

新疆阿尔泰山地天然针叶林林分空间结构特征

张帆¹, 刘华¹, 方岳¹, 白志强^{2*}, 叶高¹, 韩燕梁²

(1. 安徽农业大学林学与园林学院, 合肥 230036; 2. 新疆林业科学院森林生态研究所, 乌鲁木齐 830000)

摘要: 阿尔泰山地分布的以西伯利亚落叶松、西伯利亚云杉和西伯利亚红松为主要树种组成的天然针叶林, 是我国典型的西西伯利亚山地南泰加林的代表。利用角尺度, 混交度和大小比数 3 个林分空间结构参数分析阿尔泰山地天然针叶林空间结构特征。结果表明: (1) 林分角尺度均值为 0.509, 表明阿尔泰山地天然针叶林的林分总体呈随机分布格局; 随着林木直径的增大, 分布格局模式为“随机分布—团状分布—随机分布”; (2) 林分的平均混交度为 0.629, 属于由不同树种组成的中强度混交, 西伯利亚云杉混交度最小, 且随着林木径阶的增加, 混交度呈逐渐增加的趋势; (3) 西伯利亚冷杉和西伯利亚落叶松在林分中具有明显优势的地位, 而西伯利亚红松处于劣态。随着林木胸径的增大, 林木的大小比数逐渐减小, 大小分化却由小径木的劣态转到中径木的优势地位, 再到大径木的绝对优势地位。在阿尔泰山天然针叶林经营中, 可以考虑把大径阶的西伯利亚落叶松作为采伐木, 达到优化林分结构的目的。

关键词: 天然针叶林; 角尺度; 混交度; 大小比数; 阿尔泰山

中图分类号: S750

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2014)04-0629-07

Stand spatial structure of natural coniferous forest in the Altai Mountains of Xinjiang

ZHANG Fan¹, LIU Hua¹, FANG Yue¹, BAI Zhiqiang², YE Gao¹, HAN Yanliang²

(1. School of Forest & Landscape Architecture, Anhui Agricultural University, Hefei 230036;

2. Institute of Forest Ecology, Xinjiang Forestry Academy, Urumqi 830000)

Abstract: Natural coniferous forest in the Altai Mountains in Xinjiang province is a typical forest type of the southern taiga, which is mainly composed of *Larix sibirica*, *Picea obovata* and *Pinus sibirica*. Parameters of stand structure such as neighborhood pattern, mingling degree, and neighborhood comparison were used to analyze the spatial structure of the natural coniferous forest in the Altai Mountains. The results were as follows. (1) Stand mean neighborhood pattern was 0.509, which indicated that the stand was randomly distributed. With the increase of tree diameter, its distribution pattern changed from random distribution to cluster distribution, and then to random distribution. (2) The average value of mingling degree was 0.629, indicating that different tree species were intensively mingled. The mingling degree of *P. obovata* was the lowest and it gradually increased with the increase of the diameter classes. (3) *Abies sibirica* and *L. sibirica* possessed a more dominant position than *P. sibirica* in the stand. It was observed that neighborhood comparison decreased with the increase of tree diameter. So, in order to optimize the structure of the stand, *L. sibirica* of large diameter class should be used as cutting wood in managing the natural coniferous forest in the Altai Mountains.

Key words: natural coniferous forest; neighborhood pattern; mingling degree; neighborhood comparison; Altai Mountains

林分空间结构是指林木在林地上的分布格局及其属性在空间上的排列方式^[1], 反映了林分中林木之间的竞争优势和空间生态位。综合其他因素全面

分析林分结构是制定正确的林业经营措施, 以及决定生物多样性和生境的重要因子。对于林分结构的表达, 主要分为传统森林经理学方法和以相邻木为

收稿日期: 2014-02-10

基金项目: 西北华北森林可持续经营技术研究与示范 (2012BAD22B0301) 和新疆阿尔泰山森林生态系统定位研究站开放基金共同资助。

作者简介: 张帆, 硕士研究生。E-mail: 814808213@qq.com

* 通信作者: 白志强, 高级工程师。E-mail: 13999829959@163.com

基础的现代森林经理学方法^[2]。其中,传统森林经理学主要以胸径、树高、年龄、树种组成和密度等方面加以描述。而现代森林经理学方法主要是在传统方法的基础上,采用一种新的空间结构指标,从相邻木的单元结构出发分析林分水平和垂直异质性,典型的指标是由惠刚盈等^[3-5]提出的混交度、角尺度和大小比数等3个林分结构参数,它们分别描述树种空间隔离程度,水平空间分布格局和大小分化程度。近年来,对林分结构的研究主要集中在描述和解释林分空间结构及其关系^[6-8],而调整不合理林分空间结构业已成为林分结构研究的重点^[9-11]。森林可持续经营是林业可持续发展的核心,而林业同时又是环境可持续发展的基础。调整并维持林分合理的空间结构,是实现森林可持续经营目标的重要技术途径。随着森林经营水平的逐步提高,生产实践中更加需要全面的林分空间结构特征,以识别森林生态系统的健康和稳定,达到优化林分空间结构的目的。

阿尔泰山地天然针叶林作为我国典型的西西伯利亚山地南泰加林代表,它特殊的地理位置和完整的植被带谱成为了研究林分结构的理想场所。获取代表类型泰加林的结构信息,是从事当地生物多样性保护和森林经营管理的前提条件。在以往对阿尔泰山地森林生态系统的研究主要集中在物种多样性^[12]和群落格局方面^[13],对其空间结构特征的研究未见相关报道。本研究在阿尔泰山西端的喀纳斯国家自然保护区的阿尔泰森林生态定位站 25 hm² 长期固定监测大样地内进行,以相邻木为单元构建的林分空间结构出发,采用角尺度、大小比数和混交度等空间结构参数,以期用泰加林林分结构指导森林经营,按照阿尔泰针叶林的演替过程安排经营措施,为保护和恢复新疆喀纳斯林区的天然针叶林提供理论依据。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

阿尔泰山地天然针叶林林分空间结构特征研究在喀纳斯自然保护区长期固定大样地内进行。喀纳斯国家自然保护区位于阿尔泰山脉西端,具有明显的大陆性气候特点,春秋温暖,冬季寒冷,全年没有夏天,是我国西伯利亚冷湿气流入境的前锋,年平均气温为-0.2℃,年平均降水量 1065 mm,年平均蒸发量为 1097 mm,无霜期 80~108 d。保护区内的天然针叶林是我国保存最完好和最典型的泰加林森林类型,加之大面积分布的山地灌丛和草甸草

原,构成完整的自然生态系统。

保护区内 25 hm² 的长期动态监测固定大样地(N48°41'54"~48°42'8"; E86°57'15"~86°57'22")设置在海拔 1650~1750 m 之间,平均坡度 15°,坡向北,林分密度 1741 株·hm²,郁闭度为 0.73,平均树高 11.1 m,平均胸径 14.2 cm。样地内乔木主要以西伯利亚落叶松(*Larix sibirica* Ldb.)、西伯利亚云杉(*Picea obovata* Ldb.)、西伯利亚冷杉(*Abies sibirica* Ldb.)、西伯利亚红松(*Pinus sibirica* Ldb.)、疣枝桦(*Betula pendula* Roth.)和五蕊柳(*Salix pentandra* L.)为主。灌木优势种有阿尔泰忍冬(*Lonicera caerulea* var. *altaica* Pall)、大叶绣线菊(*Spiraea chameadryfolia* L.)、多刺蔷薇(*Rosa spinosissima* L.)和黑果栒子(*Cotoneaster melanocarpus* Lodd.)等。草本优势种有林地早熟禾(*Poa nemoralis* L.)、多叶苔草(*Carex polyphylla* Kar. et Kir.)、阿尔泰羽衣草(*Alchemilla pinguis* Juz.)、白喉乌头(*Aconitum leucostomum* Worosch.)、白花砧草(*Galium boreale* L.)、红果越橘(*Vaccinium vitis-idaea* L.)、西伯利亚铁线莲(*Clematis sibirica*(L.) Mill.)和圆叶鹿蹄草(*Pyrrola rotundifolia* L.)等。

1.2 野外调查

该区不同的群落类型代表了森林群落演替的不同阶段。演替前期,阳性树种西伯利亚落叶松和疣枝桦,凭借生长速度和耐瘠薄,首先在裸地上定居,后期西伯利亚云杉和西伯利亚红松数量增加,生物多样性提高,这也是较优的林分结构。在动态监测固定大样地内,采用垂直样带法进行林分结构调查,样带宽度 30 m,长度 490 m。为了避免边缘林木的影响,在样带四周设置 5 m 的缓冲区。对样方内的乔木(包括幼苗、倒木、枯立木、伐桩等)进行每木检尺,记录树种名称、生长状况,测量其胸径、树高、冠幅等林分因子和坡向、坡度等生境因子。其中,以样带的左下角为坐标原点(0, 0),建立坐标系,确定每棵树的坐标(X, Y)。

1.3 林分结构参数及其意义

参考惠刚盈等^[3-5]提出的角尺度、混交度和大小比数等3个空间结构参数,分析阿尔泰山地天然针叶林的结构特征。角尺度(W_i)是描述个体在水平面上的空间分布格局,被定义为 α 角小于标准角^[14] $\alpha_0(\alpha_0=72^\circ)$ 的个数占所考查的4个夹角的比例,主要用来描述林木个体分布格局和借助于它来重建复杂的林分结构;角尺度均值(\bar{W})是林木角尺度的平均值,当 $0.475 \leq \bar{W} < 0.517$ 时,林分呈随机分布;当 $\bar{W} < 0.475$ 时,林分为均匀分布;当 $\bar{W} > 0.517$ 时,

林分为团状分布。混交度 (M_i) 体现空间隔离程度, 被定义为参照树的最近相邻木与参照树不属同种的个体所占比例, 混交度均值(\bar{M})反映了林木个体的平均混交度; 大小比数(U_i)是用来描述林分的大小分化程度, 被定义为大于参照树的相邻木数占所考查的最相近木数的比例, 比较值可以是胸径、树高或树冠的大小, 大小比数均值(\bar{U})反映了林木的生长优先程度, 其值越小越优先。林分空间结构参数及意义见表 1。

对于不同径级树木空间结构分析时, 首先采用

上限外排法, 以 8 cm 为一个径阶进行径级结构的划分, 并统计调查样带中林木径阶分布的情况, 其中 $DBH \leq 16$ cm 的林木定义为小径木, $16 \text{ cm} < DBH \leq 48$ cm 范围的定义为中径木, $DBH > 48$ cm 的定义为大径木, 计算不同径阶的林木角尺度、混交度和大小比数。3 个参数都是对一个空间结构单元而言的, 每个林木都可以为参照树。

1.4 数据统计与分析

采用 Winkelmass 1.0 程序计算林分的混交度、大小比数和角尺度。

表 1 林分空间结构参数及其意义
Table 1 Stand spatial structure parameters and its meanings

空间结构参数 Spatial structure parameters	公式 Formula	备注 Remark
角尺度 Neighborhood pattern	$W_i = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 z_{ij}$	当第 j 个 α 角小于标准角时, z_{ij} 的取值是 1; 反之, z_{ij} 的取值为 0。 $W_i=0$, 绝对均匀分布; $W_i=0.25$, 均匀分布; $W_i=0.5$, 随机分布; $W_i=0.75$, 不均匀分布; $W_i=1$, 团状分布
角尺度均值 Average value of neighborhood pattern	$\bar{W} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n W_i$	n 为参照树 i 总株数
混交度 Mingling degree	$M_i = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 v_{ij}$	当参照树 i 与第 j 株相邻木非同种时, v_{ij} 的取值为 1; 反之, v_{ij} 的取值为 0, $M_i=0$, 零度混交; $M_i=0.25$, 弱度混交; $M_i=0.5$, 中度混交; $M_i=0.75$, 强度混交; $M_i=1$, 完全混交
混交度均值 Average value of mingling degree	$\bar{M} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n M_i$	n 为林分总株数; M_i 为第 i 株个体的混交度
大小比数 Neighborhood comparison	$U_i = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 k_{ij}$	当相邻木 j 比参照木 i 大, k_{ij} 的取值为 1; 反之, k_{ij} 的取值为 0, $U_i=0$, 目标树处于绝对优势; $U_i=0.25$, 目标树处于优势; $U_i=0.5$, 目标树处于中庸; $U_i=0.75$, 目标树处于劣势; $U_i=1$, 目标树处于绝对劣势
大小比数均值 Average value of neighborhood comparison	$\bar{U} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n U_i$	n 为参照树的总株数; U_i 为第 i 株树木的大小比数

2 结果与分析

2.1 林木个体的分布格局

阿尔泰山地天然针叶林角尺度大小表明了林木的个体分布格局, 角尺度频率分布见图 1。样带的平均角尺度为 0.509, 说明林分总体空间格局呈随机分布。其中, 角尺度值为 0 和 1 的分布频率值分别为 0.95% 和 4.54%, 说明林分中绝对均匀的结构单元极少出现, 团状的结构单元分布也较少, 但其出现频度是均匀单元出现频度的 5 倍左右; 角尺度为 0.5 的分布频率值最高, 达到了 57.59%, 其 0.25 和 0.75 的频度分别为 21.26% 和 21.15%, 林分角尺度的分布属于正态分布。

由图 2 看出, 阿尔泰山地天然针叶林小径阶林木为随机分布, 这一部分的林木占总株数的 66.8%, 和林分整体空间格局相同; 中径木株数占到 30.6%, 林木以随机分布为主, 但是当直径增大到 44 cm 时, 林分格局变为团状分布; 大径木株数占到 2.6%, 林分结构主要为团状分布, 但是当直径为 68 cm 时,

空间格局变为均匀分布。

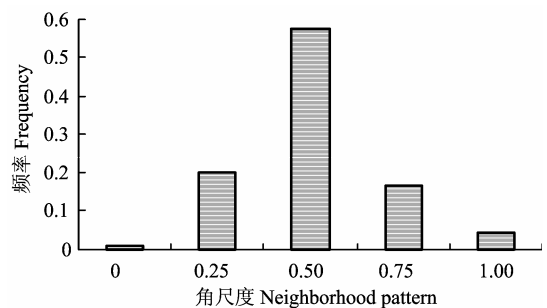


图 1 阿尔泰山地天然针叶林角尺度频率分布
Figure 1 Neighborhood pattern frequency distribution in the natural coniferous forest of the Altai Mountains

2.2 树种的空间隔离程度

不同树种混交度和频率分布见表 2。阿尔泰山地天然针叶林平均混交度为 0.629, 达到中度及以上混交的个体数占 80.95%。西伯利亚落叶松、西伯利亚云杉和西伯利亚冷杉较少出现单种聚集, 均为不同树种的混交。针叶树种中, 西伯利亚冷杉的平均混交度最高, 达到了 1.000, 为完全混交的水平;

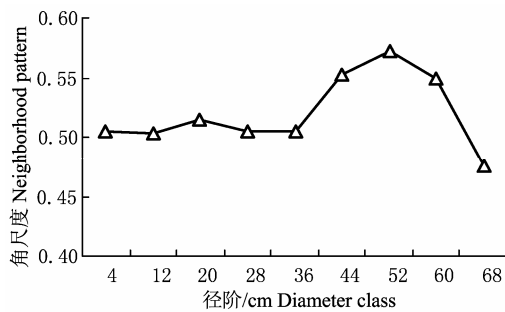


图2 阿尔泰山地天然针叶林不同径阶角尺度分布
Figure 2 Neighborhood pattern distribution with different diameter classes in the natural coniferous forest of the Altai Mountains

优势树种西伯利亚落叶松强度以上混交达 62.6%，优势明显；西伯利亚云杉平均混交度为 0.558，且零度混交和弱度混交比例分别达到了 6.8%和 20.2%，加之西伯利亚云杉数量上的优势，导致混交度偏低；西伯利亚红松和西伯利亚云杉在中度混交度时概率相当，而平均混交度却大于西伯利亚云杉，说明其中强度混交较大。阔叶树种疣枝桦和五蕊柳不存在单种聚集情况，处于强度混交和完全混交，对林分混交程度存在一定的影响。

表2 阿尔泰山地天然针叶林各树种混交度及频率分布

Table 2 Mingling degree and its frequency distribution of tree species of natural coniferous forest in Altai Mountains

树种 Tree species	株数 Number	混交度频率 Frequency of mingling degree					平均混交度 Average mingling degree
		0	0.25	0.5	0.75	1	
西伯利亚落叶松 <i>L. sibirica</i>	521	0.023	0.088	0.263	0.388	0.238	0.683
西伯利亚云杉 <i>P. obovata</i>	791	0.068	0.202	0.291	0.310	0.129	0.558
西伯利亚红松 <i>P. sibirica</i>	487	0.037	0.146	0.292	0.343	0.183	0.623
疣枝桦 <i>B. pendula</i>	71	0.000	0.000	0.028	0.113	0.859	0.958
西伯利亚冷杉 <i>A. sibirica</i>	2	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000
五蕊柳 <i>S. pentandra</i>	24	0.000	0.000	0.000	0.125	0.875	0.969

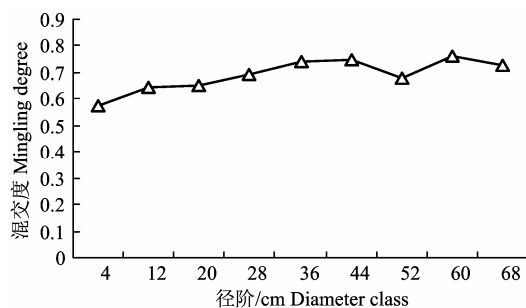


图3 阿尔泰山地天然针叶林不同径阶混交度分布
Figure 3 Mingling degree distribution with different diameter classed in the natural coniferous forest of the Altai Mountains

不同径阶的树种混交度见图 3。除 52 径阶外，随着林木径阶的增加，混交度呈递增的趋势。小径阶林木混交度值在 0.5 左右，属于中度混交；中径木逐渐从中度混交转向强度混交，而大径阶林木混交度处于强度混交。其中，处于 52 径阶林木中，西伯利亚落叶松具有明显优势，导致该处的混交度有所降低。

不同大小等级林木的混交度见图 4。除西伯利亚冷杉外，小径木中不同树种的混交度略小于中径木的，而大径木树种只有西伯利亚落叶松。西伯利亚落叶松小、中和大径木的混交度分别为 0.640、0.699 和 0.717，处于中度与强度混交之间，这是由于西伯利亚落叶松属于乔木层的上层优势种，其混交度水平高^[15]。中小径阶的疣枝桦和五蕊柳作为天然更新的阔叶树种，在低海拔且近山地河流的地点有小面积的散生，并与大面积的西伯利亚落叶松、西伯利亚云杉等混生，混交度大，林分结构稳定；西伯利亚云杉和西伯利亚红松小、中径木混交度相当，均属中度混交，这说明西伯利亚云杉和西伯利亚红松小、中径木的林分结构较一致。

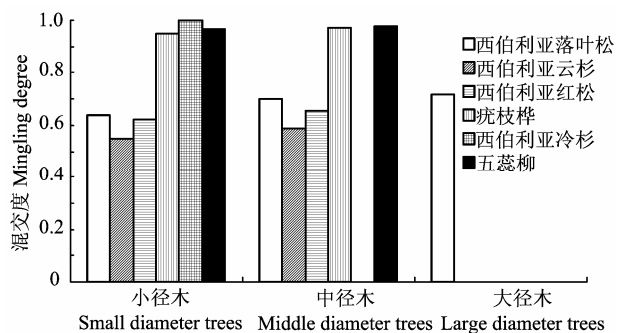


图4 阿尔泰山地天然针叶林不同大小等级林木的混交度
Figure 4 Mingling degree of trees with different diameter classes in the natural coniferous forest of the Altai Mountains

2.3 林木大小分化程度

以胸径指标来计算林分的大小比数反应了林木

个体的分化程度(表 3)。调查样带的林分平均大小比数为 0.503，表示各树种在生长上处于中庸状态。根

据大小比数的定义, 大小比数的取值越大, 代表相邻木比参照树胸径大, 参照树不占优势, 所以各树种的优势度排列顺序为: 西伯利亚冷杉>西伯利亚落叶松>柳>疣枝桦>西伯利亚云杉>西伯利亚红松。其中, 西伯利亚冷杉平均大小比数为 0.125, 介于 0 和 0.25 之间; 西伯利亚落叶松平均大小比数为 0.25~0.5 之间, 处于优势和中庸地位之间, 西伯利亚落叶松大小比数小于 0.25 的频率为 72.1%, 说明其相邻木中胸径大于观测树的个体很少, 它在林分

中处于优势和亚优势的个体比例较高; 西伯利亚云杉的大小比数接近 0.5, 说明其在林分中胸径比它大的和比它小的数量上基本相同; 西伯利亚红松近 59.9% 处于受压迫的状态, 18.5% 的处于优势状态。阔叶树种疣枝桦平均大小比数为 0.437, 处于优势地位的占 43.6%, 且疣枝桦只有中强度混交, 表明疣枝桦在林分中占有优势地位, 在未来的发展中可以表现出更强的竞争力; 五蕊柳属于中等大小的阔叶树种, 处于优势地位, 平均混交度也达到了 0.969。

表 3 阿尔泰山地天然针叶林各树种大小比数及频率分布

Table 3 Neighborhood comparison and its frequency distribution of natural coniferous forest in the Altai Mountains

树种 Tree species	株数 Number	大小比数频率 Frequency of neighborhood comparison					平均大小比数 Average neighborhood comparison
		0	0.25	0.5	0.75	1	
西伯利亚落叶松 <i>L. sibirica</i>	521	0.464	0.257	0.152	0.088	0.038	0.244
西伯利亚云杉 <i>P. obovata</i>	791	0.097	0.191	0.212	0.243	0.257	0.593
西伯利亚红松 <i>P.s sibirica</i>	487	0.080	0.136	0.185	0.281	0.318	0.655
疣枝桦 <i>B. pendula</i>	71	0.239	0.197	0.254	0.197	0.113	0.437
西伯利亚冷杉 <i>A. sibirica</i>	2	0.500	0.500	0.000	0.000	0.000	0.125
五蕊柳 <i>S. pentandra</i>	24	0.375	0.250	0.250	0.083	0.042	0.292

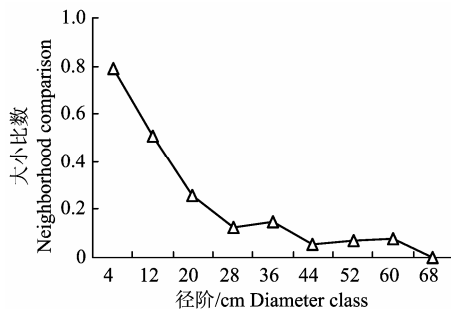


图 5 阿尔泰山地天然针叶林不同径阶大小比数分布

Figure 5 Neighborhood comparison distribution with different diameter classes in the natural coniferous forest of the Altai Mountains

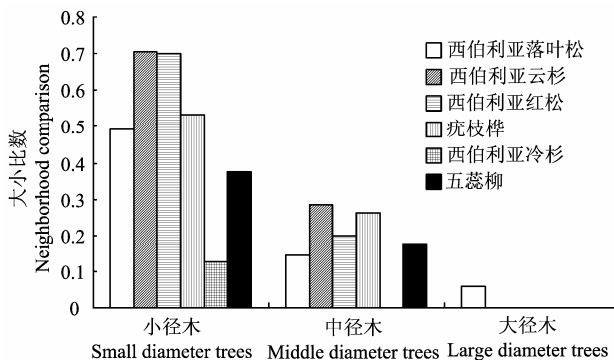


图 6 阿尔泰山地天然针叶林不同大小等级林木大小比数

Figure 6 Neighborhood comparison of trees with different diameter classes of natural coniferous forest in the Altai Mountains

由不同径阶的大小比数见图 5。随着胸径的增

大, 大小比数呈减小的趋势, 相邻木的直径大于参照木的数量在减少, 林木的优势逐渐增强。而小径木的大小比数处于劣态, 甚至于绝对劣态; 而中径木由劣态逐渐转向优势地位; 大径木处于绝对优势地位。

由图 6 可知, 随着胸径的增加, 阿尔泰山地天然针叶林的树种大小比数降低。小径木中除西伯利亚冷杉和五蕊柳处于优势地位之外, 其余的都处于劣态, 西伯利亚云杉受压最明显; 中径木各树种优势都得到加强, 西伯利亚落叶松和疣枝桦从中庸变为优势地位, 西伯利亚云杉和西伯利亚红松由劣态转向优势地位, 而五蕊柳的优势地位得到加强; 西伯利亚落叶松作为唯一的大径木树种, 优势明显。

3 小结与讨论

3.1 林木个体分布格局

阿尔泰山地天然针叶林林分水平空间分布格局为随机分布。众所周知, 未经干扰的天然林群落空间分布格局为随机分布, 空间结构也相对稳定。随着径阶的增大, 相邻木之间分布趋于均匀, 这主要是因为随着群落的演替, 随着林木生长发育, 林分团状分布逐步得到缓解, 会逐渐使林分结构更加趋于均匀^[16]。在一些特殊的林分类型中, 林木个体分布格局也呈现出聚集或团状分布的特点, 如杨艳锋等^[17]研究北京元宝枫人工林的角尺度值在 0.5 以上

的频率远大于 0.5 以下的, 呈团状分布格局; 柏云龙等^[18]研究天山云杉次生纯林的林木个体也为团状分布; 长白山林区在原始林经过采伐后自然形成的长白落叶松-云杉-冷杉混交林林分分布格局为团状分布^[1,15]。因此, 在林分管理的过程中应充分考虑其个体分布格局特点, 有针对性的进行调整, 经过种内或种间竞争或长时间的自然演替, 使其结构特征更趋于理想林分结构, 最终形成空间结构的最优林分。特别是对于呈团状分布的林分, 需要将角尺度 $W_i=1$ 或 $W_i=0$ 的单木作为被伐木或调整对象, 促进角尺度左右对称, 最终形成随机分布。

3.2 林分空间隔离程度

林学上常用的混交比表示树种间的比例关系, 是从宏观尺度上说明的树种混交程度, 并不能从单木角度得出树种空间搭配状况^[19]; 而本文采用的林分混交度是基于相邻木的空间搭配来进行描述不同林木的空间位置及其配比关系, 具有更大的信息量。

阿尔泰山地天然针叶林为中强度混交, 林分的稳定性强, 这与安慧君^[20]的研究结果相吻合: 越向稳定群落发展, 混交频率越高。而且随着林木胸径的增大, 不同树种的混交度由中度混交转向强度混交, 参照树周围树种类型复杂, 林分内物种多样性也随之提高, 种间联系密切, 种内的竞争有所减少^[21,22]。每个树种的混交度水平又与演替阶段、更新方式、繁殖策略、物种多度等有关, 稀有种同种聚集的机会较少, 相应的混交度水平较高。阿尔泰山地天然针叶林中西伯利亚冷杉的混交度最高, 这是由于西伯利亚冷杉数量少, 周围相邻木均是不同种树木, 在空间上配置上均故呈现完全混交。长白山次生白桦林和红松林中, 更新良好, 各个径阶都有分布, 同种聚集的机会较大, 在生长过程中, 同种大树和小树之间竞争激烈, 自疏作用明显, 林分总体混交度偏低^[9,15]。但是, 人工林混交度普遍较低^[23], 这是由于人工林基本上是乡土树种, 生长优势明显, 对其它树种有排斥作用, 导致人工林的其他树种幼苗的天然更新缓慢。因此, 在森林经营中保留有助于提高混交度的树种通过人工促进天然更新等措施为珍贵阔叶幼树提供生长空间, 以提高林分混交程度。

3.3 林分大小分化程度

在数量化大小比数时常常采用树高和胸径作为指标体现树种优势^[24,25]。但考虑到树高在测量过程中误差较大, 本文选择胸径大小来代替树高作为研究的参数。阿尔泰山地天然林针叶树种在胸径大小对比上占有一定的优势, 西伯利亚冷杉的优势最强

是因为冷杉株数少, 且呈团状分布, 在结构单元中相对胸径较大, 所以处于绝对优势地位; 西伯利亚红松的劣态可能是该种群进入群落时间较晚, 处于种群的初始演替阶段; 西伯利亚落叶松总体上处于优势地位, 且处于绝对优势和优势的比例为 72.1%, 说明西伯利亚落叶松有一半以上为优势树且胸径较大。林分内的五蕊柳的大小比数较小, 但其相邻木的种类多样导致其混交度高, 也可以说明五蕊柳作为林分的下层林木, 具有一定的耐荫特性。随着径阶的增加, 林木的大小比数逐渐降低, 主要是由于大径木优势树种落叶松呈聚集分布, 优势地位明显。人工林的大小比数显示了林分处于优势地位^[26], 这是由于林木种类单一, 年龄和高矮接近, 密集单一的树冠遮挡住了阳光, 林下更新的树种少并且都处于劣态。长白山混交林经过了人为干扰以后, 林分还处于演替的早期阶段, 林分整体上呈中庸状态^[1], 大小比数很好地验证了该演替阶段各树种在垂直方向上的竞争情况和发展趋势。因此, 通过抚育间伐逐步降低林分中优势树种中、小径木的比例使林分径级分布趋于合理^[27]。

空间结构参数对分析阿尔泰山区喀纳斯景区内的天然针叶林林分结构有较强的解析能力。综合分析来看, 随着径阶的增大, 大径木周围的树种较多, 其周围林分的生物多样性提高并且优化了林分的水平空间结构, 而且林木优势也得到加强, 说明该林分总体上是落叶松优势树种占优势的稳定演替阶段。优化林分结构的森林经营就是要按照森林的自然生长和演替过程安排经营措施^[28]。在对比分析相关研究可知, 根据 3 个指标的取值来确定采伐木是森林经营的主要措施。在阿尔泰山天然林区, 林下更新的实生苗较多, 实生苗具有较强的竞争力, 可以通过对其生长不同阶段进行适当的透光伐, 促进幼树的生长恢复, 加速幼苗的更新, 增大林分的混交度; 在人为调整林分结构时, 应该对顶级或主要伴生树种的中、大径木进行调整^[29], 可以适当将大径阶的西伯利亚落叶松作为调整对象, 减弱它的优势度, 提供更好的竞争环境, 使这一部分林分结构向随机分布调整, 改善树种组成以及竞争关系, 提高生物多样性, 达到群落与环境相对稳定的状态。

参考文献:

- [1] 张会儒, 武纪成, 杨洪波, 等. 长白落叶松-云杉-冷杉混交林林分空间结构分析[J]. 浙江林学院学报, 2009, 26(3): 319-325.
- [2] Pretzsch H. Description and analysis of stand structures[M]//Pretzsch H. Forest dynamics, growth and yield.

- Springer Berlin Heidelberg, 2010: 223-289.
- [3] 惠刚盈, Gadow K V, Albert M. 角尺度—一个描述林木个体分布格局的结构参数[J]. 林业科学, 1999, 35(1): 37-42.
- [4] 惠刚盈, Gadow K V, Albert M. 一个新的林分空间结构参数—大小比数[J]. 林业科学研究, 1999, 12(1): 1-6.
- [5] 惠刚盈, 胡艳波. 混交林树种空间隔离程度表达方式的研究[J]. 林业科学研究, 2001, 14(1): 23-27.
- [6] Suzuki S N, Kachi N, Suzuki J I. Variability of local spatial structure in a wave-regenerated *Abies* forest[J]. Ecological Research, 2012, 27(5): 893-901.
- [7] 董灵波, 刘兆刚, 马妍, 等. 天然林分空间结构综合指数的研究[J]. 北京林业大学学报, 2013, 35(1): 16-22.
- [8] Habashi H, Hosseiniand S M, Rahmani R, et al. Stand structure and spatial patterns of trees in mixed Hyrcanian Beech forest, Iran[J]. Pakistan Journal of Biological Sciences: PJBS, 2007, 10(8): 1205-1212.
- [9] Reich R M, Aguirre-bravo C. Small-area estimation of forest stand structure in Jalisco, Mexico[J]. Journal of Forestry Research, 2009, 20(4): 285-292.
- [10] 惠刚盈, 胡艳波. 角尺度在林分空间结构调整中的应用[J]. 林业资源管理, 2006, 4(2): 31-35.
- [11] Unna C, White A. Structure and spatial patterns of trees in old-growth northern hardwood and mixed forests of northern Maine[J]. Plant Ecology, 2001, 156(2): 139-160.
- [12] 张荟荟, 潘存德, 巴尔扎别克·阿斯勒汗, 等. 喀纳斯旅游区森林群落类型及其物种多样性随海拔梯度的变化[J]. 新疆农业科学, 2008, 45(2): 225-231.
- [13] 程平, 潘存德, 朱跃峰, 等. 新疆喀纳斯旅游区森林群落格局分析及其环境解释[J]. 新疆农业大学学报, 2011, 34(5): 367-373.
- [14] 惠刚盈, Gadow K V, 胡艳波. 林分空间结构参数角尺度的标准角选择[J]. 林业科学研究, 2004, 17(6): 687-692.
- [15] 夏富才, 姚大地, 赵秀海, 等. 长白山北坡阔叶红松林空间结构[J]. 东北林业大学学报, 2009, 37(10): 5-7.
- [16] 徐海, 惠刚盈, 胡艳波, 等. 天然红松阔叶林不同径阶林木的空间分布特征分析[J]. 林业科学研究, 2006, 19(6): 687-691.
- [17] 杨艳锋, 郑小贤, 梁雨, 等. 北京八达岭林场元宝枫人工林分结构研究[J]. 林业资源管理, 2008(2): 57-60.
- [18] 柏云龙, 刘华, 白志强, 等. 天山云杉天然林群落空间结构异质性分析[J]. 植物科学学报, 2012, 30(6): 552-557.
- [19] 岳永杰, 余新晓, 李刚铁, 等. 北京松山自然保护区蒙古栎林的空间结构特征[J]. 应用生态学报, 2009, 20(8): 1811-1816.
- [20] 安慧君. 阔叶红松林空间结构的研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2003.
- [21] Rozas V, Zas R, Solla A. Spatial structure of deciduous forest stands with contrasting human influence in north-west Spain[J]. European Journal of Forest Research, 2009, 128(3): 273-285.
- [22] Graz P F. The behaviour of the measure of surround in relation to the diameter and spatial structure of a forest stand[J]. European Journal of Forest Research, 2008, 127(2): 165-171.
- [23] 王威, 郑小贤, 梁雨, 等. 北京八达岭林场黄栌风景林空间结构分析[J]. 东北林业大学学报, 2008, 36(2): 25-26.
- [24] Rozas V. Structural heterogeneity and tree spatial patterns in an old-growth deciduous lowland forest in Cantabria, northern Spain[J]. Plant Ecology, 2006, 185(1): 57-72.
- [25] Wells M L, Getis A. The spatial characteristics of stand structure in *Pinus torreyana*[J]. Plant Ecology, 1999, 143(2): 153-170.
- [26] 宁杨翠, 郑小贤, 梁雨, 等. 北京八达岭油松人工林结构分析[J]. 林业科技开发, 2008, 22(1): 47-49.
- [27] 袁士云, 张宋智, 刘文楨, 等. 小陇山辽东栎次生林的结构特征和物种多样性[J]. 林业科学, 2010, 46(5): 27-34.
- [28] Suzuki S N, Kachi N, Suzuki J I. Spatial variation of local stand structure in an *Abies* forest, 45 years after a large disturbance by the Isewan typhoon[J]. Journal of Forest Research, 2013, 18: 139-148.
- [29] Allen M S, Thapa V, Arévalo J R, et al. Windstorm damage and forest recovery: accelerated succession, stand structure, and spatial pattern over 25 years in two Minnesota forests[J]. Plant Ecology, 2012, 213(11): 1833-1842.