影响<sup>[24]</sup>。

## 1.2 样地概况

经卫星图片数据、林业部门资料以及实地踏查,沿纬度梯度建立了6块样地。6个样地沿纬度由南向北依次为白石砬子、老秃顶、清原、松江河、西坡和露水河(表1),前3个样地位于长白山区南端的辽东山区,后3个样地位于吉林长白山核心区。其中,白石砬子和老秃顶样地人为干扰较少,动植物种类丰富;2个样地均经过漫长的地质发育,地形复杂,老秃顶样地更是具有典型的“跳石塘”地貌。而清原样地近一个世纪以来受到剧烈的人为干扰,森林植被的顶极群落仅残留小面积的阔叶红松林。长白山的3个样地位于保护区内,具有完整的森林生态系统,受到人为干扰较少。

受地形及群落面积等限制,6个样地的面积大小不一,前3个样地的面积分别为0.8、0.6和0.5 hm<sup>2</sup>,后3个样地的面积均为1 hm<sup>2</sup>。6个样地海拔梯度较大,海拔最低的样地为露水河样地(723.6~731.5 m),海拔最高的样地为松江河样地(1016~1024 m)。长白山保护区内3个样地地势较为平缓,最大的高差为松江河样地,仅为8.0 m,而辽东山区3个样地的地势陡峭,高差最大的清原样地达到44.2 m,老秃顶样地和白石砬子样地的高差分别为40.8和42.0 m,且3个样地内石头较多,环境复杂。

## 1.3 样方设置

采用与BCI 50 hm<sup>2</sup>样地相同的技术规范,用全站仪将样地分成若干个20 m×20 m样方,再将每个20 m×20 m样方分成16个5 m×5 m的小样方。对样方内所有胸径≥1 cm木本植物进行详细的调查、测量、定位并挂牌。

## 1.4 数据处理

物种的地理区系参考吴征镒<sup>[26]</sup>属级类型的分

类标准。稀有种为平均每公顷个体数≤1的物种<sup>[27]</sup>。各样地物种重要值<sup>[28]</sup>=(相对频度+相对多度+相对优势度)/3,相对频度的取样样方为20 m。径级分布图采用的径级间隔大小为2 cm。各样地主要树种的径级(diameter at breast height, DBH)划分为1 cm≤DBH<10 cm、10 cm≤DBH<30 cm、和DBH≥30 cm 3个范围。种-面积曲线采用随机取样,并用幂函数 $S=cA^z$ 拟合。群落共有度为2个群落共有种的数目占两群落物种总数的百分比,采用Jaccard指数<sup>[29]</sup>计算。采用R 2.15.0和Excel 2010软件进行数据统计和作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 物种组成与区系特征

6个样地共记录到木本植物69种,隶属于24科42属,其中共有物种16种,隶属于10科11属。6个样地物种最丰富的科均为槭树科,其次是蔷薇科。各样地物种数为33~44,老秃顶样地木本植物物种数最多,达44种(表2)。6个样地木本植物包括7个分布型和2个亚型(表3),区系组成均以北温带成分为主;白石砬子样地和老秃顶样地的植物区系特征最显著,均为6个分布型和2个亚型;世界分布型只有鼠李属,旧世界热带分布型只有八角枫属,旧世界温带分布型只有丁香属,泛热带分布型只有卫矛属。

从物种多度来看,6个样地从南到北个体数最多的物种依次为天女木兰(*Magnolia sieboldii*)、暴马丁香(*Syringa reticulata*)、假色槭(*Acer pseudo-sieboldianum*)、臭冷杉(*Abies nephrolepis*)、鱼鳞云杉(*Picea jezoensis* var. *komarovii*)和色木槭(*A. mono*),其中,除天女木兰和假色槭为小乔木树种外,其他均为乔木树种。6个样地从南到北稀有种的个数依次为7、8、14、4、2、5。松江河样地的稀有种最多,占总物种数的比例最大;虽然老秃顶样地物种数最多,但其稀有种数最少。

从平均胸径来看,露水河样地所有木本植物个

表1 长白山区6个阔叶红松林样地基本地理信息

Table 1 Basic geographic information of six broad-leaved Korean pine forest plots in Changbai Mountains area

样地名称 Name of plot	样地编号 Code of plot	面积 Area (m <sup>2</sup> )	纬度 Latitude	经度 Longitude	海拔 Altitude (m)	高差 Dispersion (m)
白石砬子 Baishilazi	A	80×100	40°54' N	124°47' E	812.0~854.0	42.0
老秃顶 Laotuding	B	100×60	41°19' N	124°54' E	871.8~912.6	40.8
清原 Qingyuan	C	50×100	41°49' N	124°54' E	893.1~937.3	44.2
松江河 Songjianghe	I	100×100	42°12' N	127°54' E	1016.0~1024.0	8.0
西坡 Xipo	H	100×100	42°14' N	127°52' E	996.3~1003.7	7.4
露水河 Lushuihe	J	100×100	42°28' N	127°51' E	723.6~731.5	7.9

表 2 长白山区 6 个阔叶红松林样地基本物种组成信息

Table 2 Basic species composition in six broad-leaved Korean pine forest plots in Changbai Mountains area

样地名称 Name of plot	物种数 Number of species	科属信息 Family and genera	独立个体数 Number of individuals	平均胸径 Mean DBH (cm)	胸高断面积 Basal area (m <sup>2</sup> · hm <sup>-2</sup> )
白石砬子 Baishilazi	41	20 科 29 属	1436	9.80	28.63
老秃顶 Laotuding	44	19 科 27 属	1699	8.13	28.22
清原 Qingyuan	34	18 科 24 属	978	10.73	33.37
松江河 Songjianghe	38	16 科 24 属	1640	10.65	40.79
西坡 Xipo	33	17 科 22 属	1946	9.81	43.31
露水河 Lushuihe	35	18 科 26 属	1150	12.72	45.94

表 3 长白山区 6 个阔叶红松林样地木本植物群落种子植物属的分布区类型

Table 3 Distribution areal types of spermatophyte in the six broad-leaved Korean pine forest plots in Changbai Mountains area

分布区类型 Areal-type	白石砬子 Baishilazi	老秃顶 Laotuding	清原 Qingyuan	松江河 Songjianghe	西坡 Xipo	露水河 Lushuihe
世界分布 Cosmopolitan distribution	0(0)	1(3.9)	0(0)	1(4.2)	0(0)	0(0)
泛热带分布 Pantropic distribution	1(3.3)	1(3.9)	1(4.2)	1(4.2)	1(4.6)	1(3.9)
旧世界热带分布 Old world tropics distribution	1(3.3)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)
北温带分布 North temperate distribution	17(56.7)	18(69.2)	17(70.8)	17(70.8)	16(77.3)	16(61.5)
北温带和南温带间断分布“全温带” N. Temp. & S. Temp. disjuncted(“Pan-temperate”)	2(6.7)	1(3.9)	0(0)	1(4.2)	0(0)	2(7.7)
东亚和北美洲间断分布 E. Asia & N. Amer. disjuncted distribution	4(13.3)	1(3.9)	1(4.2)	1(4.2)	0(0)	1(3.9)
旧世界温带分布 Old world temperate distribution	1(3.3)	1(3.9)	1(4.2)	0(0)	0(0)	1(3.9)
东亚分布 East Asia distribution	2(6.7)	2(7.7)	3(12.5)	2(8.3)	3(13.6)	4(15.4)
中国-日本分布 Sin-Japan (SJ) distribution	2(6.7)	1(3.9)	1(4.2)	1(4.2)	1(4.6)	1(3.9)
合计 Total	30(100)	26(100)	24(100)	24(100)	22(100)	26(100)

括号中数字为属数百分比 Data in parentheses was the percentage of genera.

体的平均胸径最大。虽然清原样地个体数最少,但是其平均胸径为 10.73 cm,仅次于露水河样地和松江河样地。6 个样地从南到北平均胸径最大的物种依次为黄檗 (*Phellodendron amurense*) 22.36 cm、斑叶稠李 (*Padus maackii*) 20.12 cm、蒙古栎 (*Quercus mongolica*) 29.78 cm、大青杨 (*Populus ussuriensis*) 79.43 cm、蒙古栎 58.22 cm 和香杨 (*P. koreana*) 152.00 cm。虽然这 6 个树种的平均胸径最大,但除斑叶稠李外,其他 5 个物种的个体数均较少,露水河样地的大青杨仅有 1 个个体。斑叶稠李是老秃顶样地唯一平均胸径 >20 cm 的物种,且其个体数仅次于个体数最多的暴马丁香。对长白山保护区内 3 个样地的红松进行分析发现,西坡样地红松的平均胸径为 46.18 cm,仅次于该样地的蒙古栎,但个体数明显多于蒙古栎;露水河样地红松的平均胸径为 49.97 cm,仅次于香杨和水曲柳 (*Fraxinus mandshurica*),但其个体数远大于香杨和水曲柳,由此可见 2 个样地的红松在主林层占优势地位。

从胸高断面积来看,6 个样地胸高断面积最大的为露水河样地,达到 45.94 m<sup>2</sup> · hm<sup>-2</sup>,最小的为老秃顶样地,仅为 28.22 m<sup>2</sup> · hm<sup>-2</sup>。长白山保护区

内 3 个样地的胸高断面积均显著大于辽东山区 3 个样地;辽东山区 3 个样地中,清原样地的胸高断面积显著大于其他 2 个样地。6 个样地从南到北胸高断面积最大的物种依次是硕桦 (*Betula costata*) 8.30 m<sup>2</sup> · hm<sup>-2</sup>、斑叶稠李 10.49 m<sup>2</sup> · hm<sup>-2</sup>、蒙古栎 8.12 m<sup>2</sup> · hm<sup>-2</sup>、红松 14.15 m<sup>2</sup> · hm<sup>-2</sup>、蒙古栎 9.00 m<sup>2</sup> · hm<sup>-2</sup> 和红松 22.43 m<sup>2</sup> · hm<sup>-2</sup>,其胸高断面积依次占总胸高断面积的 53.3%、19.6%、32.7%、24.4%、37.2% 和 18.1%。6 个样地从南到北胸高断面积 >1 m<sup>2</sup> · hm<sup>-2</sup> 的树种的胸高断面积之和分别占总胸高断面积的 91.7%、90.8%、94.2%、89.5%、72.5% 和 88.9%。

从重要值来看,6 个样地从南到北重要值 >1 的物种数分别为 16、17、15、11、14 和 14。与胸高断面积一样,西坡样地和露水河样地重要值最大的树种均为红松,分别为 12.15 和 19.08。辽东山区 3 个样地重要值最大的树种有很大的差异,从南到北分别为硕桦 8.07、斑叶稠李 16.00 和假色槭 11.66。从物种多度、平均胸径和胸高断面积可以看出:个体数多、平均胸径和胸高断面积大的树种主要是各样地

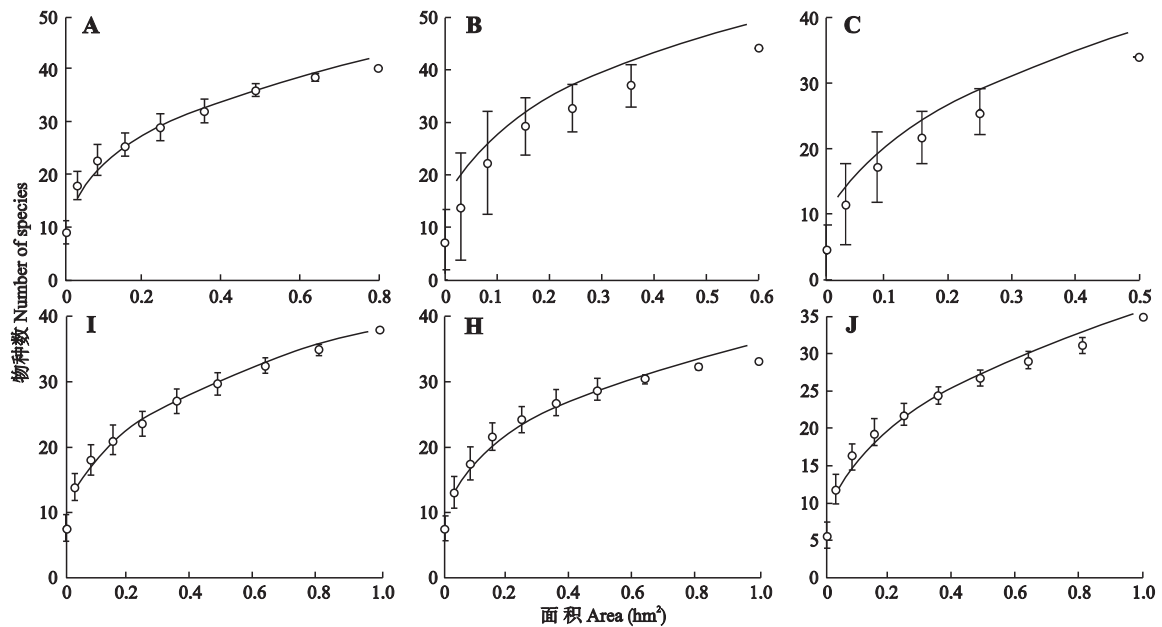


图 1 长白山区 6 个阔叶红松林样地种-面积曲线

Fig. 1 Species-area curve of six broad-leaved Korean pine forest plots in Changbai Mountains area.

A: 白石砬子 Baishilizi; B: 老秃顶 Laotuding; C: 清原 Qingyuan; I: 松江河 Songjianghe; H: 西坡 Xipo; J: 露水河 Lushuihe. 下同 The same below.

主林层的乔木树种,如水曲柳、斑叶稠李、紫椴、蒙古栎和红松等,而一些物种个体数较多,但平均胸径和胸高断面积较小的树种,主要是林下灌木层的优势物种,如毛榛 (*Corylus mandshurica*)、簇毛槭 (*A. barbinerve*) 和天女木兰等。

从图 1 可以看出 6 个样地种-面积曲线的斜率均随取样面积的增加而降低,利用幂函数  $S = cA^z$  对白石砬子、老秃顶、清原、松江河、西坡、露水河 6 个样地的种-面积曲线进行拟合,其  $z$  值分别为 0.32、0.33、0.39、0.33、0.32、0.37。幂函数对松江河样地的种-面积曲线拟合最好;清原样地的  $z$  值最大,表明该样地的物种数随取样面积的变化程度最大。

从表 4 可以看出,松江河样地与西坡样地木本

植物种共有度最大,为 65.1%,其次是白石砬子样地与老秃顶样地、白石砬子样地与清原样地。除了松江河样地与西坡样地的共有度外,辽东山区 3 个样地之间的共有度值均显著大于长白山保护区内各样地之间的共有度。辽东山区 3 个样地与长白山保护区内 3 个样地之间的木本植物种共有度相对较小,但清原样地与辽东山区其他 2 个样地相比,与西坡样地和露水河样地的木本植物种共有度相对较大。

### 2.2 径级结构

6 个样地所有个体的径级结构均呈倒“J”型(图 2)。各样地的径级范围具有很大差异,径级范围最大的为露水河样地,最大胸径达 152 cm。总体上,长白山保护区内 3 个样地的径级范围大于辽东山区 3 个样地。辽东山区 3 个样地从南到北胸径 > 30 cm 的个体数分别为 79 (占 5.5%)、31 (占 1.8%) 和 63 (占 6.4%),而长白山保护区内 3 个样地从南到北分别为 150 (占 9.2%)、156 (占 8.0%) 和 147 (占 12.8%)。

对 6 个样地重要值位于前 3 的乔木树种的径级结构进行分析发现,同一物种在不同样地的径级结构存在很大差异(图 3)。6 个样地主要树种的径级结构表现为倒“J”型、“L”型、单峰型和偏峰型 4 种类型,以倒“J”型为主。露水河和西坡样地的红松、清原样地蒙古栎为单峰型分布,且主要为  $DBH \geq 30$  cm 的个体。“L”型分布的仅有老秃顶样地的暴马丁

表 4 长白山区 6 个阔叶红松林群落木本植物种共有度

Table 4 Co-possession of woody plant species among six broad-leaved Korean pine forest communities in Changbai Mountains area (%)

	白石砬子 Baishilazi	老秃顶 Laotuding	清原 Qingyuan	松江河 Songjianghe	西坡 Xipo
老秃顶 Laotuding	64.7				
清原 Qingyuan	60.9	59.2			
松江河 Songjianghe	41.8	49.1	46.9		
西坡 Xipo	43.1	42.6	55.8	65.1	
露水河 Lushuihe	44.2	43.6	53.3	49.0	51.1

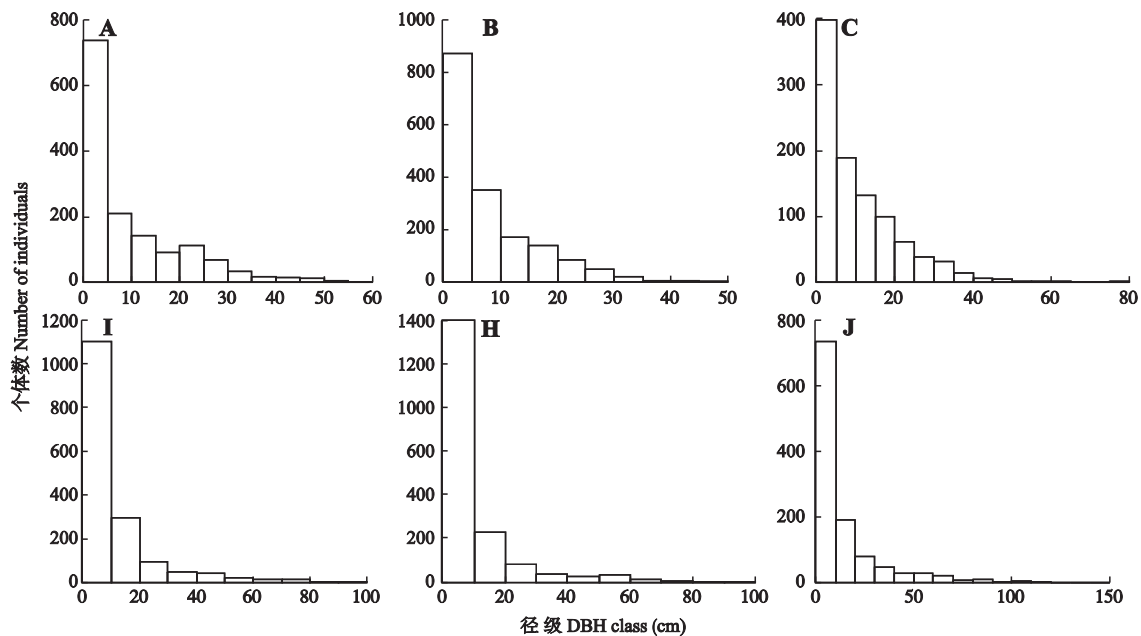


图2 长白山区6个阔叶红松林样地所有木本植物的径级分布图

Fig. 2 Species size-class distribution of all woody plants in six broad-leaved Korean pine forest plots in Changbai Mountains area.

香、白石砬子的硕桦和松江河的臭冷杉为偏峰型分布,主要为小径级和中径级个体。露水河样地紫椴、松江河样地蒙古栎、老秃顶样地斑叶稠李和白石砬子样地色木槭的径级结构为近似单峰型分布,其中紫椴  $DBH \geq 30$  cm 的个体较多,  $1 \text{ cm} \leq DBH < 10$  cm 的个体数明显减少,而且出现了间断现象。松江河样地蒙古栎与清原样地的蒙古栎一样,  $DBH \geq 30$  cm 的个体较多(占 85.3%)。其余物种的径级结构均为倒“J”型,小树多,大树少,主要为  $1 \text{ cm} \leq DBH < 10$  cm 和  $10 \text{ cm} \leq DBH < 30$  cm 2 个径级范围的个体。清原样地的假色槭和千金榆均没有  $DBH \geq 30$  cm 的个体。

### 2.3 主要树种的空间分布格局

对6个样地重要值位于前3的乔木树种3个不同径级的空间分布进行分析发现,各样地主要树种的空间分布格局随径级的变化表现出不同的格局(图4)。松江河样地臭冷杉  $1 \text{ cm} \leq DBH < 10$  cm 的个体大部分围绕  $10 \text{ cm} \leq DBH < 30$  cm 个体分布,表现出轻度聚集。清原样地千金榆  $1 \text{ cm} \leq DBH < 10$  cm 和  $10 \text{ cm} \leq DBH < 30$  cm 的个体呈交叉分布。老秃顶样地暴马丁香  $1 \text{ cm} \leq DBH < 10$  cm 和  $10 \text{ cm} \leq DBH < 30$  cm 个体的空间分布显著不同,  $1 \text{ cm} \leq DBH < 10$  cm 的个体数量较多且在样地内均有分布,样地的南部分布相对较少,而  $10 \text{ cm} \leq DBH < 30$  cm 个体仅有10个,且均分布于样地的东南部。紫椴  $1 \text{ cm} \leq DBH < 10$  cm 的个体主要分布在样地的北部。白石砬子样地假色槭和露水河样地色木槭  $1 \text{ cm} \leq DBH < 10$  cm

的个体在样地内呈斑块性分布。

很多物种的空间分布与地形因子相关。白石砬子样地硕桦  $10 \text{ cm} \leq DBH < 30$  cm 的个体和松江河紫椴  $1 \text{ cm} \leq DBH < 10$  cm 的个体主要分布在样地低海拔地区。老秃顶样地斑叶稠李  $10 \text{ cm} \leq DBH < 30$  cm 的个体、清原样地假色槭  $1 \text{ cm} \leq DBH < 10$  cm 的个体、蒙古栎  $10 \text{ cm} \leq DBH < 30$  cm 和  $DBH \geq 30$  cm 的个体以及白石砬子样地的色木槭在样地高海拔地方呈明显的聚集分布。西坡样地鱼鳞云杉  $10 \text{ cm} \leq DBH < 30$  cm 的个体主要分布在样地的西部和中部,且在样地中部聚集。

露水河和西坡样地的红松、露水河样地的紫椴、西坡样地的臭冷杉、松江河样地的蒙古栎在样地内没有明显空间分布特征。

## 3 讨论

### 3.1 物种组成与区系特征

通过对6个阔叶红松林残留片段样地物种组成与群落结构的分析,发现从物种组成与区系特征上看,6个样地区系特征明显,均以北温带成分为主,间冰期和冰期代表物种较多;6个样地物种组成丰富,优势树种明显。物种数最少的样地为33个种,最多的达44个种。6个样地在物种组成上既有较多的共有物种,又存在较大差异,6个样地共有种为16种,辽东山区3个样地共有种数达27种,长白山保护区内3个样地共有种数为19种。通过对6个群落

木本植物共有度计算可知, 海拔差小的样地间, 群落间的共有度大; 海拔相差较大的样地间, 群落的共有度相对较小, 且海拔相差最小的群落间共有度最大,

这与长白山北坡植物群落间物种共有度的海拔梯度变化的研究结果一致<sup>[30]</sup>.

与小兴安岭凉水典型阔叶红松林<sup>[6]</sup>和长白山

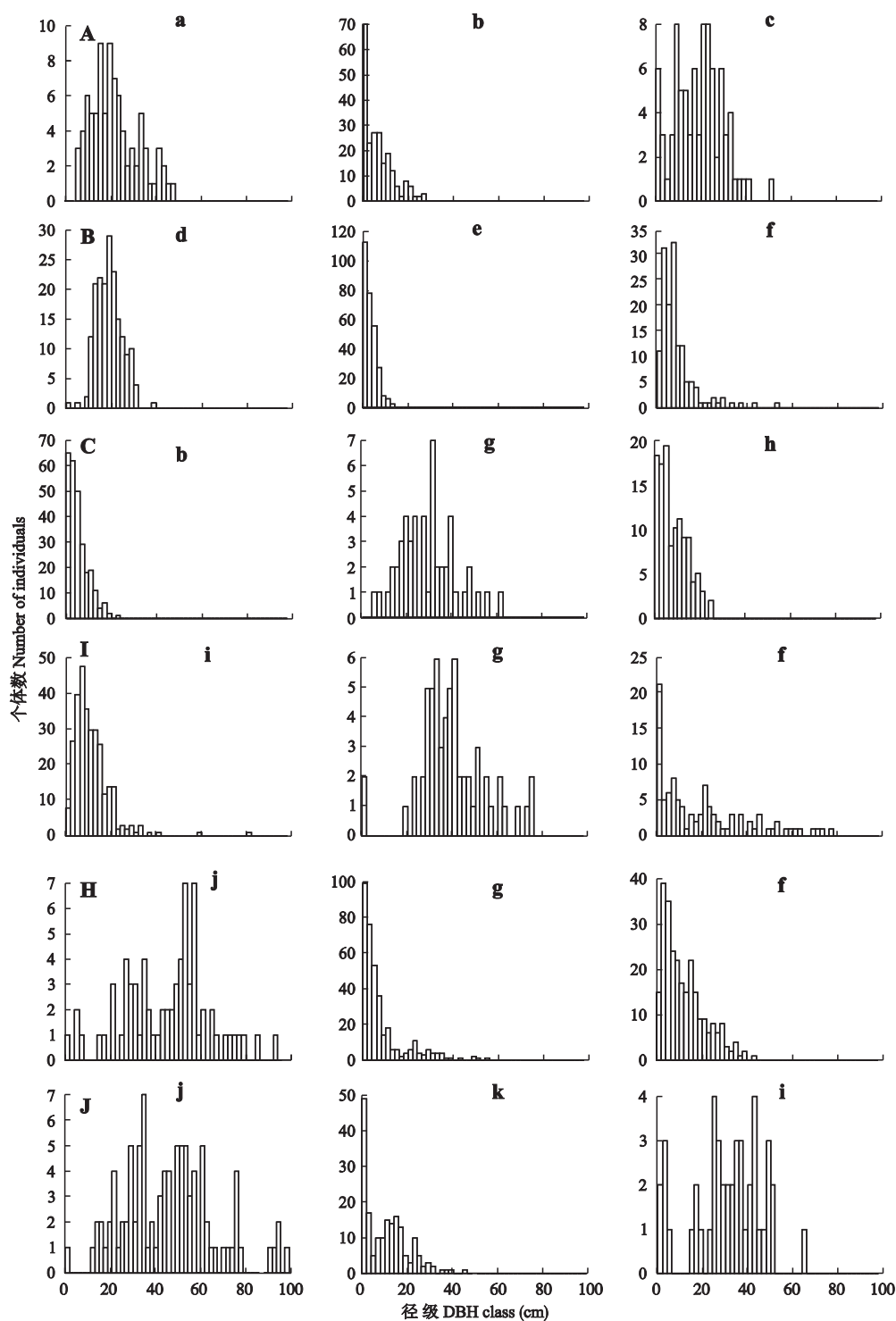


图3 长白山区6个阔叶红松林样地重要值位于前3位的乔木的径级结构

**Fig. 3** Species size-class distribution of the top three tree species ranked by importance value in six broad-leaved Korean pine forest plots in Changbai Mountains area.

a) 硕桦 *Betula costata*; b) 假色槭 *Acer pseudo-sieboldianum*; c) 色木槭 *Acer mono*; d) 斑叶稠李 *Padus maackii*; e) 暴马丁香 *Syringa reticulata*; f) 紫椴 *Tilia amurensis*; g) 蒙古栎 *Quercus mongolica*; h) 千金榆 *Carpinus cordata*; i) 臭冷杉 *Abies nephrolepis*; j) 红松 *Pinus koraiensis*; k) 鱼鳞云杉 *Picea jezoensis* var. *microsperma*. 下同 The same below.

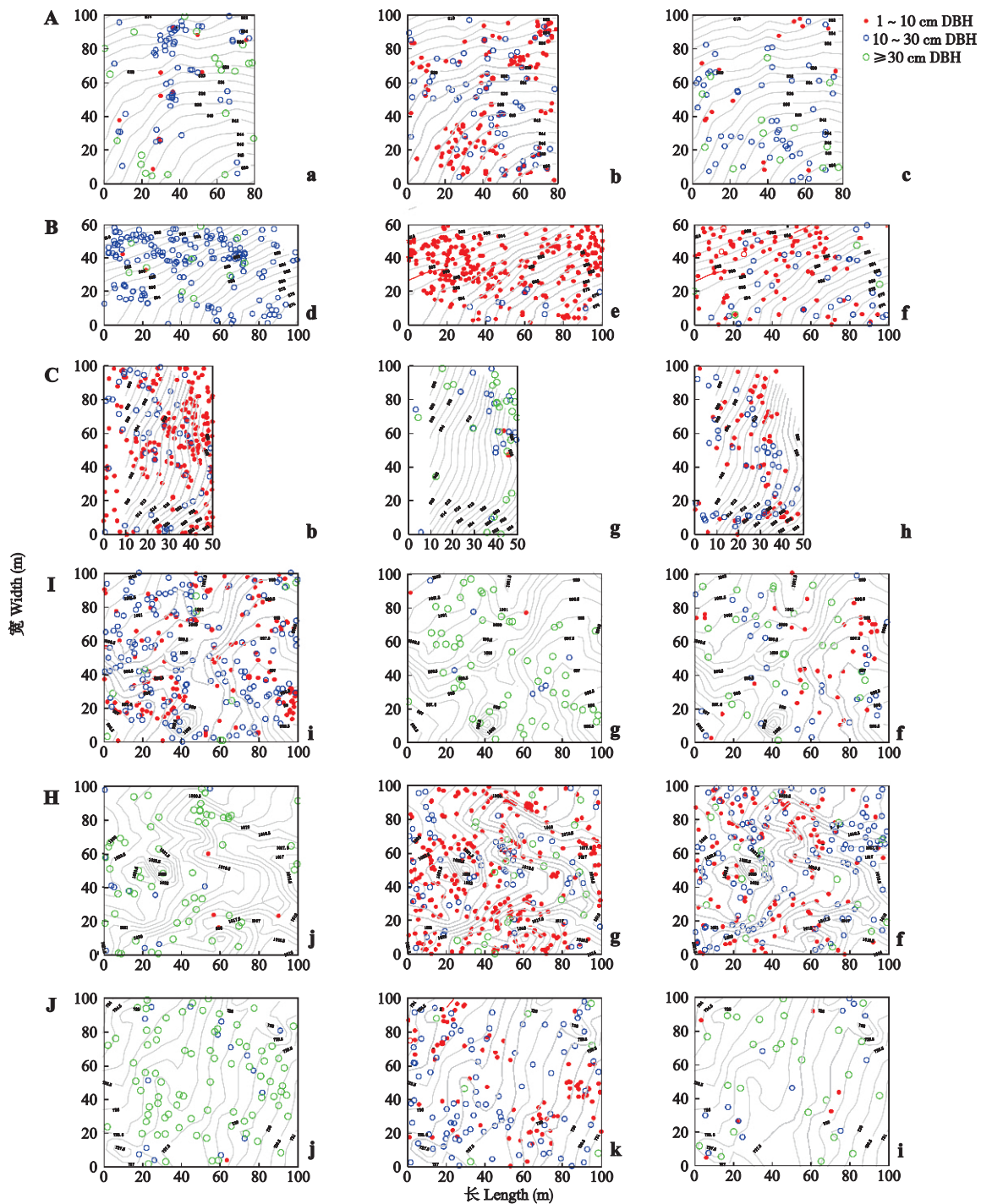


图4 长白山区6个阔叶红松林样地重要值位于前3位的乔木径级空间分布

Fig. 4 Spatial distribution pattern of the top three trees ranked by importance value at three DBH classes in six broad-leaved Korean pine forest plots in Changbai Mountains area.

阔叶红松林样地(CBS)<sup>[2]</sup>相比,凉水样地的11个物种和CBS样地的7个物种在这6个样地内没有出现;而这6个样地内有16个物种在凉水样地和CBS样地没有出现,其中,八角枫(*Alangium chinense*)、灯台树(*Bothrocaryum controversum*)、天女木兰、千金榆等10个物种仅在辽东山区3个样地内出现。6个样

地中,有的物种虽仅在个别样地内出现,但其并不是该样地的特有种,因为在CBS和凉水样地均有生长<sup>[2,6]</sup>。如光萼溲疏(*Deutzia glabrata*)、山杨(*Populus davidiana*)和龙牙楸木(*Aralia elata*)等。

自第四纪以来,地面陷落、冰期时代和间冰期时代的环境变化,导致了东北植物分布的变化。白石砬



子样地的刺楸(*Kalopanax septemlobus*)为间冰期时代的子遗种,白石砬子样地和老秃顶样地的天女木兰为冰期时代的子遗种,因其繁殖能力较弱,现仅分布在辽东的凤凰山一带;红松、春榆、黄檗、鱼鳞云杉和红皮云杉(*Picea koraiensis*)为第三纪子遗物种,另外狗枣猕猴桃(*Actinidia kolomikta*)和软枣猕猴桃(*A. arguta*)为华中区间冰期植物的代表<sup>[3]</sup>,使阔叶红松林混有了亚热带成分。

对多度、平均胸径、胸高断面积和重要值的综合分析表明,长白山保护区内3个样地木本植物的胸高断面积显著高于辽东山区3个样地;露水河和清原样地的个体数相对较少,但平均胸径和胸高断面积相对较大,说明该样地中大径级个体较多。红松已经成为吉林长白山保护区3个样地和辽东山区清原样地的建群种,在群落中占有绝对优势;红松在这4个样地中个体数相差不大,但平均胸径和胸高断面积相差较大,露水河样地和西坡样地的红松已成为群落的建群种。各样地的伴生阔叶树种有很大差异,紫椴、簇毛槭和假色槭是6个样地共有的主要伴生阔叶树种;辽东山区3个样地中,斑叶稠李为白石砬子样地和老秃顶样地特有的伴生阔叶树种;千金榆为清原样地特有的伴生树种,天女木兰为白石砬子样地与老秃顶样地共有的伴生阔叶树种;吉林长白山保护区内3个样地主要以白牛槭、假色槭等槭属树种为伴生阔叶树种。

### 3.2 径级结构

对6个样地所有个体的径级结构分析表明,6个样地所有个体的径级结构呈倒“J”型,但各样地不同径级个体比例有很大差异,表明各样地群落处于不同的演替或发育阶段。各样地径级较小的个体主要是一些林下层的物种,如簇毛槭、暴马丁香和毛榛等。长白山保护区内3个样地各径级之间的个体数差异较辽东山区3个样地大。从各样地重要值前3位物种的径级分布特征可以看出,径级结构主要表现为倒“J”型、“L”型、单峰型和偏峰型4种类型,倒“J”型分布经常被描述为天然林在没有干扰或者代表性样方中平均干扰尺度上出现的一种自然属性<sup>[31]</sup>,径级分布呈倒“J”型的物种在演替过程中的竞争能力更强<sup>[32]</sup>。同一物种在不同样地的径级分布存在很大差异。

6个样地的所有树种的平均胸径均大于凉水样地(7.41 cm)<sup>[6]</sup>,白石砬子样地、老秃顶样地和西坡样地的平均胸径小于CBS样地(10.25 cm)<sup>[2]</sup>,其他3个样地的平均胸径均大于CBS样地。在6个样地

的主要树种中,针叶树种红松主要为大径级个体,臭冷杉和鱼鳞云杉主要是小径级和中径级个体;主要阔叶树种紫椴在露水河样地主要为大径级个体,在老秃顶主要为小径级和中径级个体;色木槭在露水河样地主要为小径级和中径级个体,而在白石砬子主要为中径级和大径级个体;蒙古栎主要为大径级个体。与凉水和CBS样地相比,凉水样地的红松在大径级上分布较多,主要阔叶树种如紫椴、色木槭等在小径级上分布较多<sup>[6]</sup>;而CBS样地的主要树种则是中径级和大径级个体数量均较多<sup>[2]</sup>,说明各林分处于不同的发育阶段。

### 3.3 主要树种的空间分布格局

本研究中6个样地主要树种的空间分布格局随径级的变化表现出不同的格局,大径级个体主要表现为随机分布,其原因可能是自疏导致大径级个体间的强烈竞争<sup>[13,33]</sup>;各样地不同树种和不同径级之间空间分布格局存在显著差异,这与CBS样地的研究结论一致<sup>[2]</sup>。

与CBS样地4个优势树种的空间分布格局相比,露水河和西坡样地红松 $DBH > 30$  cm的个体与CBS样地 $DBH > 30$  cm的红松个体分布格局差别不大;老秃顶和松江河样地紫椴 $1 \text{ cm} \leq DBH < 10$  cm的个体分布与地形表现出明显的相关性,而CBS样地3个径级的紫椴都有一定数量的个体分布于整个样地,且没有明显的分布特点;蒙古栎在松江河和清原样地几乎没有 $1 \text{ cm} \leq DBH < 10$  cm的个体,清原样地其他2个径级的个体仅东北角呈现出聚集的特点,与CBS样地蒙古栎的分布格局有明显不同;露水河的色木槭 $1 \text{ cm} \leq DBH < 10$  cm个体的空间分布与CBS样地的色木槭 $1 \text{ cm} \leq DBH < 10$  cm个体均表现出聚集性。这表明同一物种在不同样地间的空间分布格局有明显差异,这可能是由于不同样地的生境条件存在一定差异,群落内物种为满足其存活和建成的需求,对生境有着不同的需求<sup>[33-34]</sup>,很多物种的空间分布与海拔、地形等生境因素密切相关。生境异质性<sup>[35-36]</sup>是导致物种聚集分布的一个重要因素<sup>[14]</sup>。聚集性在清原样地中表现更显著,人为干扰可能也是导致林分结构和空间分布的一个重要原因。

限制性扩散限制<sup>[37]</sup>也是导致物种聚集分布的一种重要因素<sup>[14]</sup>。松江河样地臭冷杉 $1 \text{ cm} \leq DBH < 10$  cm和 $10 \text{ cm} \leq DBH < 30$  cm的个体表现出聚集性,且幼树大部分都围绕大树或离大树不远的地方生长;西坡样地臭冷杉的分布格局与其相似,这可能

是由于臭冷杉的种子靠动物或重力传播,受种子扩散的限制,并没有传播到离母树很远的地方。

综上所述,各样地优势树种明显,从各样地的物种数、平均胸径和胸高断面积 3 个指标来看,6 个样地在物种组成与群落结构特征方面存在显著差异,这可能是受群落所处的环境和地理位置的影响。6 个样地的径级结构均呈倒“J”型,但各样地的径级范围存在显著差异;从主要树种的空间分布可以看出,同一物种在不同样地中分布表现出一定的差异性。阔叶红松林残留片断样地的建立为阔叶红松林的研究提供了很好的平台,对各样地群落结构与组成的分析提供了更多阔叶红松林的基本信息,为以往的阔叶红松林研究提供了补充,也为阔叶红松林的保护提供了科学依据。对阔叶红松林物种的分布规律、物种共存的机制以及导致阔叶红松林物种组成与群落结构差异的原因还有待于深入研究。

#### 参考文献

- [1] Xu Z-B (徐振邦), Li X (李昕), Dai H-C (戴洪才). Study on biomass and primary production of broad-leaved Korean pine forest in Changbai Mountain. *Forest Ecosystem Research* (森林生态系统研究), 1985, **5**: 33-48 (in Chinese)
- [2] Hao Z-Q (郝占庆), Li B-H (李步杭), Zhang J (张健), et al. Broadleaved Korean pine (*Pinus koraiensis*) mixed forest plot 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)
- [3] Liu S-E (刘慎谔). Atlas of Woody Plant in Northeast China. Beijing: Science Press, 1955 (in Chinese)
- [4] Xia F-C (夏福才), Zhao X-H (赵秀海), Pan C-F (潘春芳), et al. Stand structure of broad-leaved and Korean pine (*Pinus koraiensis*) mixed forest in the Changbai Mountains, China. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology* (应用与环境生物学报), 2010, **16**(4): 529-534 (in Chinese)
- [5] Bai X-J (白雪娇), Li B-H (李步杭), Zhang J (张健), et al. Species composition, structure, and spatial distribution of shrubs in broad-leaved Korean pine (*Pinus koraiensis*) mixed forest in Changbai Mountains. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2010, **21**(8): 1899-1906 (in Chinese)
- [6] Xu L-N (徐丽娜), Jin G-Z (金光泽). Species composition and community structure of a typical mixed broad-leaved Korean pine (*Pinus koraiensis*) forest plot in Liangshui Nature Reserve, Northeast China. *Biodiversity Science* (生物多样性), 2012, **20**(4): 470-481 (in Chinese)
- [7] Chen J-L (陈金玲), Jin G-Z (金光泽), Zhao F-X (赵凤霞). Litter decomposition and nutrient dynamics at different succession stages of typical mixed broad-leaved-Korean pine forest in Xiaoxing'an Mountains, China. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2010, **21**(9): 2209-2216 (in Chinese)
- [8] Guo L-P (郭利平), Ji L-Z (姬兰柱), Wang Z (王珍), et al. Dynamic changes of dominant tree species in broad-leaved Korean pine forest at different succession stages in Changbai Mountains. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2011, **22**(4): 866-872 (in Chinese)
- [9] Xu Z-B (徐振邦), Dai H-C (戴洪才), Tan Z-X (谭征祥), et al. Predictive methods of broad-leaved Korean pine forest succession in Changbai Mountain. *Forest Investigation Design* (林业勘察设计), 1983, **39**(2): 42-46 (in Chinese)
- [10] Sun W-Z (孙伟中), Zhao S-D (赵士洞). Distribution patterns of main tree species in *Tilia* broadleaf Korean pine forest on northern slope of Changbai Mountains. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 1997, **8**(2): 119-122 (in Chinese)
- [11] Wang X-G (王绪高), Hao Z-Q (郝占庆), Ye J (叶吉), et al. Relationship between species abundance and spatial distribution pattern of broad-leaved Korean pine (*Pinus koraiensis*) mixed forest in Changbai Mountains of China. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), 2008, **27**(2): 145-150 (in Chinese)
- [12] Wang XG, Hao ZQ, Ye J, et al. Spatial pattern of diversity in an old-growth temperate forest in Northeastern China. *Acta Oecologica*, 2008, **33**: 345-354
- [13] Wang XG, Ye J, Li BH, et al. Spatial distributions of species in an old-growth temperate forest, northeastern China. *Canadian Journal of Forest Research*, 2010, **40**: 1011-1019
- [14] Zhang J, Song B, Li BH, et al. Spatial patterns and associations of six congeneric species in an old-growth temperate forest. *Acta Oecologica*, 2010, **36**: 29-38
- [15] Loreau M, Naeem S, Inchausti P, et al. Biodiversity and ecosystem functioning: Current knowledge and future challenges. *Science*, 2001, **294**: 804-808
- [16] Tilman D, Reich PB, Knops JMH. Biodiversity and ecosystem stability in a decade-long grassland experiment. *Nature*, 2006, **441**: 629-632
- [17] Condit R, Ashton PS, Baker P, et al. Spatial patterns in the distribution of tropical tree species. *Science*, 2000, **288**: 1414-1418
- [18] Ma K-P (马克平). Large scale permanent plots: Important platform for long term research on biodiversity in forest ecosystem. *Chinese Journal of Plant Ecology* (植物生态学报), 2008, **32**(2): 231-237 (in Chinese)
- [19] Legendre P, Mi X, Ren H, et al. Partitioning beta diversity in a subtropical broad-leaved forest of China. *Ecology*, 2009, **90**: 663-674
- [20] Wu X-P (吴晓蓓), Zhu B (朱彪), Zhao S-Q (赵淑清), et al. Comparison of community structure and species diversity of mixed forests of deciduous broad-leaved tree and Korean pine in Northeast China. *Biodiversity Science* (生物多样性), 2004, **12**(1): 174-181 (in Chinese)

- [21] Xu L-Y (徐连友). Biology tourism of Changbai Mountain in new century. *Journal of Agricultural Science Yanbian University* (延边大学学报), 2002, **24**(1): 74-78 (in Chinese)
- [22] Hao Z-Q (郝占庆), Yu D-Y (于德永), Yang X-M (杨晓明), *et al.*  $\alpha$  diversity of communities and their variety along altitude gradient on northern slope of Changbai Mountain. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2002, **13**(7): 785-789 (in Chinese)
- [23] Wang Z (王战), Xu Z-B (徐振邦), Li X (李昕), *et al.* The main forest types and their features of community structure in northern slope of Changbai Mountain. *Forest Ecosystem Research* (森林生态系统研究), 1980, **1**: 25-42 (in Chinese)
- [24] Dong H-D (董厚德). The main vegetation types and their distributions in the eastern part of Liaoning Province. *Acta Phytocologia et Geobotanica Sinica* (植物生态学与地植物学丛刊), 1981, **5**(4): 241-257 (in Chinese)
- [25] Gao R (高人), Zhou G-Z (周广柱). A study on water-holding properties of litter layer for various major forest vegetation types in eastern mountains region in Liaoning Province. *Journal of Shenyang Agricultural University* (沈阳农业大学学报), 2002, **33**(2): 115-118 (in Chinese)
- [26] Wu Z-Y (吴征镒). The areal-types of Chinese genera of seed plants. *Acta Botanica Yunnanica* (云南植物研究), 1991( suppl. ): 1-139 (in Chinese)
- [27] Hubbell SP, Foster RB. Commonness and rarity in a neotropical forest: Implications for tropical tree conservation. *Plant Ecology*, 1986, **8**: 205-231
- [28] Zhang J-T (张金屯). *Methods in Vegetation Quantitative Ecology*. Beijing: China Science and Technology Press, 1955 (in Chinese)
- [29] Whittaker RH. Evolution and measurement of species diversity. *Taxon*, 1972, **21**: 213-251
- [30] Hao Z-Q (郝占庆), Deng H-B (邓红兵), Jiang P (姜萍), *et al.* Co-occurrence of plant species among communities with changes in altitudes on the northern slope of Changbai Mountain. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2001, **21**(9): 1421-1426 (in Chinese)
- [31] Wang XG, Hao ZQ, Zhang J, *et al.* Tree size distributions in an old-growth temperate forest. *Oikos*, 2009, **118**: 25-36
- [32] Wu G (吴刚). Structure and dynamics of a temperate deciduous-conifer mixed forest in Changbai Mountain. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 1998, **9**(5): 449-452 (in Chinese)
- [33] Liu H-F (刘海丰), Li L (李亮), Sang W-G (桑卫国). Species composition and community structure of the Donglingshan forest dynamic plot in a warm temperate deciduous broad-leaved secondary forest, China. *Biodiversity Science* (生物多样性), 2011, **19**(22): 232-242 (in Chinese)
- [34] Boyden S, Binkley D, Shepperd W. Spatial and temporal patterns in structure, regeneration, and mortality of an old-growth ponderosa pine forest in the Colorado Front Range. *Forest Ecology and Management*, 2005, **219**: 43-55
- [35] Harms KE, Wright SJ, Calderon O, *et al.* Pervasive density-dependent recruitment enhances seedling diversity in a tropical forest. *Nature*, 2000, **404**: 493-495
- [36] Queenborough SA, Burslem DFRP, Garwood NC, *et al.* Habitat niche partitioning by 16 species of Myristicaceae in Amazonian Ecuador. *Plant Ecology*, 2007, **192**: 193-207
- [37] Grubb P. Maintenance of species-richness in plant communities: Importance of regeneration niche. *Biological Reviews*, 1977, **52**: 107-145

作者简介 宋厚娟,女,1987年生,硕士研究生.主要从事森林生态学研究. E-mail: songhoujuan@163.com

责任编辑 孙菊