

小兴安岭阔叶红松林物种组成及主要种群的空间分布格局*

侯红亚 王立海**

(东北林业大学森林持续经营与环境微生物工程黑龙江省重点实验室, 哈尔滨 150040)

摘要 研究了黑龙江省凉水自然保护区阔叶红松林的物种组成和径级结构,并应用点格局分析方法对其主要种群的空间分布格局及空间关联性进行了研究.结果表明:该保护区内阔叶红松林中胸径 ≥ 1 cm的乔木共有16种,种群密度差异性很大,针叶树种红松和冷杉处于明显的优势地位;种群的径级结构近似倒“J”形,林分更新良好;主要种群的分布格局多呈聚集分布,只有红松在19~21 m和44 m尺度上以及青楷槭在接近所研究的最大尺度上时才呈现出随机分布.其中,红松在所研究尺度上一直都接近于随机分布,聚集强度也最小,冷杉、紫椴和青楷槭的分布格局都呈现出随机分布的趋势;除红松和冷杉在2~3 m的小尺度上,以及冷杉和青楷槭在37~81 m尺度上呈显著正相关外,其余种群的空间关联性均不显著.所有树种的总体联结关系均表现为不显著的正关联.

关键词 小兴安岭 阔叶红松林 物种组成 径级结构 点格局分析 种间关联

文章编号 1001-9332(2013)11-3043-07 **中图分类号** S718.5 **文献标识码** A

Species composition and main populations spatial distribution pattern in Korean pine broad-leaved forest in Xiaoxing'an Mountains of Northeast China. HOU Hong-ya, WANG Li-hai (Heilongjiang Province Key Laboratory of Sustainable Forest Management & Environmental Microbiology, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2013, 24(11): 3043-3049.

Abstract: Taking the Korean pine broadleaved forest in Liangshui Nature Reserve of Heilongjiang Province, Northeast China as test object, this paper studied the species composition and diameter class structure, and by using point pattern analysis, analyzed the spatial distribution pattern and spatial association of the main populations. In the Reserve, there were a total of 16 species with diameter greater than 1 cm in tree layer, and great differences were observed in the densities of main populations. Coniferous trees such as *Pinus koraiensis* and *Abies nephrolepis* were dominant. The diameter class structure of the populations presented as an inverse “J” curve, indicating a good regeneration across the community. The main populations were mostly in aggregated distribution pattern, except that the *P. koraiensis* populations at the scales of 19–21 m and 44 m as well as the *Acer tegmentosum* populations close to the largest research scale were in random distribution. The *P. koraiensis* populations at all research scales were approximately in random distribution, and had the minimum aggregation. *A. nephrolepis*, *Tilia amurensis*, and *A. tegmentosum* populations all presented a random distribution trend. Except that the *P. koraiensis* and *A. nephrolepis* at 2–3 m scale and the *A. nephrolepis* and *A. tegmentosum* populations at 37–81 m scale had significant positive association, no significant associations were observed between other populations. All the tree species presented an overall non-significant positive association.

Key words: Xiaoxing'an Mountains; Korean pine broadleaved forest; species composition; diameter class structure; point pattern analysis; interspecific association.

* 国家林业公益性行业科研专项(200904022)资助.

** 通讯作者. E-mail: lihaiwang@yahoo.com

2013-01-04 收稿, 2013-08-26 接受.

有关森林结构及空间格局的研究一直是林学、生态学等领域的研究热点^[1]. 种群空间分布格局是指某一种群个体在其生存空间内相对静止的散布形式,反映了种群个体在水平空间上的相互关系,是种群的重要属性之一^[2]. 林木空间分布格局能够揭示群落的历史和环境过程,与群落的形成、干扰过程和环境异质性密切相关^[3],是对初始环境、微环境差异、气候和光照因子、竞争以及单株林木生长特征等综合作用结果的反映^[4],体现了林分内林木的空间分布特征. 开展空间格局分析有助于了解种群的生物学特性、环境因子相互作用的基本规律以及其与空间分布相联系的生态过程^[5],在理论研究上或实践应用上均具有重要意义.

阔叶红松林是我国东北部东部山区典型的地带性植被,在我国东北温带针阔混交林植被类型中占有重要地位,具有很高的研究价值. 但由于长期的过量采伐,目前保护较为完好的阔叶红松林仅存于几个自然保护区和小兴安岭东南部等局部地域. 我国开展阔叶红松林空间格局的研究已有 20 多年的历史,尤其是对长白山地区的阔叶红松林,不断有专家学者运用各种方法对其空间格局进行分析比较^[6-9],但是对小兴安岭等其他分布区基于一定时间和空间尺度的研究相对较少^[10-12]. 本文依托小兴安岭原始阔叶红松林中建立的典型森林生态系统固定监测样地,分析了阔叶红松林的物种组成、优势种群的径级结构、空间分布格局及其空间关联性,以期小兴安岭地区阔叶红松林的可持续经营管理、长期监测,以及当地次生林的恢复与重建提供科学依据.

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

黑龙江省凉水国家级自然保护区位于黑龙江省伊春市带岭区境内(47°10'50" N, 128°53'20" E),是典型的低山丘陵地貌,海拔由北向南逐渐降低,为 280 ~ 707 m. 山地平均坡度为 10° ~ 15°,局部地段出现 20° ~ 40°的陡坡. 保护区总面积为 12133.0 hm²,森林总蓄积量 170.0 万 m³,森林覆被率高达 98%. 该地区地处欧亚大陆东缘,具有明显的温带大陆性季风气候特征,年平均气温 -0.3 °C,年平均降水量 676.0 mm,年均相对湿度 78%,无霜期 100 ~ 120 d. 本区的森林类型几乎囊括了小兴安岭山脉所有的森林植被类型,其中红松林面积占 80%,是我国现存的原始红松林基地之一. 地带性土壤主要为暗棕壤、

草甸土、沼泽土和泥炭土.

1.2 样地设置

2010 年在凉水国家级自然保护区典型的原始阔叶红松林内,参照 CTFS(Center for Tropical Forest Science)样地建设技术规范,建立了近 30 hm²的大面积固定监测样地(47°10'38" N, 128°52'47" E),利用全站仪将样地划分为 20 m×20 m 的连续样方,每隔 20 m 设立一基点,用水泥桩标记,以备长期使用. 野外调查时采用相邻网格法,在 20 m×20 m 样方的基础上,将每个样方划分为 16 个 5 m×5 m 的调查单元,记录在每个调查单元内胸径≥1 cm 的全部乔木的树种、相对坐标、胸径、树高、冠幅、枝下高以及生长状况,并挂牌编号. 根据前人的研究,当样地面积为≥2500 m²时能够较为真实地反映林分的空间分布格局^[13]. 本文在阔叶红松林分密度较大、生长状况良好的低海拔地区选取了 200 m×200 m 的样地,主林层林龄约 250 a,高 20 ~ 30 m,是典型的天然复层异龄林,最低海拔 373.2 m,最高海拔 396.1 m,最大高差 22.9 m,平均坡度 6°,在样地中西部最大坡度达到 15°(图 1),在处理数据时把相对坐标做全局化处理.

1.3 研究方法

1.3.1 点格局分析 采用以种群空间分布的坐标点图为基础的 Ripley 的 L 函数^[14]进行空间点格局分析. 该函数分析考虑了所有树木间的距离,可以分析各种尺度下的树木格局^[15],能更好地说明森林林分的动态变化及其相互影响,目前是分析种群空间分布格局最常用的方法^[16]. 使用 Ripley 的 $L_{12}(r)$ 函数确定双变量点格局之间的关系. 采用 10000 次 Monte Carlo 检验空间随机模拟来计算 99% 的置信区间,空间尺度为样地最短边长的一半,即 100 m,

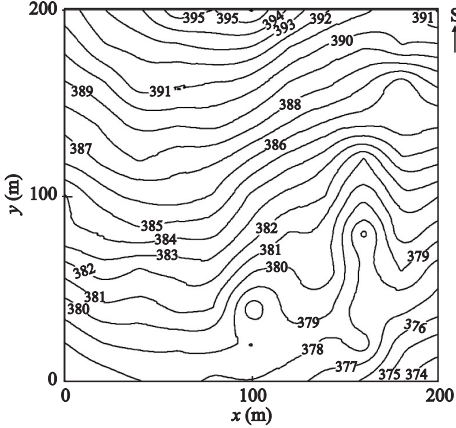


图 1 200 m×200 m 样地的地形图
Fig. 1 Topography map in 200 m×200 m plot.

步长为 1 m.

1.3.2 多物种间总体关联性检验 多物种空间点格局的方法及理论依然处于探索阶段^[17],目前多采用方差比率法(VR)来同时检验多个物种之间的总体关联性.当 $VR>1$ 、 $VR<1$ 、 $VR=1$ 时,分别表示物种间呈净的正关联、负关联和无关联.用检验统计量 $W=N\times VR$ (N 为总样方数)来检验 VR 值偏离1的显著程度^[18],若种间无关联,则 W 落入 χ^2 检验分布给出的界限的概率为90%: $\chi^2_{0.95}(N)\leq W\leq \chi^2_{0.05}(N)$.

1.3.3 种群结构组成分析 采用如下公式分析种群结构组成^[19]:相对多度=某个种的个体数/所有种的个体数 $\times 100\%$;相对显著度=某个种的胸高断面积/所有种的总胸高断面积 $\times 100\%$;相对频度=某个种的频度值/所有种的频度值 $\times 100\%$;重要值=(相对多度+相对显著度+相对频度)/3.

1.4 数据处理

文中数据处理及作图均使用 Excel 和 ADE-4 软件包等完成.

2 结果与分析

2.1 样地内树种组成和径级结构

由表1可以看出,阔叶红松林样地内共有16种乔木,树种种类较多,重要值排在前4位的分别为红松(*Pinus koraiensis*)、冷杉(*Abies nephrolepis*)、紫椴(*Tilia amurensis*)、青楷槭(*Acer tegmentosum*).这4

个树种相对多度之和在50%以上,而相对显著度之和达到了75%,是该林分的主要组成树种.其中,红松在数量上所占优势不大,但是平均胸径和断面积均最大,相对显著度达到了整个林分的46.5%,在该群落中占有绝对优势,是当地的建群种和优势种;冷杉在林分中的密度最大,但是大径木数量不及红松,胸高断面积和重要值也仅次于红松,是该林分的优势树种;紫椴的株数较多,是林分中的主要种群组成;青楷槭、色木槭(*A. mono*)、花楷槭(*A. ukurunduense*)等槭树类林木虽然多度较大,但是主要以小径木形式存在;而水曲柳(*Fraxinus mandshurica*)、云杉(*Picea koraiensis*)、白桦(*Betula platyphylla*)、山杨(*Populus davidiana*)等虽然径级较大,但是在该样地中数量较少,并不占优势.其他几个树种多为中、小乔木,研究价值不高,但对维持阔叶红松林群落的稳定性和树种多样性具有重要意义.

由图2可以看出,该林分树木的胸径分布呈近似倒“J”形曲线,随着胸径的增加,林木个体株数逐渐减少.树木胸径的分布范围很广,在1~78 cm 径阶范围内呈连续分布,其中4~6 cm 径阶范围内的林木数量最多,胸径超过100 cm 的只有2株,为紫椴.林分内小径木和中径木占绝大多数,同时也有一定数量的大树分布.

2.2 主要种群的空间分布格局

在200 m \times 200 m的样地中,选取重要值位于前

表1 样地内树种组成的数量特征
Table 1 Quantitative characteristic of species composition in the plot

树种 Species	胸径 DBH (cm)		株数 Number (plants · hm ⁻²)	相对多度 Relative abundance (%)	胸高断面积 Basal area at breast height (m ² · hm ⁻²)	相对显著度 Relative significant degree (%)	相对频度 Relative frequency (%)	重要值 Importance value (%)
	平均值 Average	标准差 SD						
红松 <i>Pinus koraiensis</i>	42.8	22.4	93	8.1	17.03	46.5	9.7	21.4
冷杉 <i>Abies nephrolepis</i>	15.2	10.6	202	17.5	5.44	14.9	14.6	15.7
紫椴 <i>Tilia amurensis</i>	13.6	11.2	165	14.3	4.01	11.0	12.8	12.7
青楷槭 <i>Acer tegmentosum</i>	8.9	5.2	142	12.3	1.18	3.2	12.2	9.2
色木槭 <i>A. mono</i>	9.0	6.6	122	10.6	1.18	3.2	10.6	8.1
枫桦 <i>Betula costata</i>	11.7	8.6	92	8.0	1.51	4.1	8.9	7.0
花楷槭 <i>A. ukurunduense</i>	5.9	3.0	116	10.1	0.40	1.1	9.0	6.7
云杉 <i>Picea koraiensis</i>	18.3	14.2	43	3.7	1.79	4.9	4.6	4.4
毛赤杨 <i>Alnus sibirica</i>	12.7	6.3	56	4.8	0.88	2.4	5.0	4.1
白桦 <i>Betula platyphylla</i>	15.7	10.4	36	3.1	1.00	2.7	3.8	3.2
水曲柳 <i>Fraxinus mandshurica</i>	18.1	9.0	33	2.8	1.05	2.9	3.5	3.1
山桃 <i>Amygdalus davidiana</i>	17.1	8.7	15	1.3	0.44	1.2	1.5	1.4
春榆 <i>Ulmus japonica</i>	12.1	9.9	14	1.2	0.26	0.7	1.5	1.1
暴马丁香 <i>Syringa reticulata</i>	6.1	2.4	16	1.4	0.05	0.2	1.3	1.0
山杨 <i>Populus davidiana</i>	34.8	27.5	3	0.2	0.37	1.0	0.3	0.5
稠李 <i>Prunus padus</i>	6.0	3.4	7	0.6	0.03	0.1	0.7	0.5
合计 Total	14.5	14.0	1152	100.0	36.61	100.0	100.0	100.0

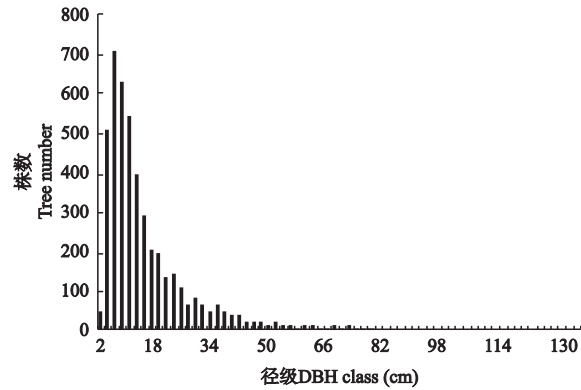


图2 样地内林木的径级结构

Fig.2 Diameter class structure of forest in the plot.

4 位的红松、冷杉、紫椴和青楷槭进行种群的空间分布格局分析(图3). 由图3 可以看出,样地中冷杉的聚集强度最大,冷杉和青楷槭在样地西北部的聚集程度最为明显,可能是因为样地西北部地势平缓,坡度较小. 徐丽娜等^[20]的研究同样发现,冷杉和青楷槭的分布与地形显著相关,在缓坡或平坦的地区分布较多.

由图4 可以看出,该样地内种群的分布类型各异. 红松在19~21 m 和44 m 的尺度上呈现出随机分布. 冷杉则在各尺度上都呈聚集分布,当 $r=74$ m 时,冷杉种群的聚集程度最大,聚集强度为 $L(r)=9.38$, $r>74$ m 时,随着尺度的增大,冷杉的聚集度逐渐降低,并且最终呈现出随机分布的趋势. 紫椴在所有研究尺度上均呈聚集分布,在 $r=1$ m 时,聚集强

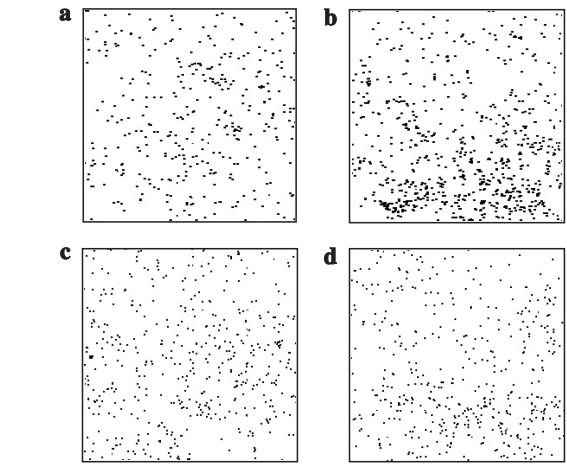


图3 样地中主要种群的分布点图

Fig.3 Point diagram of individual distribution of main populations in the plot.

a) 红松 *Pinus koraiensis*; b) 冷杉 *Abies nephrolepis*; c) 紫椴 *Tilia amurensis*; d) 青楷槭 *Acer tegmentosum*. 下同 The same below.

度最大,为 $L(r)=3.31$,并且随着尺度的增加,聚集程度减小. 青楷槭在98~100 m 尺度上呈随机分布,其余研究尺度上均呈现聚集分布,在 $r=57$ m 时达到的最大聚集强度为3.44.

2.3 主要种群的种间关系

由图5 可以看出,在阔叶红松林样地中,只有红松和冷杉在2~3 m 尺度上、冷杉和青楷槭在37~81 m 尺度上呈显著正相关,其余尺度上以及其他种群之间的关联性都不显著. 红松和紫椴在所有尺度上均正相关. 青楷槭与其他3个树种之间仅在个别

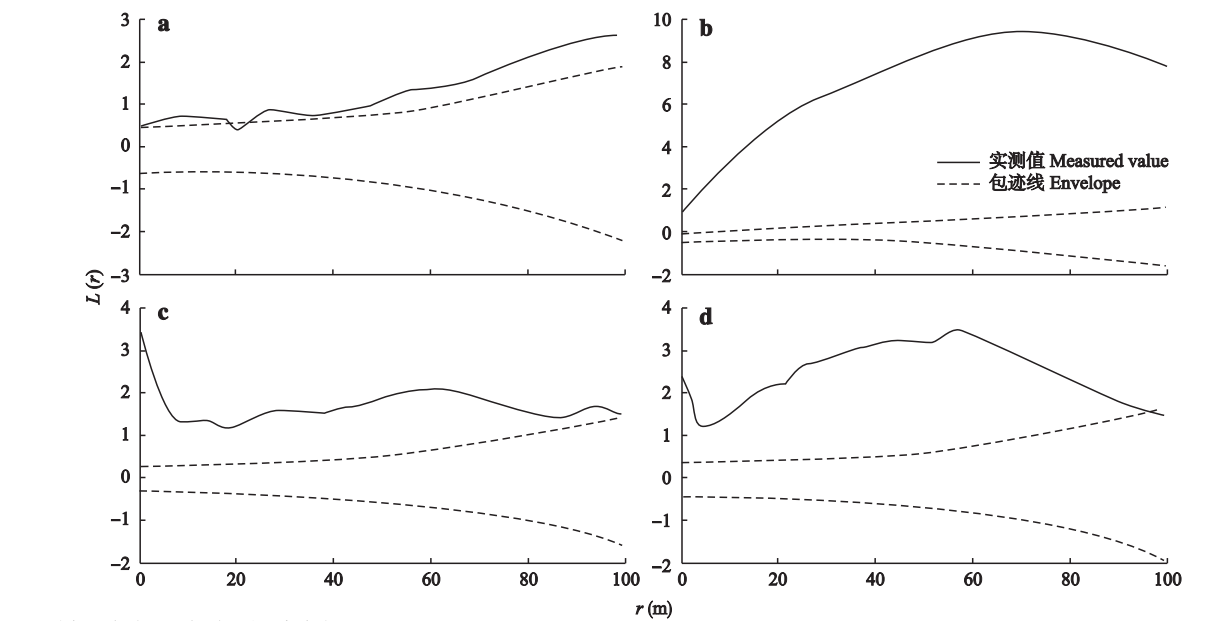


图4 样地内主要种群空间分布格局

Fig.4 Point pattern analysis of main populations in the plot.

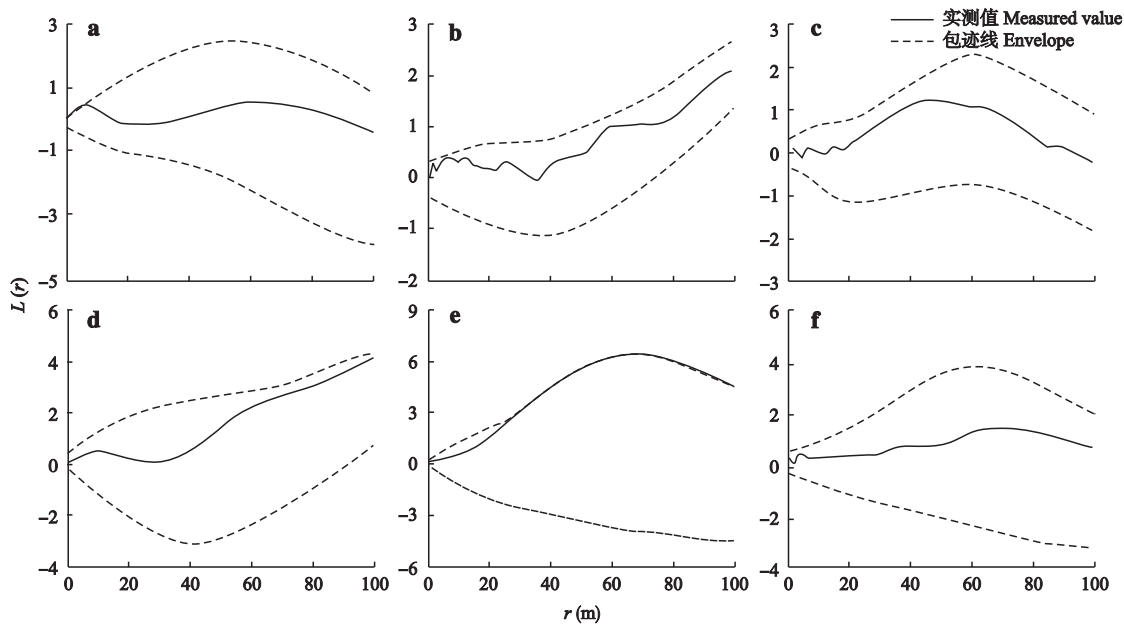


图5 样地内主要种群的种间关系分析

Fig. 5 Interspecific analysis of main populations in the plot.

a) 红松-冷杉 *Pinus koraiensis*-*Abies nephrolepis*; b) 红松-紫椴 *Pinus koraiensis*-*Tilia amurensis*; c) 红松-青楷槭 *Pinus koraiensis*-*Acer tegmentosum*; d) 冷杉-紫椴 *Abies nephrolepis*-*Tilia amurensis*; e) 冷杉-青楷槭 *Abies nephrolepis*-*Acer tegmentosum*; f) 紫椴-青楷槭 *Tilia amurensis*-*Acer tegmentosum*.

尺度上呈负相关,在绝大部分研究尺度上都为正相关.冷杉和紫椴在 27 ~ 28 m 和 30 m 尺度上呈负相关,在其余尺度上呈正相关,但是相关性均不显著.紫椴和青楷槭在大部分尺度上呈正相关,在 1 ~ 57 m 尺度上种间关联性很弱,有一定相互独立的倾向性.

2.4 多物种间的总体关联性

根据 16 个物种在样地中存在与否的数据矩阵,进一步分析多物种间的种间关联性,计算得到 $VR = 1.07 > 1$,说明物种间呈净的正关联.采用统计量 W 检验 VR 值偏离 1 的显著性, $W = 107.43$,查 χ^2 分布表得: $\chi^2_{0.95}(100) = 77.92947$, $\chi^2_{0.05}(100) = 124.34211$,说明物种间整体正关联不显著.

3 讨 论

3.1 阔叶红松林的基本特征

从群落结构来看,该阔叶红松林样地中树木组成多样,种群密度差异很大.红松和冷杉共同占据明显的优势地位,虽然青楷槭、色木槭等槭树类林木的重要值较大,但是这些树种径级较小,主要分布于林冠下层,对林分未来的发展影响不大^[21].从径级来看,整个林分呈近似的倒“J”形分布,根据林木个体之间的竞争理论,这种径级分布合理^[22],符合地带性森林群落的分布特征.林分中小径木和中径木数量较多,更新状况良好,又有一定数量的大径木存

在,体现了群落的稳定性.

3.2 主要种群的空间分布格局

重要值排在前 4 位的红松、冷杉、紫椴和青楷槭主要呈聚集分布.红松在所研究尺度上一直接近于随机分布,冷杉和青楷槭由于地形的影响,在样地的西北角表现出明显的聚集,当达到一定尺度时,二者的聚集程度逐渐降低,最终趋向随机分布.这与王鹏等^[23]的研究结论基本一致.青楷槭主要以小径木的形式存在,而小径木个体表现为较强的聚集分布.紫椴在小尺度上聚集强度最大,争夺空间资源,竞争激烈,当尺度扩大到一定范围时,竞争减弱,最终表现为随机分布.可见,种群的空间格局具有尺度依赖性^[24].

丁胜建^[25]、王绪高等^[26]对长白山阔叶红松林的研究结果与本文类似,大多数物种呈聚集分布.聚集分布是植物种群最普遍的分布形式,这是树木生长、存活以及竞争等适应环境异质性的结果^[27].种群的分布格局与多种因素有关,许多学者已经从多方面对阔叶红松林进行了深入的研究.在天然林中由于立地环境的差异,或是枯倒木形成的初期,由于碾压幼树、形成林窗、发生更新等打破了森林原有的稳定状态,从而使林木分布格局变为轻度聚集分布^[28].而且由于研究尺度和演替阶段的不同^[21]、径阶的大小^[29]、林层分布^[30]等因素的变化,种群分布格局的研究也会受到影响.

有研究表明,发育完善的顶极阶段呈现一个充分发育的顶极群落,其优势树种总体的分布呈现随机格局,各优势树种也呈随机分布格局镶嵌于总体的随机格局之中,这是顶极阶段再划分为未发育完善和发育完善的顶极阶段的原因和依据^[28,31]. 原始阔叶红松林是以红松为单优势树种的顶极森林群落,而本研究红松主要呈现聚集分布,说明该天然阔叶红松林还处于未发育完善的顶极阶段.

3.3 各种群的种间关系

除红松和冷杉在 2~3 m 的小尺度上、冷杉和青楷槭在 37~81 m 尺度上呈显著正相关外,其余种群的空间关联性均不显著,甚至在某些尺度上有相互独立的趋势,说明群落没有出现明显的种间竞争. 红松和紫椴在整体上呈正相关,与张健等^[32]的研究结果一致,表明紫椴是红松良好的伴生树种,但较弱的种间关联性说明二者的生长并不互相依赖. 青楷槭与其他 3 个树种主要呈正相关,其作为伴生树种与群落中的顶级树种保持着互利共生的关系,对维持阔叶红松林群落的稳定性和物种的多样性起着重要作用^[33]. 进一步对样地中所有物种进行总体关联性检验,结果表明,多物种间整体呈现净的正关联,但正关联不显著,说明物种间的互利关系不显著,彼此相对独立的分享生境资源,该群落处于比较稳定的发展状态. 张春雨等^[17]利用随机区块法的研究结果表明,绝大多数种组在局部空间尺度上呈正相关关系,阔叶红松林顶极群落树种总体上趋向于正相关,与本文的结论类似.

关于物种的群落结构、空间格局及空间关联性的研究为分析其潜在生态学过程提供了信息. 对于不同生境条件、不同发育阶段以及枯倒木对种群空间分布格局的影响将是进一步要研究的问题. 基于小兴安岭大面积固定监测样地的调查研究,可以为小兴安岭地区的阔叶红松林研究提供基础资料,对于同地段的天然次生林生态恢复与经营指导具有重要意义.

参考文献

[1] Yu X-X (余新晓), Yue Y-J (岳永杰), Wang X-P (王小平), et al. Forest Ecological Structure and Spatial Pattern. Beijing: Science Press, 2010 (in Chinese)

[2] Dale MR. Spatial Pattern Analysis in Plant Ecology. Cambridge: Cambridge University Press, 1999

[3] Xu H-C (徐化成), Fan Z-F (范兆飞), Wang S (王胜). A study in spatial patterns of trees in virgin *Larix gmelini* forest. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报),

1994, **14**(2): 155-160 (in Chinese)

[4] Moeur M. Characterizing spatial patterns of trees using stem-mapped data. *Forest Science*, 1993, **39**: 756-775

[5] Hou X-Y (侯向阳), Han J-X (韩进轩). Simulation analysis of spatial patterns of main species in the Korean pine broadleaved forest in Changbai Mountain. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), 1997, **21**(3): 242-249 (in Chinese)

[6] Wang L (王 蕾), Zhang C-Y (张春雨), Zhao X-H (赵秀海). Spatial pattern of Korean pine broadleaved forest in Changbai Mountains. *Scientia Silvae Sinicae* (林业科学), 2009, **45**(5): 54-59 (in Chinese)

[7] 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)

[8] Gong Z-W (龚直文), Gu L (顾 丽), Kang X-G (亢新刚), et al. Spatial patterns of forests during secondary succession in Changbai Mountain, northeastern China. *Journal of Beijing Forestry University* (北京林业大学学报), 2010, **32**(2): 92-99 (in Chinese)

[9] Xu H (徐 海), Hui G-Y (惠刚盈), Hu Y-B (胡艳波), et al. Analysis of spatial distribution characteristics of trees with different diameter classes in natural Korean pine broad leaved forest. *Forest Research* (林业科学研究), 2006, **19**(6): 687-691 (in Chinese)

[10] Liu Y-Y (刘妍妍), Jin G-Z (金光泽). Spatial point pattern analysis for coarse woody debris in a mixed broadleaved Korean pine forest in Xiaoxing'an Mountains, China. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2010, **30**(22): 6072-6081 (in Chinese)

[11] Xu L-N (徐丽娜), Jin G-Z (金光泽). Species composition and community structure of a typical mixed broadleaved 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)

[12] Hou H-Y (侯红亚), Wang L-H (王立海). Spatial structure analysis of coniferous-broadleaved Korean pine mixed forest in Xiaoxing'an Mountains. *Forest Engineering* (森林工程), 2012, **28**(1): 1-4 (in Chinese)

[13] Li L (李 丽), Hui S-R (惠淑荣), Hui G-Y (惠刚盈), et al. A study on the minimum area of forest spatial investigation. *Forest Resources Management* (林业资源管理), 2007, **12**(2): 47-51 (in Chinese)

[14] Ripley BD. Modeling spatial pattern. *Journal of the Royal Statistical Society B*, 1977, **39**: 178-212

[15] Lei X-D (雷相东), Tang S-Z (唐守正). Indicators on structural diversity within stand: A review. *Scientia Silvae Sinicae* (林业科学), 2002, **38**(3): 140-146 (in Chinese)

[16] Gong Z-W (龚直文), Kang X-G (亢新刚), Gu L (顾丽), et al. Research methods on natural forest stand structure: A review. *Journal of Zhejiang Forestry College* (浙江林学院学报), 2009, **26**(3): 434-443 (in

- Chinese)
- [17] Zhang C-Y (张春雨), Zhao X-H (赵秀海). Spatial point pattern analysis using random square-quadrats method. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2008, **28** (7): 3108–3115 (in Chinese)
- [18] Schluter D. A variance test for detecting species associations with some example applications. *Ecology*, 1984, **65**: 998–1005
- [19] 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 broadleaved 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)
- [20] Xu L-N (徐丽娜). Community Structure and Dynamics of a Typical Mixed Broadleaved Korean Pine (*Pinus koraiensis*) Forest. Master Thesis. Harbin: Northeast Forestry University, 2012 (in Chinese)
- [21] 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)
- [22] Li Y-D (李意德). Community characteristics of tropical mountain rain forest in Jianfengling, Hainan Island. *Journal of Tropical and Subtropical Botany* (热带亚热带植物学报), 1997, **5**(1): 18–26 (in Chinese)
- [23] Wang P (王 鹏), Chen L-H (陈丽华), Bian X-C (卞西陈), *et al.* Community structure and distribution pattern of a natural secondary forest in Beigou Forest Farm. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2011, **22**(7): 1668–1674 (in Chinese)
- [24] Zhang Y-T (张毓涛), Li J-Z (李吉政), Chang S-L (常顺利), *et al.* Spatial distribution pattern of *Picea schrenkiana* var. *tianshanica* population and its relationships with topographic factors in middle part of Tianshan Mountain. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2011, **22**(11): 2799–2806 (in Chinese)
- [25] Ding S-J (丁胜建). Habitat Associations of Dominant Species Spatial Distribution in Old Growth Broad-Leaved Korean Pine (*Pinus koraiensis*) Forest. Master Thesis. Beijing: Beijing Forestry University, 2012 (in Chinese)
- [26] 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 broadleaved Korean pine (*Pinus koraiensis*) mixed forest in Changbai Mountains of China. *Chinese Journal of Ecology* (生态学报), 2008, **27**(2): 145–150 (in Chinese)
- [27] Liu G-F (刘贵峰), Ding Y (丁 易), Zang R-G (臧润国), *et al.* Distribution pattern of *Picea schrenkiana* var. *tianshanica* population in Tianshan Mountains. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2011, **22**(1): 9–13 (in Chinese)
- [28] Hui G-Y (惠刚盈), Gadow KV, Hu Y-B (胡艳波), eds. Structure-Based Forest Management. Beijing: China Forestry Press, 2007 (in Chinese)
- [29] Zhang C-Y (张春雨), Zhao X-H (赵秀海), Wang X-Y (王新怡), *et al.* Spatial pattern and canopy structure of Korean pine broadleaved forests in Changbai Mountains. *Journal of Beijing Forestry University* (北京林业大学学报), 2006, **28**(suppl. 2): 45–51 (in Chinese)
- [30] Zhao Z-H (赵中华), Hui G-Y (惠刚盈), Hu Y-B (胡艳波). Spatial distribution patterns and association of dominant population in two types of broadleaved Korean pine mixed forest. *Forest Research* (林业科学研究), 2011, **24**(5): 554–562 (in Chinese)
- [31] Zhang J-C (张家城), Chen L (陈 力), Guo Q-S (郭泉水), *et al.* Research on the change trend of dominant tree population distribution patterns during development process of climax forest communities. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), 1999, **23**(3): 256–268 (in Chinese)
- [32] Zhang J (张 健), Hao Z-Q (郝占庆), Song B (宋波), *et al.* Spatial distribution patterns and association of *Pinus koraiensis* and *Tilia amurensis* broadleaved Korean pine mixed forest in Changbai Mountains. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2007, **18**(8): 1681–1687 (in Chinese)
- [33] An H-J (安惠君). Study on the Spatial Structure of the Broad-leaved Korean Pine Forest. PhD Thesis. Beijing: Beijing Forestry University, 2003 (in Chinese)

作者简介 侯红亚,女,1988年生,硕士研究生.主要从事森林经营管理研究. E-mail: houghongya@126.com

责任编辑 李凤琴
