应用生态学报 2019年5月 第30卷 第5期 http://www.cjae.net
Chinese Journal of Applied Ecology, May 2019, **30**(5): 1571-1579 DOI: 10.13287/j.1001-9332.201905.010

长白山蒙古栎次生林群落结构特征及优势树种空间分布格局

张晓红 张会儒* 卢 军 胡雪凡
(中国林业科学研究院资源信息研究所, 北京 100091)

摘 要 群落结构特征研究是揭示植物群落维持机制和演替动态的基础,是合理安排森林经营活动的基本前提.以吉林省汪清林业局2块1 hm^2的蒙古栎阔叶混交林固定样地为对象,研究了长白山蒙古栎次生林的群落结构特征,并采用点格局O-ring统计法对群落内优势树种的空间分布格局进行分析.结果表明:两块样地都是以蒙古栎为优势树种的群落类型,都具有明显的层次结构,主要伴生树种存在差异,样地Ⅰ以大青杨、白桦、红松为主,样地Ⅱ以红松、紫椴和色木槭为主.且样地Ⅰ的树种数量、Shannon多样性指数高于样地Ⅱ.两块样地中所有个体的径级分布呈倒"J"型,蒙古栎径级结构呈近似正态型,红松呈倒J型,其他主要伴生树种径级结构存在一定差异.两块样地0~50 m尺度上蒙古栎呈现小尺度聚集、中大尺度随机分布的格局,红松呈先聚集、后随机的分布格局,但样地Ⅰ内红松聚集的尺度和强度均大于样地Ⅱ.样地Ⅰ白桦和大青杨均在0~17 m尺度上呈聚集分布、且聚集强度显著高于其他树种,而在18~50 m尺度分别呈现随机分布和均匀-随机分布.样地Ⅱ中紫椴基本呈现随机分布,色木槭在中大尺度上呈随机或均匀分布,聚集分布集中在小尺度.两块样地处于演替早期阶段的不同发育阶段,相比样地Ⅰ,样地Ⅱ的演替阶段更高、群落相对更加稳定.

关键词 蒙古栎;次生林;优势树种;群落结构;空间分布格局

Community structure characteristics and spatial distribution of dominant species of secondary *Quercus mongolica* forest in Changbai Mountains, China. ZHANG Xiao-hong, ZHANG Hui-ru*, LU Jun, HU Xue-fan (*Research Institute of Forest Resource Information Techniques, Chinese Academy of Forestry, Beijing* 100091, *China*).

Abstract: Understanding forest community structure is the basis for revealing community maintenance mechanism and succession dynamics, and the premise forest management activities. Taking two permanent 1-hm^2 plots of *Quercus mongolica* broadleaved mixed forest located in Wangqing Forest Bureau in Jilin Province as objects, we analyzed the community structure characteristics of secondary *Q. mongolica* forest and spatial distribution of dominant species with the point pattern analysis method (the O-ring statistics). The results showed that both plots were dominated by *Q. mongolica* with distinct hierarchy character. The co-dominated trees in plot I were *Populus ussuriensis*, *Betula platyphylla*, and *Pinus koraiensis*, which were different from plot II (*Tilia amurensis*, *Acer mono*, and *Pinus koraiensis*). The richness and Shannon index of plot I were higher than that of plot II. The DBH class distribution of trees in both plots were reverse-J-shaped. Individuals of *Q. mongolica* exhibited a normal distribution and *P. koraiensis* showed a reverse-J-shaped. There were differences in the diameter structure of other co-dominant tree species. The spatial distribution of *Q. mongolica* in two plots was aggregation distribution at small scale and random distribution in medium and large scales. *P. koraiensis* showed aggregation-random distribution at 0-50 m scale, while its aggregation degree in plot I were higher than that of plot II. *B. platyphylla* and *P. ussuriensis* in plot I were aggregated at the scale of 0-17 m, and the aggregation intensity was significantly higher than

本文由中国林业科学研究院基本科研业务费专项(CAFYBB2016SY023)和国家重点研发计划项目(2017YFC0504101)资助 This work was supported by the Fundamental Research Fund for the Central Non-profit Research Institution of Chinese Academy of Forestry (CAFYBB2016SY023) and the National Key Research & Development Program of China (2017YFC0504101).
2018-05-24 Received, 2019-02-18 Accepted.
* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: huiru@ ifrit.ac.cn

other tree species, and showed random distribution and uniform-random distribution at the scale of 18-50 m, respectively. Random or uniform distribution at the medium-large scale, and aggregate distribution at small scale of *T. amurensis* were observed in plot II. These results demonstrated that both plots were at the primary stage of succession with different growth stages. The succession stage of plot II was more progressed than that of plot I and the community of plot II was relatively more stable. Our results provide references for the precise management of *Q. mongolica* secondary forests at different developmental stages.

Key words: *Quercus mongolica*; secondary forest; dominant species; community structure; spatial distribution pattern.

蒙古栎(*Quercus mongolica*)又称柞树,为壳斗科栎属落叶乔木,是营造用材林、防风林、水源涵养林及防火林的优良树种,主要分布在我国东北、华北和内蒙古东部[1-2]以及日本、韩国等邻国[3-4],是我国落叶栎中分布最北的一个种.蒙古栎次生林是我国东北林区的常见森林类型,多为阔叶红松林屡遭破坏后形成的一种处于次生演替阶段的森林群落,存在林地生产力下降和生态功能不断退化等问题[5-7].近年来,随着对蒙古栎木材资源经济价值和森林涵养水源、防风防火、景观游憩等生态效益重要性的逐步认识,如何通过合理的森林经营活动,调整林分群落结构、改善生态功能成为当前亟待解决的科学问题[8-9].

目前,国内外有关蒙古栎次生林的研究主要集中在生长与收获预估模型[10-12]、空间结构特征[13-15]、林木竞争关系[16]、更新状况及其影响因素[17-20]等方面,但是关于群落结构与优势树种分布格局的研究却相对较少,特别是长白山林区蒙古栎次生林的相关研究还未见报道.群落结构特征及种群空间分布格局研究是揭示植物群落维持机制和演替动态的基础,是合理安排森林经营活动的基本前提.由于不同区域、不同发育阶段的蒙古栎次生林有其各自独特的树种组成、空间结构等群落特征[21-23],因此,为了更深入地了解长白山区蒙古栎次生林的群落形成与维持机制,揭示优势树种对生境的选择和适应机制,本研究以长白山北部蒙古栎阔叶混交林为研究对象,采用大样地法开展不同发育阶段的蒙古栎次生林群落结构特征和优势树种空间分布格局研究,旨在为蒙古栎林的抚育经营和多样性保护提供基础依据.

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于吉林省汪清林业局塔子沟林场(43.327°—43.492° N,129.971°—130.222° E).属长白山系老爷岭山脉雪岭支脉,低山丘陵地貌,海拔300~1200 m,坡度5°~25°.研究区属温带大陆性季风气候,年均气温3.9 ℃左右,年降水量600~700 mm,且夏季降水占全年总降水量的80%.土壤以暗棕壤为主,平均厚度40 cm左右.植被属长白山植物区系,植物种类繁多,主要树种有蒙古栎、白桦(*Betula platyphylla*)、大青杨(*Populus ussuriensis*)、红松(*Pinus koraiensis*)、长白落叶松(*Larix olgensis*)、枫桦(*Betula costata*)、色木槭(*Acer mono*)、水曲柳(*Fraxinus mandshurica*)、黄波罗(*Phellodendron amurense*)、紫椴(*Tilia amurensis*)等.蒙古栎次生林为研究区较为典型的次生森林类型,由地带性植被阔叶红松林经过多次"拔大毛"后形成.经过建国初期的皆伐和强度择伐阶段、及之后的采育兼顾阶段,自1998年天保工程启动以后,林场对蒙古栎次生林采取了普遍护林、减少采伐、培育资源的保护性森林经营措施.为促进蒙古栎、红松的天然更新,林场于2010年开展过一次割灌的抚育措施.

1.2 样地设置与调查

2013年7月,在全面踏查的基础上选择典型的天然蒙古栎阔叶混交林,设置2块1 hm^2(100 m×100 m)的固定样地.样地基本情况见表1.2块样地立地条件基本一致,但是树种组成存在较大差异:样地Ⅰ以蒙古栎-大青杨为主,样地Ⅱ以蒙古栎-红松-紫椴-色木槭为主.按照相邻格子法将每个样地划分为100个10 m×10 m的小样方,检尺每个小样方内胸径1 cm以上的树木,记录树种,测量胸径、树高、枝下高、东西南北冠幅等因子,并利用激光测距仪测定林木坐标(X,Y).在每个样地的四角及中心设置5个5 m×5 m和1 m×1 m的小样方,分别用于灌木层和草本层的调查,记录灌木名称、株数和草本名称与盖度.

1.3 群落结构特征值计算

树种重要值(IV_i)[24]、Shannon多样性指数(H)和均匀度指数(E)[25]计算公式如下:

表 1　蒙古栎次生林样地基本概况

Table 1　Sampling plot condition of secondary forest of *Quercus mongolica*

样地号 Plot code	面积 Area (hm^2)	坡度 Slope (°)	坡向 Slope aspect	坡位 Slope position	海拔 Altitude (m)	土壤类型 Soil type	郁闭度 Crown density	株数 Number	断面积 Basal area ($m^2 \cdot hm^{-2}$)	树种组成 Species composition
Ⅰ	1	8	东南	中坡	675	暗棕色森林土	0.7	1040	19.51	6 栎 1 杨 1 桦 1 松 1 色
Ⅱ	1	10	东南	中坡	705	暗棕色森林土	0.8	1430	27.32	4 栎 1 松 1 椴 1 色 1 桦 1 杨 1 其他

栎: 蒙古栎 *Quercus mongolica*; 杨: 大青杨 *Populus ussuriensis*; 桦: 白桦 *Betula platyphylla*; 松: 红松 *Pinus koraiensis*; 色: 色木槭 *Acer mono*; 椴: 紫椴 *Tilia amurensis*.

$$IV_i = (RD_i + RF_i + RP_i)/3 \quad (1)$$

$$H = -\sum_{i=1}^{S} P_i \log_2 P_i \quad (2)$$

$$E = H/\log_2 S \quad (3)$$

式中: RD_i、RF_i、RP_i 分别为树种 i 的相对多度、相对频度和相对显著度,所有树种的 IV 总和为 100%; H 为 Shannon 多样性指数; E 为均匀度指数; S 为树种丰富度,即总树种数; P_i 为树种 i 的多度所占比例.

1.4　径级结构(q 值)的计算

在未受干扰的天然异龄林中,连续 2 个径级间林木株数的比例趋向于一个常数 q[26].根据负指数模型,q 值计算公式如下:

$$q = (n_i - 1)/n_i = a \cdot e^{-bx_{i-1}}/a \cdot e^{-bx_i} = e^{bh} \quad (4)$$

式中: n_i 为某时刻径级 i 的立木株数密度; x_i 为径级 i 的胸径; h 为径级距; q 为某一径级的株数与相邻较大径级株数之比,q 的序列和均值可以表达林分的径级株数分布状况,理想天然异龄林 q 值一般在 1.2~1.5.

1.5　点格局分析方法

本研究采用现代点格局函数分析优势树种的空间分布特征.采用 O-ring 统计分析主要组成树种的空间分布格局,O-ring 统计源于 Ripley K 函数和 Mark 相关函数[27-28],该方法用圆环代替 Ripley K 函数计算中使用的圆圈,能够有效避免 Ripley K 函数大尺度格局分析时易受小尺度累积效应的影响.采用异质性泊松过程(heterogeneous Poisson process)的零假设模型消除点密度不均造成的影响,通过 Programita(2014 版)对数据进行分析计算.采用的空间尺度为 0~30 m,进行 99 次 Montacarlo 模拟,得到 99%的置信区间.

2　结果与分析

2.1　群落概况

调查表明,长白山北部蒙古栎次生林群落林相整齐,林分季相变化明显.群落具有明显层次结构,可分为乔木层、灌木层和草本层.乔木层除蒙古栎外,还与红松、色木槭、枫桦、大青杨、水曲柳、鱼鳞云杉(*Picea jezoensis* var. *microsperma*)、冷杉(*Abies fabri*)等混生,是典型的温带落叶阔叶林.灌木层主要有二色胡枝子(*Lespedeza bicolor*)、毛榛(*Corylus mandshurica*)、绒毛绣线菊(*Spiraea sericea*)、辽东楤木(*Aralia elata*)、刺五加(*Acanthopanax senticosus*)、瘤枝卫矛(*Evonymus panciflorus*)、暴马子丁香(*Syringga amurensis*)、兰果忍冬(*Lonicera edulis*)、鼠李(*Rhamnusdavulica*)、刺莓蔷薇(*Rosa davurica*)、接骨木(*Sambucus williamsii*)等.草本层主要有宽叶苔草(*Carex siderosticra*)、五味子(*Schisandra chinensis*)、山野豌豆(*Vicia amoena*)、东北羊角芹(*Aegopodium alpestre*)、羊胡子草(*Eriophorum vaginatum*)、朝鲜一枝黄花(*Solidago virga aurea*)、唐松草(*Thalictrum aquilegifolium*)、舞鹤草(*Maianthemum bifolium*)、黄蒿(*Artemisia scopariawaldst*)等.

2.2　树种重要值

两块样地都是以蒙古栎的树种重要值为最大,分别达到了 38.6%和 30.7%,但是其他树种的重要值排序并不一致.单从重要值大于 10%的树种来看,样地Ⅰ内大青杨和白桦的树种重要值高于红松和紫椴,而样地Ⅱ中红松和紫椴高于白桦和大青杨.两块样地都是以蒙古栎为优势树种的群落类型,只是主要伴生树种存在差异,样地Ⅰ以大青杨、白桦、红松为主,样地Ⅱ以红松、紫椴和色木槭为主(表 2).

2.3　树种多样性

样地Ⅰ的树种数量、Shannon 多样性指数高于样地Ⅱ,均匀度指数低于样地Ⅱ(表 3),且样地Ⅰ还有水曲柳、落叶松、鱼鳞云杉等树种.把≤1 株 · hm^{-2} 的种定义为稀有种,1~10 株 · hm^{-2} 的种定义为偶见种[29],根据此定义统计,2 块样地内的稀有种分别为 2、1,偶见种分别为 3、1,出现了水曲柳、黄波罗等乡土阔叶树.

2.4　径级结构

从总体上看,群落径级分布具有倒 J 型的特性(图 1),且 4 cm 径级范围的个体数量最多.样地Ⅰ的 q 值为 1.194,略低于理想天然异龄林的 q 值,样地Ⅱ的 q 值为 1.276,符合理想天然异龄林的径级分

表 2 群落乔木层树种重要值

Table 2 Importance values of tree species in community arbor layer

样地号 Plot code	树种 Tree species	重要值 IV (%)	株数 Stem number	断面积 Basal area ($m^2 \cdot hm^{-2}$)
Ⅰ	蒙古栎 *Quercus mongolica*	38.6	302	11.70
	大青杨 *Populus ussuriensis*	17.7	124	2.06
	白桦 *Betula platyphylla*	13.7	101	1.91
	红松 *Pinus koraiensis*	13.5	315	1.65
	色木槭 *Acer mono*	8.0	141	1.21
	紫椴 *Tilia amurensis*	3.9	31	0.64
	水曲柳 *Fraxinus mandshurica*	3.7	2	0.01
	杂木 Other trees	1.3	15	0.07
	黑桦 *Betula davurica*	0.5	1	0.23
	落叶松 *Larix olgensis*	0.1	5	0.02
	冷杉 *Abies fabri*	0.3	2	0.01
	鱼鳞云杉 *Picea jezoensis*	0.2	1	0.01
Ⅱ	蒙古栎 *Quercus mongolica*	30.7	327	13.12
	红松 *Pinus koraiensis*	24.8	510	4.17
	紫椴 *Tilia amurensis*	16.6	260	3.32
	色木槭 *Acer mono*	13.1	182	2.92
	白桦 *Betula platyphylla*	6.1	58	2.01
	大青杨 *Populus ussuriensis*	3.8	46	1.42
	冷杉 *Abies fabri*	2.2	23	0.09
	杂木 Other trees	2.1	20	0.18
	黑桦 *Betula davurica*	0.4	3	0.08
	黄波罗 *Phellodendron amurense*	0.1	1	0.01

表 3 群落乔木层树种多样性指标

Table 3 Biodiversity index of tree species in community arbor layer

样地号 Plot code	Shannon 多样性指数 Shannon diversity indix (H)	均匀度指数 Eveness index (E)
Ⅰ	1.979	1.853
Ⅱ	0.551	0.567

布.2 块样地的最大径级存在差异,样地Ⅰ、Ⅱ的最大径级分别为 66 和 54 cm.

蒙古栎和红松在 2 块样地内的径级结构分别呈现出相同的分布(图 2):蒙古栎个体基本分布在各个径级,呈近似正态分布型,中间径级株数较多,两端径级株数较少;红松呈现出倒 J 型的分布,个体集中在 DBH<5 cm 的幼树幼苗阶段.另外,样地Ⅰ内大青杨呈正态型分布,个体数集中在 8~22 cm,白桦径级分布无明显规律,径级集中在 8~30 cm,偶有杨桦大径木存在,但大青杨和杨桦无 DBH<5 cm 的幼树幼苗分布.样地Ⅱ内紫椴和色木槭的径级分布相似,呈现近似倒 J 型的分布,且有一定数量的幼树幼苗.

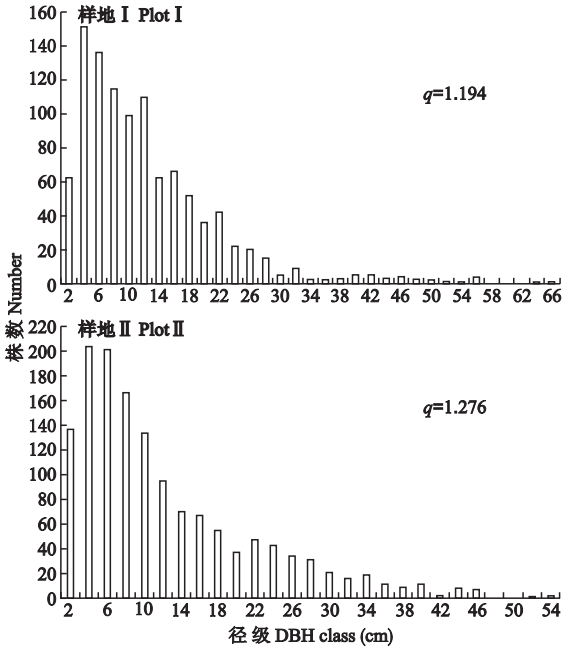


图 1 蒙古栎次生林群落径级分布

Fig.1 Diameter distribution of secondary forest of *Quercus mongolica*.

2.5 优势树种的空间分布格局

蒙古栎个体随机分布,大青杨、色木槭和白桦呈明显的聚集性分布(图 3),红松和紫椴在 2 块样地内的分布格局存在差异:样地Ⅰ内红松、紫椴的聚集性高于样地Ⅱ.

群落优势树种(组)的 O-ring 函数分析表明(图 4 和图 5),2 块样地的蒙古栎、红松在 0~50 m 尺度上均呈现先聚集、后随机的空间分布格局.蒙古栎在 2 块样地中呈现近似的分布格局:先在小尺度上呈聚集分布(0~5、0~6 m),后在其他尺度呈随机分布,且聚集强度相近;样地Ⅰ内红松聚集的尺度和强度均大于样地Ⅱ.样地Ⅰ中大青杨和白桦尽管生活习性相近,但是表现出不一致的空间分布格局:大青杨在 0~17 m 尺度上呈聚集分布、21~35 m 尺度上呈均匀分布,其他尺度上呈随机分布;白桦呈先聚集分布后随机分布,且聚集尺度集中在0~17 m.样

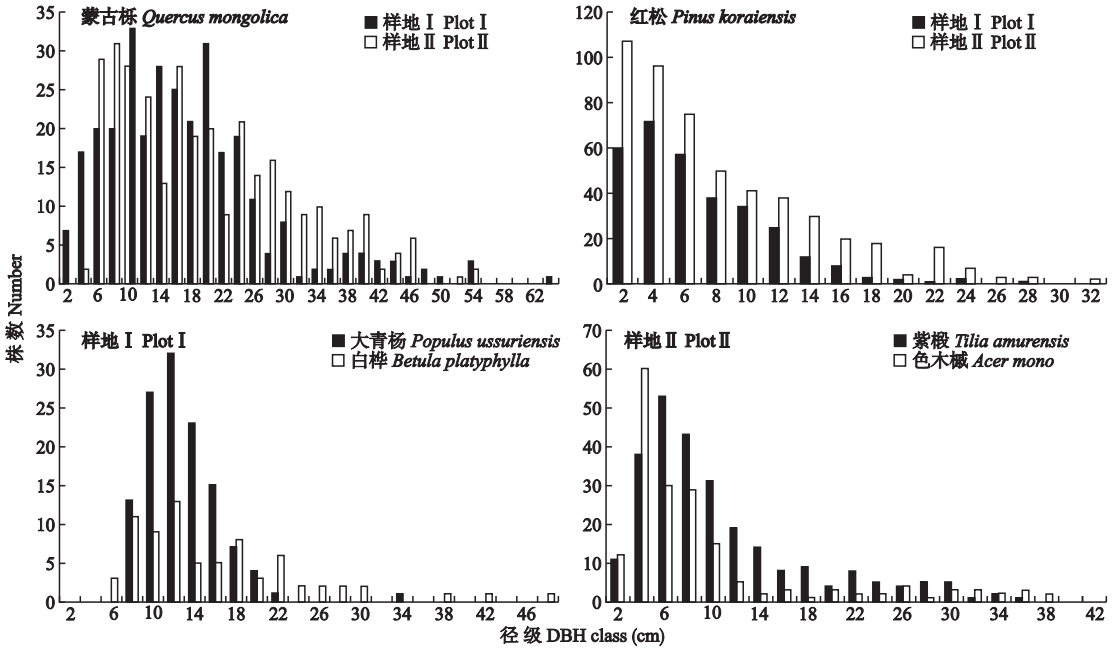


图 2　样地各优势树种的径级分布

Fig.2　Diameter distribution of dominant tree species.

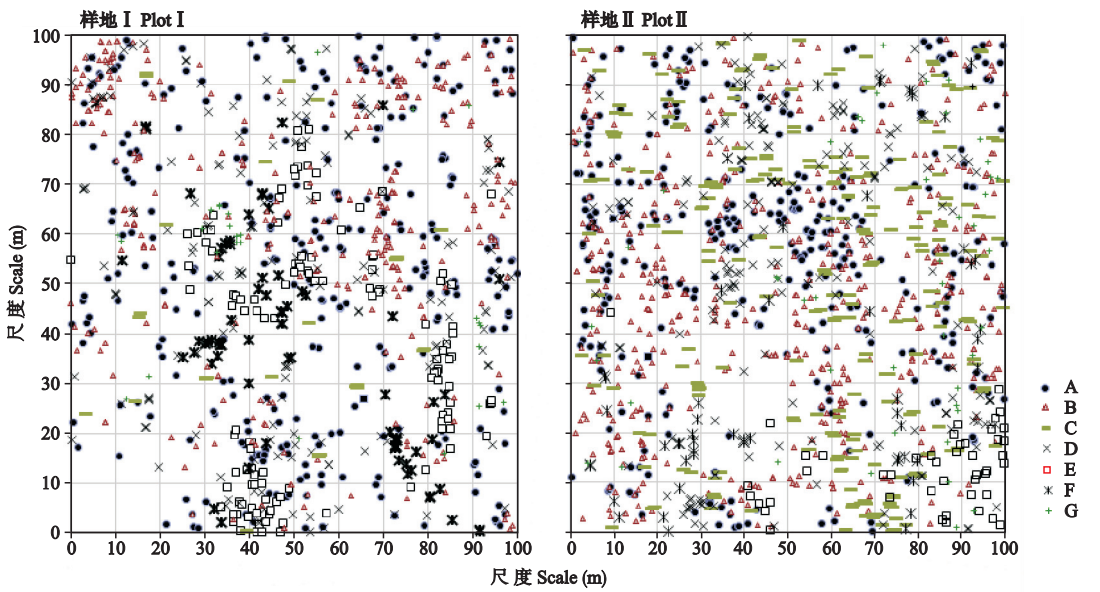


图 3　样地乔木树种的空间分布

Fig.3　Spatial distribution of dominant tree species.

A：蒙古栎 *Quercus mongolica*；B：红松 *Pinus koraiensis*；C：紫椴 *Tilia amurensis*；D：色木槭 *Acer mono*；E：大青杨 *Populus ussuriensis*；F：白桦 *Betula platyphylla*；G：其他树种 Other tree species.

地Ⅱ中紫椴基本呈现随机分布，仅在 5、13 m 尺度上呈聚集分布；色木槭在小尺度呈聚集分布、中大尺度在随机分布或均匀分布上波动.总体来看，大青杨和白桦的聚集强度显著高于其他树种.

3　讨　　论

长白山蒙古栎次生林为温带落叶阔叶林，物种组成与黑龙江东部、辽东山区、冀北山地等蒙古栎主要分布区的次生林有较大差异[30]，但是保留了长白山阔叶红松林的部分树种，如红松、紫椴、色木槭、蒙古栎、水曲柳、大青杨、春榆、鱼鳞云杉、冷杉等[31]. 这是由于长白山区的蒙古栎次生林多为阔叶红松林屡遭破坏后退化形成的一种处于次生演替阶段的森林植物群落，大部分树种与阔叶红松林相同，而蒙古

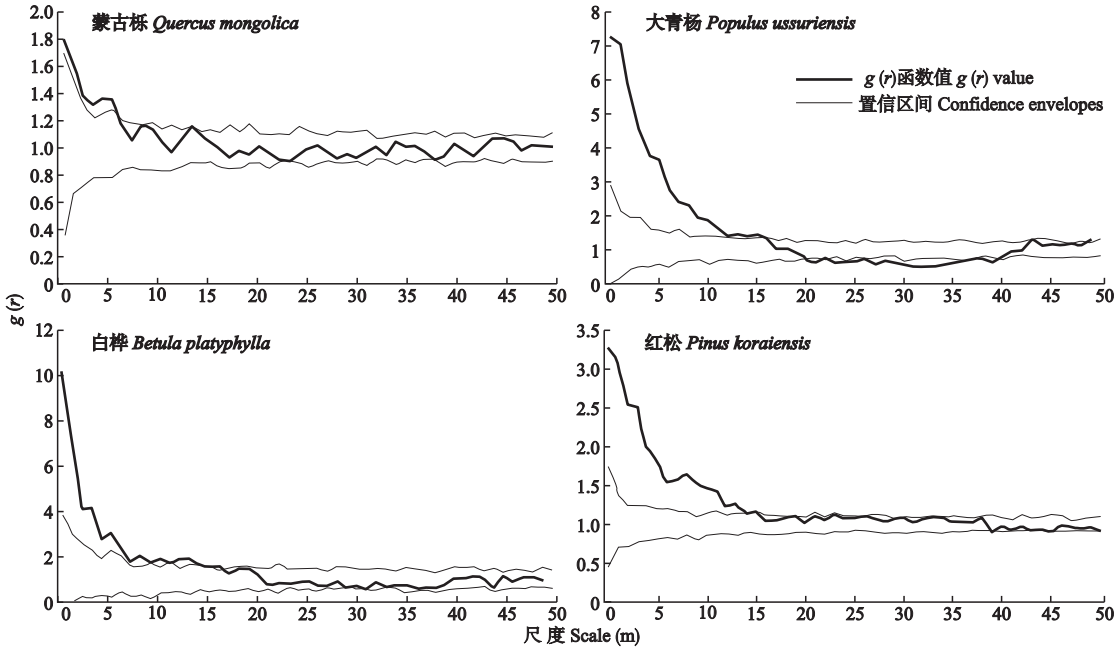


图 4 样地Ⅰ优势树种空间分布格局

Fig.4 Spatial distribution patters of dominant tree species in Plot Ⅰ.

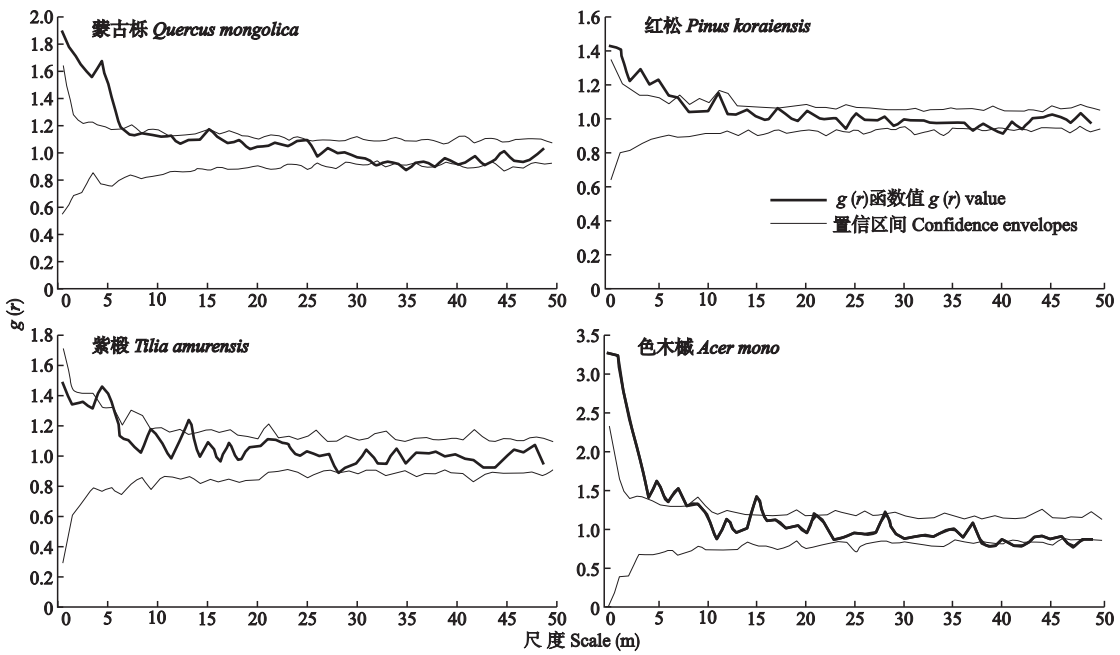


图 5 样地Ⅱ优势树种空间分布格局

Fig.5 Spatial distribution patters of dominant tree species in Plot Ⅱ.

栎则成了该群落的先锋优势树种.2 块样地内蒙古栎的主要伴生树种存在差异:样地Ⅰ内主要是大青杨、白桦、红松,这与陈新美等[14]的研究结论一致,林内竞争压力主要来自蒙古栎的种内竞争、以及与大青杨、白桦的种间竞争.样地Ⅱ内大青杨、白桦等先锋树种的优势地位有所下降,取而代之的是红松、紫椴.树种组成在一定程度上反映了群落的演替阶段,根据群落演替理论可以得出两块样地处于不同的发育阶段,样地Ⅰ处于相对较早的演替阶段、林木竞争更为激烈,样地Ⅱ处于比样地Ⅰ更高层次的演替阶段,林内喜光树种数量有所下降、耐荫树种比例提高,群落处于相对稳定的发育阶段,这一结论在径级结构上也有所反映.

林分径级结构是最重要、最基本的林分结构,也

是衡量森林群落功能复杂性和稳定性的重要指标[25].研究区 2 块样地所有个体的径级结构呈倒“J”型,基本符合天然异龄林的直径分布,说明群落处于增长或稳定状态.2 块样地蒙古栎个体均呈现出近似正态分布型,与辽东山区恢复 57 年的柞蚕林蒙古栎径级结构基本一致[23],但是样地Ⅰ蒙古栎 DBH<5 cm 幼树株数大于样地Ⅱ,而 DBH≥30 cm 的成树却少于样地Ⅱ,是否说明样地Ⅰ内蒙古栎的经营周期长于样地Ⅱ,还有待于进一步研究.2 块样地的伴生树种径级结构的差异表明:样地Ⅰ内幼树幼苗以蒙古栎和红松为主,而样地Ⅱ以红松、紫椴和色木槭为主.树种径级结构分布特征,一方面说明 2 块样地群落垂直结构分布存在相似性,即蒙古栎竞争优势明显,位于林层中上部,红松、紫椴和色木槭处于林层下部,大青杨和白桦处于中间林层;另一方面说明 2 块样地生长发育阶段的差异性.这是由树种的生物学特性、林分环境因子和森林经营活动等多种因素引起[32-33],蒙古栎系喜光性树种,不能忍耐上层林冠遮荫[19,34],导致蒙古栎自我更新能力差、幼苗幼树较少.随着群落演替进程的发展,大青杨和白桦等喜光先锋树种将趋于衰退,红松、紫椴等耐荫树种不断更新,样地Ⅱ比样地Ⅰ的群落更加稳定.

物种分布格局是群落的重要结构特征之一,是物种本身的生物学特性长期对温度、降水等环境因子以及种内竞争、扩散限制等生态过程影响所表现出来的综合特征[35-36].2 块样地的蒙古栎呈现相似的分布格局:小尺度聚集分布,中大尺度随机分布.前人研究发现,蒙古栎具有很强的生境选择性,蒙古栎的结实量较高,且成树具有很强的萌蘖能力,动物的埋藏和搬运使幼苗具有一定程度的聚集性,致使更新的蒙古栎个体具有很强的聚集性[37],而本研究中蒙古栎空间分布受环境条件限制较小,这是由于蒙古栎在 2 个次生林群落中具有明显的竞争优势,能够充分利用光照、土壤、水分等资源,这与樊后保等[38]关于蒙古栎种群分布格局的结论基本一致.红松在样地Ⅰ中与蒙古栎的空间分布存在重叠,并未出现“非此即彼”的分布现象,且聚集尺度和聚集强度大于样地Ⅱ,这与 2 块样地发育阶段有关,样地Ⅱ较样地Ⅰ更接近原始顶极群落,因此作为地带性物种的红松在样地Ⅱ内的分布趋于随机性,其优势地位也高于在样地Ⅰ的表现.2 块样地树种空间分布格局的差异还体现在其他伴生树种的分布上,样地Ⅰ中大青杨和白桦均在 0~17 m 的尺度内呈现出明显的聚集分布,且聚集强度均高于样地Ⅱ的伴生树种,而样地Ⅱ中紫椴基本呈现随机分布.这种群落结构和空间分布格局的差异,为合理安排森林经营活动提供了基本信息,样地Ⅰ可通过抚育间伐等经营措施调整阳性树种的聚集分布,并充分利用群落中蒙古栎、大青杨、白桦的大径木,样地Ⅱ则在选择目标树的基础上,通过采取疏伐、割灌、人工促进天然更新等措施培育紫椴、水曲柳、黄波罗等珍贵树种[30],形成健康、稳定、优质和高价值的林分[8].

综上所述,研究蒙古栎次生林乔木层的树种组成和多样性、径级结构和优势树种空间格局,有助于认识蒙古栎次生林不同发育阶段的群落的形成和维持机制.但是不同树种、不同径级之间的空间格局关联性,以及地形、土壤、水分等环境因子对种群的影响机制还需要进一步探讨,以期进一步揭示物种对生境的选择和适应机制,为合理开展次生林精准经营提供依据.

参考文献

[1] Wang Y-H (王义弘), Teng W-H (滕文华), Li J-T (李俊涛), *et al*. Regeneration forestation and sapling growth of *Quercus mongolica*. *Journal of Northeast Forestry University* (东北林业大学学报), 2000, **28** (5): 28-30 (in Chinese)

[2] Gao Z-T (高志涛), Wu X-C (吴晓春). Discussion on regulation on geographic distribution in *Quercus mongolica*. *Protection Forest Science and Technology* (防护林科技), 2005(2): 83-84 (in Chinese)

[3] Yim YJ. Distribution of forest vegetation and climate in Korean peninsula: IV. Zonal distribution of forest vegetation in relation to thermal climate. *Japanese Journal of Ecology*, 1977, **27**: 269-278

[4] Suh MH, Lee DK. Stand structure and regeneration of *Quercus mongolica* forests in Korea. *Forest Ecology and Management*, 1998, **106**: 27-34

[5] Wang C-K (王传宽), Zhou X-F (周晓峰), Zhao H-X (赵惠勋). Forest Ecosystem of *Quercus mongolica*/ Long-term Research on Chinese Forest Ecosystem. Harbin: Northeast Forestry University Press, 1994 (in Chinese)

[6] Wang W-Q (王文权). Forest Resources in Liaoning Province. Beijing: Chinese Forestry Press, 2007 (in Chinese)

[7] Su F-L (苏芳莉), Liu M-G (刘明国), Tan X-R (谭学仁), *et al*. A study on thinning density of natural secondary forest in Liaoning East. *Journal of Northwest Forestry University* (西北林学院学报), 2007, **22**(4): 106-109 (in Chinese)

[8] Feng Q-Y (冯琦雅), Chen C-F (陈超凡), Qin L (覃林). Effects of different management models on stand structure and plant diversity of natural secondary forests

of *Quercus mongolica*. *Scientia Silvae Sinicae* (林业科学), 2018, **54**(1): 13-20 (in Chinese)

[9] Clark SL, Schweitzer CJ. Stand dynamics of an oak woodland forest and effects of a restoration treatment on forest health. *Forest Ecology and Management*, 2016, **381**: 258-267

[10] Ma W (马 武). Individual Tree Growth Model System for Mongolian Oak Forest. Master Thesis. Beijing: Chinese Academy of Forestry, 2012 (in Chinese)

[11] Gao D-Q (高东启), Deng H-F (邓华锋), Wang H-B (王海宾), *et al*. Dummy variables models in *Quercus mongolica*. *Journal of Northeast Forestry University* (东北林业大学学报), 2014, **42**(1): 2-5 (in Chinese)

[12] Lou M-H (娄明华), Zhang H-R (张会儒), Lei X-D (雷相东), *et al*. Individual diameter-height modes for mixed *Quercus mongolica* broadleaved natural stands based on spatial autocorrelation. *Scientia Silvae Sinicae* (林业科学), 2017, **53**(6): 67-76 (in Chinese)

[13] Yue Y-J (岳永杰), Yu X-X (余新晓), Li G-T (李钢铁), *et al*. Spatial structure of *Quercus mongolica* forest in Beijing Songshan Mountain Nature Reserve. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2009, **20**(8): 1811-1816 (in Chinese)

[14] Chen X-M (陈新美), Zhang H-R (张会儒), Jiang H-Q (姜慧泉). Analysis and evaluation on spatial structure of *Quercus mongolica* forests in over-logged region in Northeast China. *Journal of Southwest Forestry University* (西南林学院学报), 2010, **30**(6): 20-24 (in Chinese)

[15] Zhou J-Y (周建云), Li R (李 荣), Zhang W-H (张文辉), *et al*. Effects of thinning intensity on structure characteristics and spatial distribution of *Quercus wutaishanica* populations. *Scientia Silvae Sinicae* (林业科学), 2012, **48**(4): 149-155 (in Chinese)

[16] Shen C-C (沈琛琛), Lei X-D (雷相东), Wang F-Y (王福有), *et al*. Competitive states in natural middle-aged forest of Mongolian oak at Jincang forest farm. *Forest Research* (林业科学研究), 2012, **25**(3): 339-345 (in Chinese)

[17] Liu T (刘 彤), Zhou Z-Q (周志强). Seed rain and soil seed bank of *Quercus mongolica* populations. *Journal of Northeast Forestry University* (东北林业大学学报), 2007, **35**(5): 22-23 (in Chinese)

[18] Heydari M, Prévosto B, Abdi T, *et al*. Establishment of oak seedlings in historically disturbed sites: Regeneration success as a function of stand structure and soil characteristics. *Ecological Engineering*, 2017, **107**: 172-182

[19] Zheng J-P (郑金萍), Yang X-D (杨学东), Guo Z-L (郭忠玲), *et al*. Characteristics and influencing factors of natural regeneration of *Quercus mongolica* forest. *Journal of Beihua University* (Natural Science) (北华大学学报:自然科学版), 2015, **16**(5): 652-657 (in Chinese)

[20] Zhu K-Y (朱凯月), Wang Q-C (王庆成), Wu W-J (吴文娟). Effect of gap size on growth and morphology of transplanted saplings of *Quercus mongolica* and *Fraxinus mandshurica*. *Scientia Silvae Sinicae* (林业科学), 2017, **53**(4): 150-157 (in Chinese)

[21] Gosselin M, Fourcin D, DumasY, *et al*. Influence of forest tree species composition on bryophytic diversity in mixed and pure pine (*Pinus sylvestris* L.) and oak (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) stands. *Forest Ecology and Management*, 2017, **406**: 318-329

[22] Chen X-R (陈向荣), Yang F-J (杨逢建). Effects of forest protection on the distribution patterns and diameter grades structure of main arbor populations in *Quercus mongolica* forest. *Journal of South China Agricultural University* (Natural Science) (华南农业大学学报:自然科学版), 2003, **24**(4): 17-20 (in Chinese)

[23] Jin G (金 刚), You W-Z (尤文忠), Zhao G (赵 刚), *et al*. The population structure and species diversities of different restoration stages in *Quercus mongolica* stands of closed tussah fields. *Journal of Liaoning Forestry Science & Technology* (辽宁林业科技), 2010 (2): 6-10 (in Chinese)

[24] Wang B-S (王伯荪), Yu S-X (余世孝), Peng S-L (彭少麟), *et al*. Manual on Phytocoenology Laboratory. Guangzhou: Guangdong Higher Education Press, 1996 (in Chinese)

[25] Meng X-Y (孟宪宇). Forest Mensuration. 3rd Ed. Beijing: Chinese Forestry Press, 2006 (in Chinese)

[26] Meyer HA. Structure, growth and drain in balanced uneven-aged forests. *Journal of Forestry*, 1952, **50**: 85-92

[27] Wiegand T, Moloney KA. Rings, circles and null-models for point pattern analysis in ecology. *Oikos*, 2004, **104**: 209-229

[28] Wiegand T, Moloney KA. A Handbook of Spatial Point Pattern Analysis in Ecology. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2014

[29] Diao Y-F (刁云飞), Jin G-Z (金光泽), Tian S-Y (田松岩), *et al*. Species composition and community structure of a *Taxus cuspidata* forest in Muling Nature Reserve of Heilongjiang Province, China. *Scientia Silvae Sinicae* (林业科学), 2016, **52**(5): 26-36 (in Chinese)

[30] You W-Z (尤文忠), Zhao G (赵 刚), Zhang H-D (张慧东), *et al*. Effects of thinning on growth of Mongolian oak (*Quercus mongolica*) secondary forests. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2015, **35**(1): 56-64 (in Chinese)

[31] Hao Z-Q (郝占庆), Li B-H (李步杭), Zhang J (张健), *et al*. Broad-leaved Korean pine (*Pinus koraiensis*) mixed forest plot in Changbaishan (CBS) of China: Community composition and structure. *Chinese Journal of Plant Ecology* (植物生态学报), 2008, **32**(2): 238-250 (in Chinese)

[32] Lei X-D (雷相东), Zhang H-R (张会儒). Comparison of plant species diversity of four forest types in over-logged forest area in Northeastern China. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), 2003, **22**(5): 47-50 (in Chinese)

[33] Wang M (王 森), Li Q-R (李秋荣), Hao Z-Q (郝占庆), *et al*. Effects of soil water regimes on the growth

of *Quercus mongolica* seedlings in Changbai Mountains. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2004, **15**(10): 1765-1770 (in Chinese)

[34] Fan H-B (樊后保), Zang R-G (臧润国), Li D-Z (李德志). Natural regeneration of Mongolian oak population. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), 1996, **15**(3): 15-20 (in Chinese)

[35] Shen GC, Yu MJ, Hu XS, *et al*. Species-area relationships explained by the joint effects of dispersal limitation and habitat heterogeneity. *Ecology*, 2009, **90**: 3033-3041

[36] Lin YC, Chang LW, Yang KC, *et al*. Point patterns of tree distribution determined by habitat heterogeneity and dispersal limitation. *Ocecologia*, 2011, **165**: 175-184

[37] Yu S-L (于顺利), Ma K-P (马克平), Liu C-R (刘灿然), *et al*. Neighbor diversity and interspecific association of *Quercus mongolica*. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2002, **13**(3): 271-274 (in Chinese)

[38] Fan H-B (樊后保), Wang Y-H (王义弘), Zang R-G (臧润国). Spatial distribution pattern of Mongolian oak population and its dynamics. *Journal of Fujian College of Forestry* (福建林学院学报), 1994, **14**(2): 100-103 (in Chinese)

作者简介　张晓红,女,1981 年生,博士.主要从事森林可持续经营理论与技术研究.E-mail: zhangxh@ ifrit.ac.cn

责任编辑　杨　弘

张晓红, 张会儒, 卢军, 等. 长白山蒙古栎次生林群落结构特征及优势树种空间分布格局. 应用生态学报, 2019, **30**(5): 1571-1579

Zhang X-H, Zhang H-R, Lu J, *et al*. Community structure characteristics and spatial distribution of dominant species of secondary *Quercus mongolica* forest in Changbai Mountains, China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2019, **30**(5): 1571-1579 (in Chinese)