

大兴安岭主要森林类型林分空间结构及最优树种组成

董灵波, 刘兆刚*, 李凤日, 蒋 蕾

(东北林业大学林学院, 黑龙江 哈尔滨 150040)

摘要:以 2011—2012 年大兴安岭的 44 块固定样地调查数据为基础,以常用的林分空间结构参数(角尺度、大小比、混交度、林分空间结构指数和林分空间结构距离)为切入点,对大兴安岭主要森林类型的林分空间结构特征及最优树种组成进行研究。结果表明:天然落叶松林、针叶混交林以及针阔混交林的林木水平分布格局均表现为随机分布,而白桦林则为明显的聚集分布;4 种林型中树木的生长整体处于中庸状态,落叶松处于明显优势地位,其他伴生树种则处于不同程度受压状态;落叶松混交程度随着其优势程度的增加而降低,其他伴生树种则具有较高的混交度,整体上天然落叶松林、白桦林的树种空间隔离程度较低,而针叶混交林、针阔混交林的林分平均混交度相对较高;大兴安岭 4 种主要森林类型林分空间结构的优劣表现为针阔混交林 > 针叶混交林 > 天然落叶松林 > 天然白桦林;天然落叶松林最优的树种组成为 8 落,其次为 7 落。

关键词:森林类型;林分空间结构;树种组成;大兴安岭

中图分类号:S758.5

文献标识码:A

Quantitative Analysis of Forest Spatial Structure and Optimal Species Composition for the Main Forest Types in Daxing'anling, Northeast China

DONG Ling-bo, LIU Zhao-gang, LI Feng-ri, JIANG Lei

(Forestry College, Northeast Forestry University, Harbin 150040, Heilongjiang, China)

Abstract: Forest health management is one of the research hotspots at the present stage, and the key is to maintain and create the optimal forest spatial structure. The forest spatial structure (FSS) and optimal species composition were studied with the commonly-used forest spatial structure parameters (i. e. mingling, neighborhood comparison, neighborhood pattern, forest spatial structure index (FSSI), and forest spatial structure distance (FSSD)) based on the data of 44 plots in Daxing'anling Mountains of northeast China, which were collected in the 2011 and 2012. The results showed that the horizontal distribution pattern of natural *Larix gmelini* (LG), coniferous mixed (CM) and coniferous-broadleaved mixed (CBM) stands mainly followed the random distribution, and the *Betula platyphylloides* (BP) natural forest followed the typical cluster distribution. The tree growth of the four forest types were moderate as a whole, in which *L. gmelini* was at the dominant position and the others species were squeezed with different degrees. And the mixed degree of *L. gmelini* was reduced with the increase of its dominance, the other species had a higher mixed degree of species. As a whole, the mixed degree of species for LG and BP forest were relative lower (0.20 and 0.07), but the two mixed forest types were higher (0.45 and 0.56). Significant difference of FSS was

收稿日期:2013-11-26

基金项目:林业公益性行业科研专项(20100400207),黑龙江大兴安岭过伐林的多功能优化经营技术研究与示范(2012BAD22B0202),东北碳汇林优化培育关键技术与示范(2011BAD37B02)项目资助

作者简介:董灵波,在读博士研究生。主要研究方向:森林经理。电话:0451-82191751 Email:farrell0503@126.com

* 责任作者:博士,教授。主要研究方向:森林经理。电话:0451-82191751 Email:lzgj9700602@163.com

found among the four main forest types in study area, the order was CBM > CM > LG > BP. From the viewpoint of maintaining and creating the optimal forest spatial structure, it was found that the proportion of *L. gmelini* accounted for 80% of the whole forest was the optimal species composition for the LG forest.

Key words: forest type; forest spatial structure; species composition; Daxing' anling

森林结构由空间结构和非空间结构组成。非空间结构描述的是林分特征的一种平均状态,如胸径、树高、林分密度等,已经被广泛应用于森林资源调查、经营、监测和评价体系中^[1-3]。根据森林资源清查和现代森林经理的观点,林分空间结构包括描述林木个体水平分布格局的角尺度^[4]、体现树种空间隔离程度的混交度^[5]以及反映林木个体竞争状态的大小比数^[6],这3个指标完全可以恰当地表征一个林分的空间结构,甚至可以在适合的参数基础上人工重建复杂的林分结构^[4,7]。因此,森林结构可以帮助了解森林的发展历史、现状和生态系统将来的发展方向,已发展成为分析和和管理森林生态系统的关键因子^[8]。自惠刚盈等提出角尺度、大小比和混交度等^[4-6]以来,国内外林业工作者运用这些参数对不同地区、不同林分类型、不同经营措施以及不同年龄的林分空间结构特征进行了大量的研究^[9-13]。但是这些研究只是独立的运用各参数分别从3个不同的角度对林分空间结构进行分析,忽略了林分空间结构作为一个整体的自然属性。因此,只有将其作为一个整体来分析和研究林分空间结构的特征与变化,才能更为客观地表达林分的结构与功能质量。

树种组成是林业科研和生产中容易调查和描述的指标之一,但在林业经营中要操作树种组成却是十分困难的,调整过程往往需要很长的时间和复杂的技术。因此,确定合理的树种组成对创建和维护健康稳定的森林生态系统具有重要作用。以往对于树种组成的确定,主要是通过设置不同树种组成的样地从林分的结构、物种多样性、生产力等方面来定性确定^[14-15],但这些方面往往是相互矛盾的,即不存在一个最优的树种组成使所有目标同时达到最优状态。林分状态某一方面的改善,往往是以牺牲其他一个或多个方面为代价。因此,只有通过定量的方法才能确定最优(或满意)的树种组成。

笔者在前期研究中,根据微观经济学中柯布-道格拉斯生产函数的相关理论,以常用的林分空间结构参数(角尺度、大小比和角尺度)为切入点,构建了林分空间结构指数(forest spatial structure index, FSSI)和林分空间结构距离(forest spatial struc-

ture distance, FSSD)2个综合指标来定量描述林分空间结构的状态和变化^[16]。本文是对上述研究的继续深入和验证,运用上述指标分析大兴安岭主要森林类型的林分空间结构特征,并从林分空间结构的角度出发确定天然落叶松林的最优树种组成,以期为该地区森林资源的健康经营提供理论依据。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

研究区域位于大兴安岭地区塔河林业局盘古林场,地理坐标为 $52^{\circ}41'57.1''\text{N}$, $123^{\circ}51'56.5''\text{E}$,施业区面积 $1.52 \times 10^5 \text{hm}^2$,蓄积 $9.43 \times 10^6 \text{m}^3$,森林覆盖率88.86%。该区属于低山丘陵地貌,全区地形总体成东北-西南走向,北部、西部和中部较高,海拔高度230~1397 m。气候属于寒温带大陆性季风气候,冬长夏短,年日照时数2560 h,年积温 $1500 \sim 1700^{\circ}\text{C}$ ($\geq 10^{\circ}\text{C}$),年平均降水量428 mm,多集中于6—8月份,无霜期不足100 d。冬季气温很低,平均温度 $-20.0 \sim -28.0^{\circ}\text{C}$,极端低温 -45.8°C 。盘古河为辖区第一大河,主河道长127 km,流域面积3875 hm^2 ,西南东北流向,注入黑龙江。研究区内的土壤主要为暗棕壤、棕色针叶林土、草甸土和沼泽土等。该区代表性的植被为以兴安落叶松(*Larix gmelini* (Rupr.) Rupr.)为优势种和建群种的寒温带针叶林,其他乔木树种还有红皮云杉(*Picea koraiensis* Nakai)、樟子松(*Pinus sylvestris* var. *mongolica* Litvin.)、白桦(*Betula platyphylla* Suk.)、山杨(*Populus davidiana* Dode)等。

1.2 研究方法

1.2.1 数据来源 在对全区森林资源全面踏查的基础上,于2011年7—8月和2012年8月,在大兴安岭地区塔河林业局盘古林场不同林龄、不同林分密度、不同林火干扰强度(未火烧、火烧(1级、2级、3级))、不同抚育措施(抚育、未抚育)、不同林分类型的天然林中共设置44块固定标准地。样地面积一般为 $20 \text{m} \times 30 \text{m}$,最大为 $40 \text{m} \times 50 \text{m}$ 。上述所有林分的样地均采用 $5 \text{m} \times 5 \text{m}$ 的相邻网格进行调查,以每个网格为调查单元。每木调查因子包括树种、

胸径、树高、冠幅、坐标 XY、死枝高、活枝高等。把外业数据录入计算机,建立数据库,为林分空间结构的

表1 样地基本调查因子概况

样地号	林班	小班	树种组成	面积/hm ²	X 坐标/m	Y 坐标/m	海拔/m	平均胸径/cm	平均树高/m	郁闭度
P01	35	12	8 落 2 白	0.06	21561317	5841998	435	15.8	15.7	0.6
P02	76	7	4 落 6 樟	0.06	21564316	5839322	440	10.5	13.8	0.5
P03	77	10	9 落 1 樟	0.06	21566401	5838213	482	13.9	11.2	0.4
P04	102	9	10 落	0.09	21570577	5837662	511	10	14.5	0.3
P05	102	13	4 落 4 白 2 云	0.06	21570580	5837350	545	13.8	20.55	0.7
P06	131	1	7 落 1 白 1 云	0.06	21565058	5828888	599	13	12.9	0.7
P07	131	1	6 落 3 云 1 白	0.05	21565058	5828559	605	7.3	8.6	0.8
P08	129	1	6 落 2 云 2 白	0.06	21564728	5830256	569	8	7.66	0.7
P09	129	1	9 落 1 云	0.06	21564508	5830753	547	10.3	10.7	0.8
P10	126	6	4 落 4 樟 2 白	0.06	21563157	5832532	532	11.8	11.8	0.6
P11	126	5	5 云 4 落 1 樟	0.06	21562955	5832792	530	8.7	11.4	0.7
P12	184	4	10 落	0.06	21541651	5824576	591	9.9	10.4	0.5
P13	184	9	10 落	0.06	21541544	5824541	617	14	12.68	0.6
P14	184	10	8 落 1 云 1 白	0.06	21540934	5823918	613	11.4	14.2	0.5
P15	184	10	10 落	0.06	21540847	5823858	603	9.9	10.4	0.5
P16	173	19	7 落 2 云 1 白	0.06	21540732	5823712	620	14	12.68	0.8
P17	173	17	10 落	0.06	21540643	5823929	626	11.4	14.2	0.6
P18	123	5	9 落 1 白	0.06	21555269	5830416	495	9.8	10.5	0.8
P19	123	2	8 落 2 白	0.06	21555205	5830389	506	10.89	12.69	0.6
P20	163	1	9 落 1 云	0.06	21555713	5830163	513	11	12.71	0.6
P21	163	1	9 落 1 白 - 云	0.06	21555711	5830273	512	10	14.5	0.5
D01	25	4	10 白	0.06	21556586	5846361	493	6.52	8.33	0.5
D02	18	5	7 落 2 白 1 山	0.06	21553308	5847240	553	8.1	8.1	0.6
D03	13	6	9 落 1 白	0.06	21552494	5848258	504	12.4	12.4	0.3
D04	13	19	10 落	0.06	21552382	5847752	492	11	13.1	0.6
D05	25	3	7 落 2 白 1 云	0.06	21557650	5846552	431	9.7	8.8	0.6
D06	25	6	9 落 1 白	0.06	21558812	5846011	433	11.3	12.7	0.7
D07	64	11	5 落 3 白 2 山	0.06	21558250	583782	439	14.8	14.7	0.5
D08	64	8	4 落 4 白 1 樟 1 山	0.06	21556085	5837965	431.8	9.5	12.8	0.75
D9	225	6	5 白 3 落 1 樟 1 云	0.20	21553275	5820728	1 031	12.9	10.2	0.6
D10	71	14	5 落 4 白 1 云	0.06	21551481	5829780	492	9	13.5	0.6
D11	225	2	10 落	0.06	21552120	5821627	639	12.8	19.55	0.5
D12	64	9	5 落 3 山 2 白	0.06	21554814	5837940	488	12	11.9	0.6
D13	25	4	10 白	0.06	21556410	5846448	493.5	6.3	7.6	0.4
D14	18	5	9 落 1 山	0.06	21553341	5847406	518.5	9.3	9.7	0.7
D15	13	12	3 落 3 山 2 白 2 毛	0.12	21551643	5847925	517	10.8	10.8	0.3
D16	13	16	8 白 1 落 1 毛	0.06	21552077	5847873	496	7.7	10.4	0.4
D17	26	1	4 落 4 白 2 毛	0.06	21559833	5845926	416	8.9	9.4	0.6
D18	26	3	8 落 2 云	0.06	21559200	5845942	424	13	11.68	0.5
D19	49	6	5 白 3 落 2 山	0.06	21557412	5839497	469	10.4	13.2	0.6
D20	49	3	6 落 4 白	0.06	21557741	5839912	433	8.8	9.5	0.6
D21	225	2	9 落 1 白	0.06	21552104	5821904	619	9.89	11.69	0.5
D22	67	7	6 落 3 白 1 樟	0.06	21551463	5833447	464	10	11.71	0.4
D23	64	9	4 落 3 杨 2 白 1 云	0.06	21555468	5837714	439	14.14	14.07	0.6

1.2.2 林分空间结构参数 对林分空间结构的评价采用混交度(M)、大小比(U)和角尺度(W)这3个基础林分空间结构参数,以及包含这3个参数信息的林分整体空间结构指标,即林分空间结构指数($FSSI$)和林分空间结构距离($FSSD$),共5个指标来度量,各参数具体计算公式如下:

混交度被定义为参照树 i 的 4 株最近相邻木中与参照树不属同种的个体所占的比例^[5],用公式表示为:

$$M_i = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 v_{ij} \quad (1)$$

式中: v_{ij} 为一个离散变量,其值定义为当参照树

与第 j 株相邻木非同种时 $v_{ij} = 1$; 反之, $v_{ij} = 0$ 。

大小比被定义为大于参照树的相邻木数占所考察的全部最近相邻木的比例^[6], 用公式表示为:

$$U_i = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 k_{ij} \quad (2)$$

式中: k_{ij} 为离散型变量, 其值定义为当参照树比第 j 株相邻木小时 $k_{ij} = 1$; 反之, $k_{ij} = 0$ 。

角尺度用来描述相邻树木围绕参照树 i 的均匀性。任意 2 个邻接最近相邻木的夹角有 2 个, 小角为 α , 最近相邻木均匀分布时的夹角设为标准角 α_0 , 本文取标准角 72° ^[16]。角尺度被定义为 α 角小于标准角 α_0 的个数占所考察的 4 个夹角的比例^[4], 表达式为:

$$W_i = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 z_{ij} \quad (3)$$

式中: z_{ij} 为离散型变量, 其值定义为当第 j 个 α 角小于标准角 α_0 时 $z_{ij} = 1$; 反之 $z_{ij} = 0$ 。

林分空间结构指数被定义为林分空间结构参数的投入与林分整体空间结构产出之间的一种数学函数^[17], 可表示为:

$$FSSI = \begin{cases} [\bar{M} \times (100 - \bar{U}) \times 2 \times \bar{W}]^{0.3333}, & W \leq 50 \\ [\bar{M} \times (100 - \bar{U}) \times 2 \times (100 - \bar{W})]^{0.3333}, & W > 50 \end{cases} \quad (4)$$

式中: $0 \leq FSSI \leq 100$; $0 \leq \bar{M} \leq 100$; $0 \leq \bar{U} \leq 100$;

$0 \leq \bar{W} \leq 100$; $\bar{M} = (\frac{1}{N} \sum M_i) \times 100$;

$$\bar{U} = (\frac{1}{N} \sum U_i) \times 100; \bar{W} = (\frac{1}{N} \sum W_i) \times 100;$$

N 为样地林木株数。

林分空间结构距离被定义为在 3 个结构参数的“三维散点图”中现实林分空间结构向理想结构点 ($M = 100, U = 0, W = 50$) 逼近或远离的趋势, 也即不同林分条件下现实林分空间结构到理想结构点的距离^[17]:

$$FSSD = \sqrt{(\bar{M} - 100)^2 + \bar{U}^2 + (\bar{W} - 50)^2} \quad (5)$$

式中: $0 \leq FSSD \leq 150$, 其他参数如前所述。

1.2.3 数据处理 采用林分空间结构分析软件 Winkelmass1.21 计算各样地的林分混交度、大小比和角尺度, 计算过程中为避免边缘效应对林分空间结构的影响, 在分析时设置 5 m 缓冲区。其他数据处理和图表绘制分别采用 EXCEL 和 SPSS20.0 完成。

2 结果与分析

2.1 不同林分类型空间结构分析

在所调查的 44 块样地中, 其树种组成系数 ≥ 1 的乔木树种共计 5 种, 分属 3 科 5 属, 根据树种组成将其划分为 4 种林型, 即天然落叶松林、天然白桦林、针阔混交林和针叶混交林, 具体划分结果见表 2。研究区域天然落叶松林、针叶混交林和针阔混交林中林木的水平分布格局均表现出明显的随机分布, 而白桦林则为典型的聚集分布, 这主要是因为白桦林属于研究区域 1987 年“五·六”森林大火重度干扰后形成的天然次生林, 其仍处于幼龄林阶段 (23 a), 符合白桦簇状生长的生物学特性; 林木大小分化程度在不同林型中表现出极大的变异, 在天然落叶松林中建群种落叶松的生长处于明显优势地位 (0.46), 主要伴生树种白桦也处于优势地位 (0.46), 而其他伴生树种 (0.60 ~ 0.75) 则处于不同程度的受压状态; 在针叶混交林中则表现为伴生树种樟子松 (0.48) 和白桦 (0.42) 为优势树种, 而落叶松 (0.54) 和云杉 (0.67) 则处于明显的受压状态; 在针阔混交林中, 山杨 (0.37) 和落叶松 (0.42) 均处于优势地位, 其他伴生树种 (0.56 ~ 0.68) 均受到不同程度挤压, 但各林分类型的平均大小比数说明其林木生长的优势程度整体均处于典型的中庸状态; 不同林分类型的平均混交度也具有明显差异, 在天然落叶松林和针叶混交林中落叶松的混交程度均较低 (0.14 ~ 0.31), 整体表现为零度或弱度混交, 而其他伴生树种均具有较高的混交度 (0.75 ~ 1.00); 但在针阔混交林中, 各树种均具有较高的混交度 (0.55 ~ 0.93), 说明该林型树种组成结构较为多样, 林分的稳定性也相对较强; 从整体上看, 针阔混交林的混交度最高, 为中度混交, 而天然白桦林的混交度最低, 接近于零度混交状态, 针叶混交林和天然落叶松林则介于两者之间 (图 1)。

虽然国内外学者针对不同区域、不同林分类型、不同经营措施的林分空间结构特征进行了大量的分析和对比研究, 但是以往的研究都是从 3 个不同的角度来进行, 导致关注的角度不同从而得到的结论也不相同。以本文的 4 种林分类型为例, 如果仅从角尺度分析, 林分空间结构优劣均表现为天然落叶松林 > 针叶混交林 > 针阔混交林 > 天然白桦林; 从大小比分析, 则为针叶混交林 > 天然落叶松林 > 针阔混交林 > 天然白桦林; 而从混交度分析, 则为针阔

混交林 > 针叶混交林 > 天然落叶松林 > 天然白桦林,这种结论的不一致性势必会给森林经营决策带来困难。而采用林分空间结构指数和林分空间结构距离来分析,则可避免这种问题。从表3可以看出,在各林分类型角尺度和大小比变化不大的情况下,*FSSI* 和 *FSSD* 主要受到了林分平均混交度的影响,其中针阔混交林具有最好的空间结构,其 *FSSI* 和

FSSD 分别为 64.58 和 66.77;其次为针叶混交林,其 *FSSI* 和 *FSSD* 分别为 60.35 和 73.60;而研究区域天然白桦纯林的空间结构最差,分别为 15.42 和 108.10。综上分析,研究区域的针阔混交林具有最好的空间结构。因此,在以后的森林健康经营中应逐步将其他林分类型调整为针阔混交林,以持续发挥该地区森林的多种功能。

表2 盘古林场林分类型划分

编号	林分类型	样地	说明
1	天然落叶松林	P01, P03, P04, P06, P09, P12, P13, P14, P15, P16, P17, P18, P19, P20, P21, D02, D03, D04, D05, D06, D11, D14, D18, D21	树种组成中,天然落叶松 ≥ 7 成
2	天然白桦林	D01, D13, D16	树种组成中,白桦 ≥ 7 成
3	针叶混交林	P02, P07, P08, P10, P11	树种组成中,针叶树种 ≥ 7 成,且每树种均 < 7 成
4	针阔混交林	P05, D07, D08, D9, D10, D12, D15, D17, D19, D20, D22, D23	树种组成中,针叶和阔叶树种均 < 7 成(针叶树种占 4 - 6 成)

表3 不同林分类型空间结构统计特征

编号	角尺度 (W)		大小比 (U)		混交度 (M)		林分空间结构指数 (FSSI)		林分空间结构距离 (FSSD)	
	均值	标准差	均值	标准差	均值	标准差	均值	标准差	均值	标准差
1	0.50	0.04	0.49	0.03	0.20	0.16	41.51	15.80	93.97	13.33
2	0.59	0.14	0.53	0.04	0.07	0.12	15.42	26.70	108.10	12.87
3	0.50	0.03	0.49	0.03	0.45	0.07	60.35	1.84	73.60	4.06
4	0.51	0.02	0.49	0.02	0.56	0.11	64.58	4.88	66.77	7.73

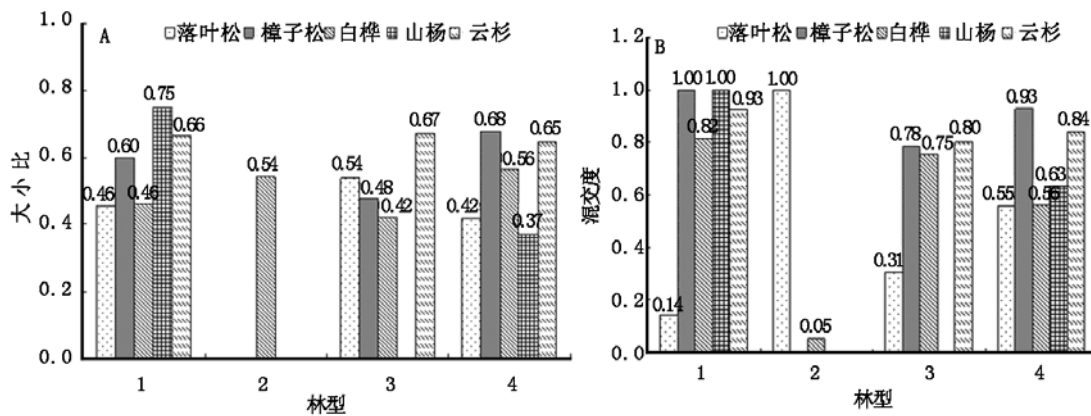


图1 不同林分类型树种大小比(A)和混交度(B)分布

2.2 天然落叶松林最优树种组成

从外业调查的 44 块固定样地优势树种来看,24 块样地优势种和建群种是天然落叶松,同时研究区以落叶松为优势种群的林分面积占全林场的 53.32%,落叶松纯林占林场比例也近 1/3,可见天然落叶松林是该地区最主要的森林类型之一。因此,进一步依据各样地的树种组成选取落叶松占优势的林分(落叶松占 7 成以上),采用上述方法分析

不同树种组成的空间结构特征,样地划分见表 4。

表4 天然落叶松林树种组成比例划分

编码	样地数量	样地	说明
10	7	P04, P12, P13, P15, P17, D04, D11	落叶松占 10 成
9	8	P03, P09, P18, P20, P21, D03, D06, D21	落叶松占 9 成
8	4	P01, P14, P19, D18	落叶松占 8 成
7	5	P06, P16, D02, D05, D13	落叶松占 7 成

天然落叶松林不同树种组成的林木水平分布格局稍有不同,但均接近于 $[0.479, 0.517]$ 的随机分布范围;4种林型中落叶松的大小比数较为接近,均处于典型中庸状态,而伴生树种则表现出较为明显的差异,但整体上均处于不同程度的受压状态;而不同林型中落叶松的混交度则随着其优势程度的增加而降低,其他伴生树种则表现出较高的混交程度(图2)。结合表5可以看出,各林分空间结构的 *FSSI* 值整体上随着落叶松种群优势程度的增强而降低,而

FSSD 则随着落叶松种群优势程度的增强而升高。在4种树种组成比例的林分类型中,落叶松占8成具有最好的空间结构, *FSSI* 和 *FSSD* 分别为52.06和85.62;其次,为类型7, *FSSI* 和 *FSSD* 分别为50.93和86.81;而天然落叶松绝对纯林的空间结构相对最差,空间结构参数为26.48和105.21。通过以上分析,该地区天然落叶松纯林中具有最优空间结构的树种组成应该为8落,其次为7落。

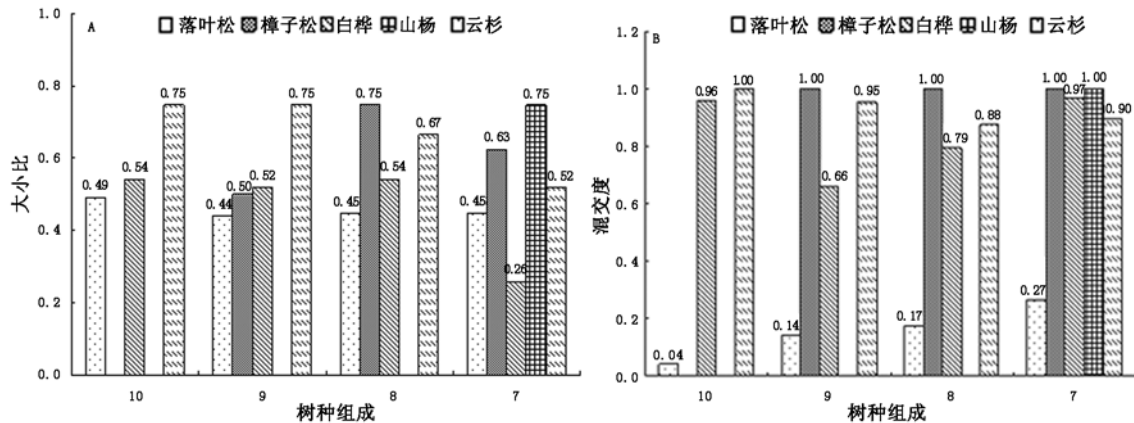


图2 天然落叶松林不同树种组成的树种大小比(A)和混交度(B)分布

表5 不同树种组成比例类型空间结构统计特征

编号	角尺度 (<i>W</i>)		大小比 (<i>U</i>)		混交度 (<i>M</i>)		林分空间结构指数 (<i>FSSI</i>)		林分空间结构距离 (<i>FSSD</i>)	
	均值	标准差	均值	标准差	均值	标准差	均值	标准差	均值	标准差
10	0.47	0.05	0.50	0.04	0.08	0.08	26.48	15.36	105.21	6.09
9	0.52	0.04	0.48	0.02	0.20	0.13	43.50	12.09	93.41	11.39
8	0.51	0.01	0.48	0.02	0.30	0.14	52.06	8.42	85.62	12.56
7	0.50	0.04	0.50	0.03	0.32	0.19	50.93	12.11	86.81	15.67

3 结论与讨论

3.1 结论

本研究以常用的林分空间结构参数(角尺度、大小比和混交度)、林分空间结构指数和林分空间结构距离5个指标对比分析了大兴安岭地区天然落叶松林、天然白桦林、针叶混交林和针阔混交林4种主要林分类型的空间结构特征及其差异,并以天然落叶松林为例从维持和创建最优林分空间结构的角度出发,确定了天然落叶松林的最优树种组成,主要结论如下:

(1)天然落叶松、针叶混交林以及针阔混交林的林木水平分布格局均表现为随机分布,而白桦林则为明显的聚集分布;4种林型中林木的大小分化程度都不明显,属于典型的中庸状态,落叶松整体处于优势地位,其他伴生树种则处于不同程度的受压

状态;不同林型中落叶松的混交程度随着其优势地位的增加而降低,其他伴生树种则表现较高的混交度,整体上天然落叶松林、白桦林的树种空间隔离程度较低,而针叶混交林、针阔混交林的林分平均混交度相对较高。

(2)研究区域针阔混交林的空间结构最优,其 *FSSI* 和 *FSSD* 分别为:64.58和66.77;白桦林的空间结构最差,分别为15.42和108.10;其余两者则介于中间。根据这一结果,可考虑在今后的森林经营中逐步将其他林分类型调整为针阔混交林。

(3)研究区域天然落叶松林的最优树种组成是8落2“其”(“其”指其他树种),其 *FSSI* 和 *FSSD* 值为52.06和85.62,建议该地区在以后的森林资源经营中应逐步将天然落叶松林其他树种组成的林分调整为该类结构。

3.2 讨论

林火和采伐干扰是影响研究区域林分空间结构最主要的2种形式。前者已经引起了很多学者的关注,如孙家宝等^[18]研究了不同火干扰强度对该地区落叶松林群落结构和物种多样性的影响,而倪宝龙等^[19]则从林隙的角度出发对不同林火干扰下落叶松林空间结构的影响进行了研究,这些研究均认为轻度和中度林火干扰在一定程度上促进了林分的正向演替,而重度的林火干扰则严重破坏了森林的结构和功能。由于研究区域是我国重要的木材生产基地,森林资源往往经过多年重复采伐,且这种人为干扰的历史资料极其匮乏,因此对于人为干扰对研究区域各森林类型林分空间结构影响的研究还未见报道。但是适宜的采伐强度被认为是调整林分空间结构的主要方法之一,汤孟平等^[13, 20]、陈昌雄等^[21]、郝月兰等^[22]、董灵波等^[23]均从优化林分空间结构的角度的开展了不同林分类型最优采伐木确定的研究,而赵中华等^[24]则从实际应用效果方面分析不同改造模式和经营措施对林分空间结构的影响。

此外,除了上述2方面外,不同地区、不同林分类型、不同起源以及不同年龄的林分空间结构都会存在较大差异,这些方面的影响因素已经进行了较多的研究。但是在不考虑人为干扰和重大自然干扰因素的影响下,林分空间结构是森林在长期演替过程中对周围环境适应的结果,同时林分内的微环境(如光照、温度、水分、土壤养分等)又在一定程度上决定了林分的空间结构,两者是一个相辅相成的动态过程,定量揭示这种关系对创建和维护健康、稳定的森林生态系统具有重要意义,关于这方面的研究有待于进一步开展。

参考文献:

- [1] 国家林业局. 国家森林资源连续清查技术规定[M]. 北京: 国家林业局, 2004.
- [2] 赵中华, 惠刚盈. 基于林分状态特征的森林自然度评价——以甘肃小陇山林区为例[J]. 林业科学, 2011, 47(2): 9-16.
- [3] 国家林业局. 中国森林可持续经营标准与指标(LY/T 1594-2002)[M]. 北京: 中国标准出版社, 2003.
- [4] 惠刚盈, Gadow K V, Matthias A. 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.
- [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] 惠刚盈, Gadow K V, Matthias A. 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.
- [7] Lewandowski A U, Gadow K V. Ein heuristischer Ansatz zur reproduktion von Waldbeständen[J]. Allgemeine Forest und Jagdzeitung, 1997, 168(9): 170-174.
- [8] 惠刚盈. 基于相邻木关系的林分空间结构参数应用研究[J]. 北京林业大学学报, 2013, 35(4): 1-8.
- [9] 赵中华, 惠刚盈, 胡艳波, 等. 结构化森林经营方法在阔叶红松林中的应用[J]. 林业科学研究, 2013, 26(4): 467-472.
- [10] Aguirre O, Hui G Y, Gadow K V, et al. An analysis of spatial forest structure using neighbourhood-based variables[J]. Forest Ecology and Management, 2003, 183: 137-145.
- [11] Pommerening A. Evaluating structure indices by reversing forest structure analysis[J]. Forest Ecology and Management, 2006, 224: 266-277.
- [12] 汪平, 贾雷明, 魏松坡, 等. 基于Voronoi图的侧柏游憩林空间结构分析[J]. 北京林业大学学报, 2013, 35(2): 39-44.
- [13] 汤孟平, 徐文兵, 陈永刚, 等. 毛竹林空间结构优化调控模型[J]. 林业科学, 2013, 49(1): 120-125.
- [14] 王铁牛. 长白山云冷杉针阔混交林经营模式研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2005.
- [15] 乌吉斯古楞. 长白山过伐林区云冷杉针叶混交林经营模式研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2010.
- [16] 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.
- [17] 董灵波, 刘兆刚, 倪宝龙, 等. 天然林林分空间结构综合指数研究[J]. 北京林业大学学报, 2013, 35(1): 16-22.
- [18] 孙家宝, 张海林, 胡海清. 火干扰强度对兴安落叶松林物种组成及多样性的影响[J]. 森林工程, 2009, 25(6): 1-5.
- [19] 倪宝龙, 刘兆刚. 不同强度火干扰下盘古林场天然落叶松林的空间结构[J]. 生态学报, 2013, 33(16): 4975-4984.
- [20] 汤孟平, 唐守正, 雷相东, 等. 林分择伐空间结构优化模型研究[J]. 林业科学, 2004, 40(5): 25-31.
- [21] 陈昌雄, 刘健, 余坤勇, 等. 基于空间结构优化的马尾松阔叶树混交林模拟采伐[J]. 西南林学院学报, 2010, 30(6): 29-32, 37.
- [22] 郝月兰, 张会儒, 唐守正. 基于空间结构优化的采伐木确定方法研究[J]. 西北林学院学报, 2012, 27(5): 163-168.
- [23] 董灵波, 刘兆刚. 樟子松人工林空间结构优化及可视化模拟[J]. 林业科学, 2012, 48(10): 77-85.
- [24] 赵中华, 袁士云, 惠刚盈, 等. 经营措施对林分空间结构特征的影响[J]. 西北农林科技大学学报, 2008, 36(7): 135-142.