

doi : 10. 16473/j. cnki. xblykx1972. 2022. 05. 017

大兴安岭北部白桦次生林空间结构多元分析*

刘磊¹, 萨如拉¹, 高明龙¹, 王子瑞¹, 铁牛^{1,2}

(1. 内蒙古农业大学 林学院, 内蒙古 呼和浩特 010010;

2. 内蒙古自治区林业科学研究院, 内蒙古 呼和浩特 010010)

摘要: 以大兴安岭北部白桦次生林 2 种林型为研究对象, 采用密集度、混交度、大小比数和角尺度等 4 个参数的 N 元分布分别描绘白桦纯林和白桦-落叶松混交林空间结构特征。结果显示: (1) 从零元分布来看, 白桦纯林和白桦-落叶松混交林的角尺度分别为 0.522 0 和 0.539 7 呈轻微团状分布, 白桦-落叶松混交林生长状态优于白桦纯林; 从一元分布来看, 2 种林型中随机分布的林木均占林分总株数的一半以上, 白桦纯林不同大小比数的林木比例相近; 二元至四元分布看, 不管结构参数如何组合, 林木大多以随机分布为主。(2) 白桦纯林中, 占比最多的林木空间结构单元为随机分布下零度混交且与周围林木非常密集伴生的绝对优势木; 白桦-落叶松混交林林分中, 占比最多的林木空间结构单元为随机分布下弱度混交且与周围林木非常密集伴生的中庸木; 白桦-落叶松混交林与白桦纯林相比在一定取值范围林分中优势木比例无明显增多, 但劣势木占比较少, 中庸木占比明显增多, 进一步证明白桦-落叶松混交林生长状态优于白桦纯林。可得结论: 大兴安岭白桦次生林存在着结构不合理的问题, 2 种林型林分混交度较低, 树种结构单一, 树冠重叠严重, 种内竞争激烈, 不利于群落正向演替。

关键词: 白桦次生林; 林分空间结构; 多元分布; 大兴安岭北部

中图分类号: S 792.153 文献标识码: A 文章编号: 1672-8246 (2022) 05-0118-09

Multivariate Analysis of Spatial Structure of *Betula platyphylla* Secondary Forest in Northern Daxing'anling Area

LIU lei¹, SA Ru-la¹, GAO Ming-long¹, WANG Zi-ru¹, TIE niu^{1,2}

(1. Forestry College, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot Inner Mongolia 010000, P. R. China;

2. Inner Mongolia Forestry Research Institute, Hohhot Inner Mongolia 010010, P. R. China)

Abstract: Two forest types of *Betula platyphylla* secondary forest in the northern Daxing'anling area were studied. The spatial structure characteristics of *B. platyphylla* forest and *B. platyphylla*-*Larix gmelinii* mixed forest were described using N element distribution of density, Uniform angle index, Neighborhood comparison, Mingling degree and Crowding degree. The results showed that the Angle scales of *B. platyphylla* forest and *B. platyphylla*-*L. gmelinii* mixed forest were 0.522 0 and 0.539 7, respectively. The growth state of birch-larch forest was better than pure birch forest. In terms of univariate distribution, trees randomly distributed in the two forest types accounted for more than half of the total number of stands, and the proportion of trees with different sizes in *B. platyphylla* was similar. From bivariate distribution to quaternion distribution, no matter how the structural parameters are combined, most trees are randomly distributed. In *B. platyphylla* forest, the spatial structure units of trees with the largest proportion are the absolute dominant trees which are randomly distributed at zero degree and closely associated with surrounding trees. In *B. platyphylla*-*L. gmelinii* mixed forest stand, the trees with the largest proportion of spatial structure u-

* 收稿日期: 2022-03-05

基金项目: 内蒙古自治区科技计划项目“大兴安岭白桦次生林生态修复关键技术研究及示范(2020GG0067)”。

第一作者简介: 刘磊(1997—), 硕士研究生, 主要从事森林可持续经营理论与技术研究。E-mail: 1028641798@qq.com

通信作者简介: 铁牛(1973—), 博士, 教授, 主要从事森林可持续经营理论与技术研究。E-mail: Wangtieniu@126.com

nits are the medium trees which are weakly mixed under random distribution and closely associated with the surrounding trees. In a certain range of values the proportion of dominant trees in *B. platyphylla*-*L. gmelinii* mixed forest did not increase significantly compared with pure birch forest, but the proportion of inferior trees was less, and the proportion of neutral trees was significantly increased, which further proved that the growth status of mixed forest was better than pure forest. The structure of *Betula platyphylla* secondary forest in Daxing'anling is unreasonable. The Mingling degree of two forest types is low, the structure of tree species is single, the crown overlap is serious, and the intra-species competition is fierce, which is not conducive to the community's positive succession.

Key words: *Betula platyphylla* secondary forest; spatial structure of forest stand; multivariate distribution; northern Daxing'anling

森林结构决定森林功能,对森林结构的合理调整有利于发挥森林持续而稳定的生态功能^[1]。林分结构反映森林内林木的整体生长状态和树木之间的竞争优劣,合理描述林分空间结构可为森林经营措施的制定提供准确信息,有助于了解森林的历史、现状和未来生态系统的发展方向^[2-3]。林分空间结构指的是林分内林木的分布格局及其属性在空间上的排列方式。自惠刚盈等^[4-6]提出角尺度、大小比和混交度等概念以来,国内外学者运用这些参数对不同地区、不同林分类型的空间结构特征进行大量的研究^[7-10]。随后胡艳波等^[11]提出密集度的概念,将林冠信息加入空间结构分析中。用密集度、角尺度、大小比数、混交度 4 个参数分别对林木树冠拥挤程度、林木空间分布格局、林木大小空间排列、树种隔离程度 4 个方面进行描述,在更多层次上诠释了林分的空间结构信息。在以往研究中,多采用空间结构参数的均值分析林分整体空间结构特征,用一元、二元参数组合分析单木空间结构特征^[12-16],但大多方法描述单一,无法体现林木其他参数特征,具有一定局限性。空间结构各参数之间既存在独立性又有相关性,对它们进行单一的描述不能准确说明林分的空间结构。四参数的组合蕴含十分丰富的信息^[17-19],从多层次多角度对林分的空间结构特征信息进行挖掘,使空间结构特征更加详细具体。

白桦 (*Betula platyphylla* Suk.) 为桦木科 (Betulaceae) 桦木属 (*Betula*) 落叶乔木。白桦次生林分布广泛,在中国东北地区主要分布于大兴安岭北部山地 (47°10'~53°20'N)、大兴安岭南部 (43°00'~47°10'N) 的海拔较高的山地,小兴安岭、完达山、老爷岭、张广才岭、长白山等地也有分布^[20]。白桦木材属于硬杂木且具有一定的可塑性,其纹理好,质地优,不怕暴晒可作建材,也可用作雕刻、地板块、室内装饰等^[21]。皮、叶、芽

可入中药,白桦汁可酿酒或配制高级饮料^[22-23]。目前关于白桦次生林空间结构的研究主要集中在一元、二元分布的描述^[24-25],很难形成对林分系统地认知和理解。本研究采用密集度、混交度、大小比数和角尺度等 4 个空间结构参数的 N 元分布,对大兴安岭北部白桦次生林 2 种林型的空间结构进行分析,为该地区白桦次生林空间结构精准调控提供参考,以促进森林向顶级群落正向演替。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

大兴安岭位于我国黑龙江省西北部,北起黑龙江省漠河市北部黑龙江,南至内蒙古自治区赤峰市境内,地理坐标为 43°00'~53°30'N、117°20'~126°00'E,以兴安盟境内洮儿河为界,分为南北两段。北段长约 770 km,地势由北向南逐渐升高,最高峰位于兴安盟阿尔山摩天岭,海拔约 1 711.8 m。大兴安岭北段是我国东部最冷的地区,冬季寒冷漫长,夏季只有 2 个月左右,平均温度-2.8℃,有大面积多年冻土区。森林覆被率达 60% 以上,以兴安落叶松 (*Larix gmelinii*) 占优势的针叶林为主,主要林型有杜鹃-兴安落叶松林、越桔-兴安落叶松林、杜香-兴安落叶松林及白桦-落叶松林等,是我国东北重要的生态屏障和国家森林保护区。

1.2 研究方法

1.2.1 样地设置与调查

在大兴安岭地区根据大兴安岭白桦分布范围,按照纬度划分为北部、中部和南部区。分别选择漠河、根河、阿尔山 3 个点作为代表试验区。在每个试验区内,选择立地条件一致,受人类活动影响较小地段设置样地。每个试验区设置白桦纯林和白桦-兴安落叶松混交林两种林型样地各 3 块(本文将

白桦占比在 80% 以上的标准地定义为白桦纯林，白桦占比 80% 以下的标准地定义为混交林，规格均为 30 m×30 m。对标准地中胸径≥5 cm 的乔木每木检尺并挂牌，使用罗盘仪（DQL-12Z，西

安亚博）配合超声波测距仪（Vertex IV，Haglof）确定每株林木的坐标。记载树种、胸径、树高、冠幅、第一活下枝高等测树因子，并记录每个样地的坡向、坡位、坡度、海拔等环境因子，见表 1。

表 1 样地基本情况

Tab. 1 Plot circumstances

林型	样地号	地理坐标	树种组成	平均胸径/cm	平均树高/m	林龄/a	坡度/°	海拔/m	株数密度/株·hm ⁻²
白桦纯林	AB-1	47°19'50.000"N, 119°59'52.000"E	白桦纯林	17.6	11.9	47	13	860	811
	AB-2	47°19'49.670"N, 119°59'50.799"E	白桦纯林	16.8	13.5	45	13	860	800
	AB-3	47°19'49.200"N, 119°59'48.300"E	白桦纯林	16.4	12.1	44	4	860	778
	GB-1	50°54'36.154"N, 121°32'20.536"E	白桦纯林	15.1	18.4	15	2	969	1 000
	GB-2	50°54'19.892"N, 121°32'19.513"E	9 白 1 落	17.4	18.8	23	2	672.6	900
	GB-3	50°54'36.731"N, 121°32'20.880"E	9 白 1 落	8.2	11.1	12	2	740	2 878
	MB-1	53°27'29.999"N, 122°10'57.000"E	白桦纯林	11.8	11.8	32	5	330	1 789
	MB-2	53°27'3.999"N, 122°11'0.999"E	8 白 2 落	11.2	10.8	28	5	333	2 300
	MB-3	53°27'5.000"N, 122°11'3.000"E	8 白 2 落	15.7	12.8	20	5	330	1 967
白桦-落叶松混交林	AH-1	47°30'40.600"N, 120°9'22.399"E	5 白 5 落	23.7	15.2	32	4	860	545
	AH-2	47°30'41.299"N, 120°9'25.200"E	7 白 3 落	22.3	16.6	30	4	860	556
	AH-3	47°30'39.200"N, 120°9'22.299"E	5 白 5 落	23.5	15.9	32	4	860	578
	GH-1	50°54'3.999"N, 121°31'41.000"E	7 白 3 落	11.0	12.4	15	6	860	2 089
	GH-2	50°54'5.000"N, 121°31'42.999"E	7 白 3 落	11.6	12.0	18	5	860	2 344
	GH-3	50°54'6.000"N, 121°31'45.999"E	7 白 3 落	11.1	11.4	12	4	860	1 967
	MH-1	53°27'47.999"N, 122°20'17.000"E	4 白 4 落 2 山	14.3	18.0	18	3	330	1 223
	MH-2	53°27'48.999"N, 122°20'17.999"E	2 白 7 落 1 山	11.4	12.0	14	3	330	1 689
	MH-3	53°27'50.000"N, 53°27'50.000"E	4 白 5 落 1 山	13.2	12.9	17	3	330	1 723

注：AB 为阿尔山白桦 GB 为根河白桦 MB 为漠河白桦 AH 为阿尔山白桦-落叶松混交 GH 为根河白桦-落叶松混交 MH 为漠河白桦-落叶松混交。

1.2.2 林分空间结构参数

角尺度用来表示参照木 i 与周围 4 株最近相邻木夹角 α 小于标准角 α_0 的树木数量占比，表示树种水平分布格局。详细解释及计算公式见参考文献 [4]。

混交度用来表示参照木 i 与周围最近 4 株相邻木不属同种的概率，表示树种的隔离程度。详细解释及计算公式见参考文献 [5]。

大小比数表示在 4 株相邻木中，胸径大于参照木的个数占全部相邻木个数的比值，用来量化参照树与其相邻木的关系，详细解释及计算公式见参考文献 [6]。

密集度表示对象木 i 与周围最近的 4 株相邻木树冠连接的株数的占比，详细解释及计算公式见参考文献 [11]。

1.2.3 数据处理与分析

本研究使用专业用于林分空间结构分析的 Winkelmass 软件计算参数，为避免边缘效应的影响，设置 5 m 缓冲区，缓冲区林木只作相邻木不作对象木，以周围 4 株直接竞争木为结构单元进行运算分析。得到各样地内所有林木的角尺度 (W_i)、

混交度 (M_i)、大小比数 (U_i) 密集度 (C_i) 取值，并生成各样地的空间结构参数平均值及全林分内各树种的空间结构参数的平均值。以二维离散变量中的联合概率法^[15]为基础，用 Excel 统计 N 元分布相对频率，并采用 Origin 2018 绘制空间结构参数 N 元分布图。

2 结果与分析

2.1 零元分布

由表 2 可以看出，白桦纯林和白桦-落叶松混交林 2 种林型的平均角尺度相近，分别为 0.522 0 和 0.539 7 呈轻微团状分布。白桦纯林林分平均大小比数为 0.501 8，林木生长状态整体处于劣势；白桦-落叶松混交林林分平均大小比数 0.495 7，林木生长状态整体处于中庸。白桦纯林林分平均混交度为 0.080 2，林分基本表现零度混交，白桦-落叶松混交林林分平均混交度为 0.384 7，林分表现为中度混交；2 种林型林分平均密集度分别为 0.921 0 和 0.742 0 处于非常密集和密集状态。

表 2 林分的空间结构参数平均值
Tab. 2 Average values of spatial structure parameters

林型	空间结构参数			
	角尺度	大小比	混交度	密集度
白桦纯林	0.522 0	0.501 8	0.080 2	0.808 5
白桦-落叶松混交林	0.539 7	0.495 7	0.384 7	0.859 1

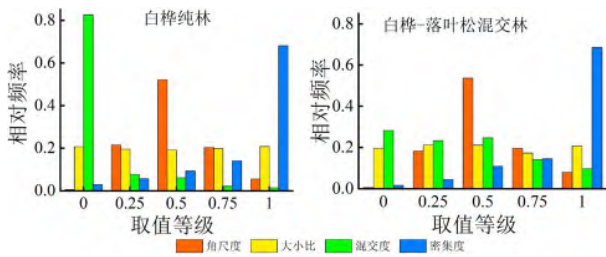


图 1 一元分布

Fig. 1 Univariate distribution

2.2 一元分布

由图 1 可知，白桦次生林的纯林和白桦-落叶松混交林 2 种林型林木水平分布格局大体相似，均有 50% 以上的林木属于随机分布，绝对聚集分布的林木分别占 5.54% 和 7.89%。白桦纯林中林木大小分化差异不明显，林分中不同优势程度的林木比例接近；白桦-落叶松混交林中林木以亚优势和中庸状态为主，比例分别为 21.19% 和 21.14%。因为林型的不同，混交度差距明显，白桦纯林中有

82.59% 的林木与周围 4 株树属同种，白桦-落叶松林林木分布频率值随着混交程度的增高呈现出递减趋势。2 种林型中非常密集状态的林木占比最高，分别为 68.06% 和 68.49%，表明 2 种林分中大多数林木与周围 4 株相邻木呈非常密集的伴生状态。

2.3 二元分布

如图 2 白桦纯林 U-W 分布中 (图 2a)，随机分布格局下林木生长状态较极端，以绝对优势木和绝对劣势木分布为主，比例分别为 11.03% 和 11.53%。随着角尺度的增大，同一生长状态下林木相对频率值表现出明显的正态分布，并在 W = 0.50 时达到峰值。M-W 二元分布 (图 2b) 特征与 C-W 二元分布 (图 2c) 特征相似，同一分布格局下大多数林木表现为非常密集和零度混交，只在随机分布格局下少部分林木才表现出轻度混交和中度密集状态。在 C-U 分布中 (图 2d)，林木表现为生长状态越优其生长空间越拥挤，有 15.89% 的优势木处于非常密集分布状态。反映出即使是优势木也受到空间限制的影响。U-M 分布中 (图 2e)，在同一混交度等级上，林木个体分布在各个生长状态的比例无明显差异。C-M 分布中 (图 2f)，明显看出林分总体表现为非常密集的零度混交，占林木总株数的 55.00%。

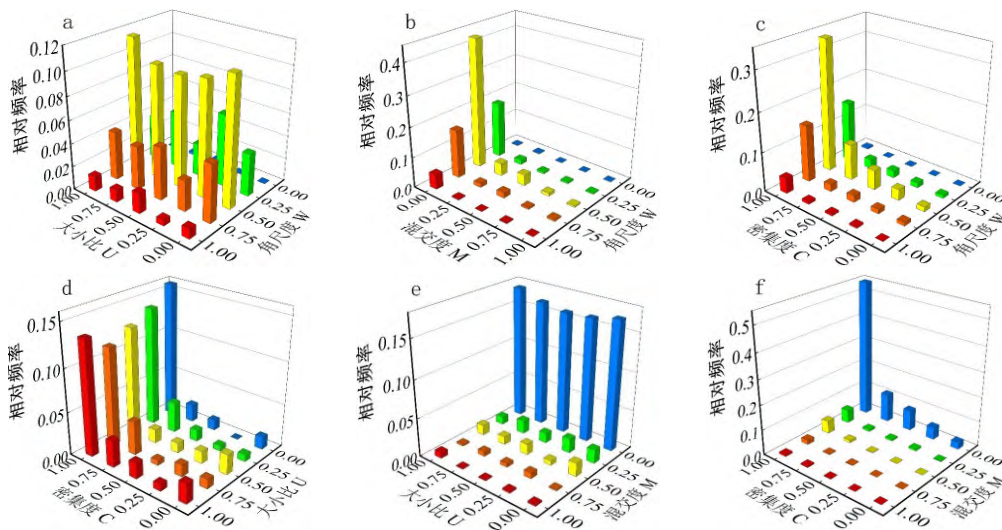


图 2 白桦纯林二元分布

Fig. 2 Bivariate distribution of *B. platyphylla* forest

如图 3 白桦-落叶松混交林 U-W 分布中 (图 3a)，同一生长状态下林木以 W = 0.50 轴为中轴线整体呈近似正态分布，其中随机分布的中庸林木占比最高，比例为 12.23%。M-W 二元分布中 (图

3b)，在同一分布格局下，林木分布频率值随着混交度的增加呈递减趋势，且角尺度等级越靠近随机分布轴 (W = 0.50) 频率值递减幅度越大。随机分布的林木中以零度混交、弱度混交、中度混交林木

为主,分别占比 14.95%、13.47%、12.35%。C-W 分布中(图 3c),同一密集度等级林木主要处于随机分布,而同一分布格局林木大多处于非常密集状态,其中随机分布且非常密集林木最常见为 33.93%。C-U 分布中(图 3d),林木分布频率值随着大小比数的减少密集度越来越高。频率值分布最高的结构组合是非常密集分布的绝对优势木比例为 16.17%。U-M 分布中(图 3e),极强和强度混交度等级下优势木占比高于劣势木,在零度和弱度混交度等级下绝对劣势木占有较高比例,分别为

5.66%和 5.81%。反映出处于强混交度下的林木长势更优。在中度混交轴下林木分布频率值随着大小比数的增大呈先增加后减小的趋势,在 $U=0.50$ 处比例达到最高比例为 7.15%,其余均随着大小比的变化呈现出先减小后增加的趋势。C-M 分布中(图 3f),同一混交等级林木大多与周围 4 株林木树冠重叠,其中 7.69% 的林木混交良好但非常密集,只有 0.54% 的林木在生长空间开阔下与周围 4 株不同树种的林木相伴生。

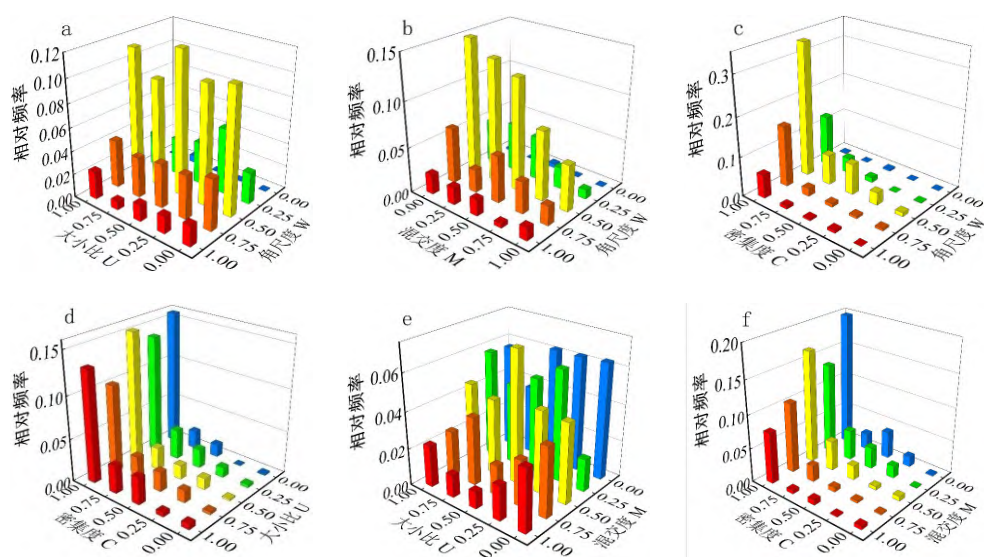


图 3 白桦-落叶松混交林二元分布

Fig. 3 Bivariate distribution of *B. platyphylla* and *L. gmelinii* mixed forest

2.4 三元分布

如图 4 白桦纯林 M-U-C 的分布中(图 4a),同一混交等级和优劣等级绝大多数林木非常密集分布。其中非常密集、零度混交的优势木比例最高,劣势木次之,比例分别为 12.60%和 11.44%。W-U-M 分布中(图 4b),同一生长状态林木大多为随机分布和零度混交。零度混交等级下同一分布格局林木,除随机分布格局的林木绝对劣势木比例大于绝对优势木外,其余分布格局下的林木均以绝对优势木和优势木为主。W-U-C 分布中(图 4c),同一大小比和密集度林木大多处于随机分布格局,同一分布格局和密集度下绝对优势木和优势木占多数,其中非常密集随机分布的绝对优势木占比最多为 7.92%。W-C-M 分布中(图 4d),林中大多数林木处于非常密集零度混交状态,其中有 40% 的林木为随机分布。

如图 5 白桦-落叶松混交林 M-U-C 的分布中

(图 5a),在 $C=1$ 时,强度混交和极强度混交度下的优势木占比较多,在零度、中度、弱度混交等级下中庸木占比较多。W-U-M 分布中(图 5b),同一大小比和混交度的林木大多为随机分布,其中周围伴生有 4 种不同树种且随机分布的优势木占总株数的比例为 1.69%;在同一混交度和角尺度下,频率值随着大小比数的减少呈现出先减小后增大的趋势。W-U-C 分布中(图 5c),同一密集度和优劣等级下有 53.64% 的林木处于随机分布格局,同一分布格局和密集度的林木大多处于优势或亚优势生长状态。W-C-M 分布中(图 5d),同一混交度和密集度林木大多为随机分布;同一分布格局和密集度下,处于中、强度混交的林木比例较高,其中非常密集的中度混交林木在随机分布状态下占比 7.85%;同一混交等级和分布格局林木树冠趋于非常密集,其中混交良好、随机分布且非常稀疏林木仅占到总株数的 0.37%。

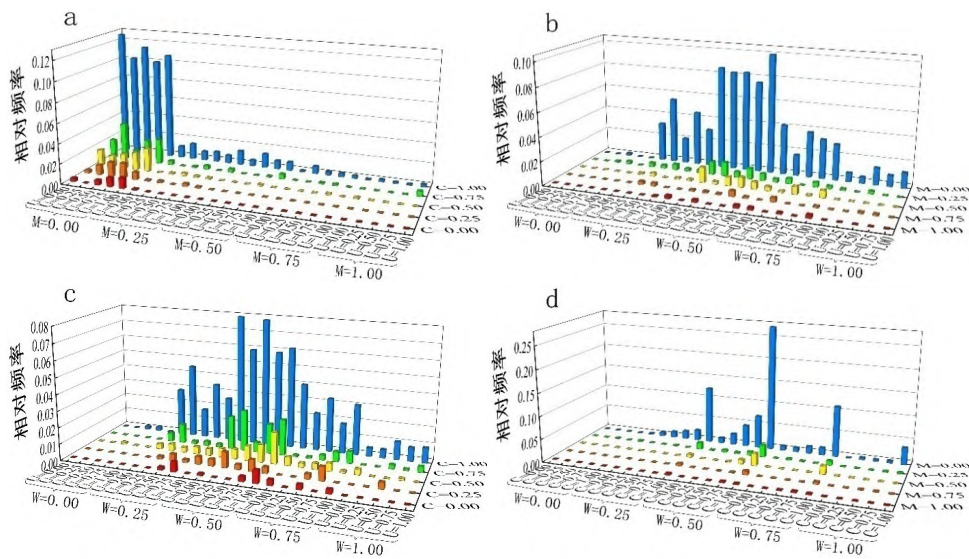


图 4 白桦纯林三元分布

Fig. 4 Trivariate distribution of *B. platyphylla* forest

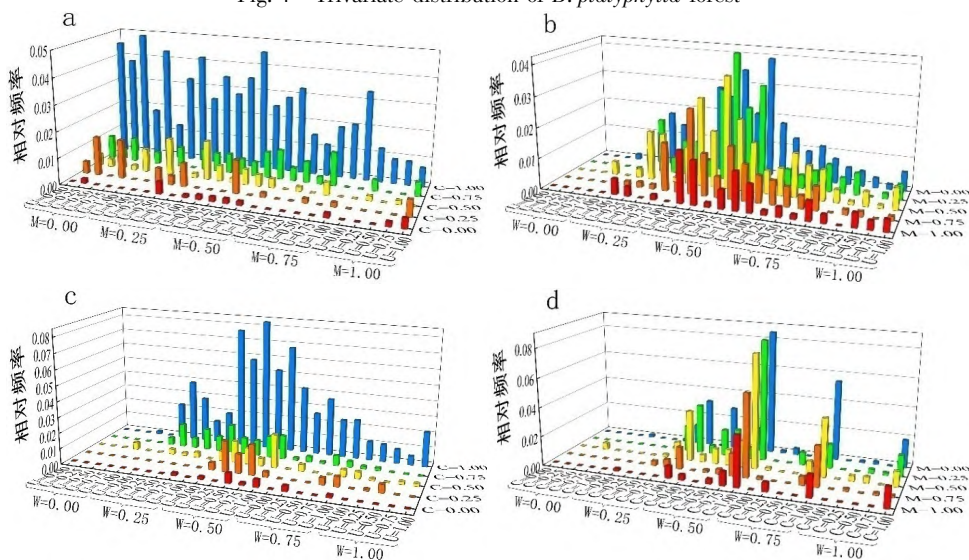


图 5 白桦-落叶松混交林三元分布

Fig. 5 Trivariate distribution of *B. platyphylla* and *L. gmelinii* mixed forest

2.5 四元分布

如图 6 白桦纯林 W-U-M-C 分布中，同一密集度和混交度的林木在分布格局相同时长势良好的林木占多数。相同分布格局和大小比数等级下，同一混交度林木树冠大多处于非常密集状态。同一密集度和混交度的林木在同一生长状态的林木大多为随机分布。同一分布格局和大小比数等级下同一密集度下的林木大多处于零度混交。在整个林分中，最常见的林木为与相邻木非常密集地零度混交且随机分布的中庸木，占总株数的 6.53%；其次是同种状态下的绝对优势木占比 6.43%，然后是同种状态下的绝对劣势木，占总株数的 5.63%。

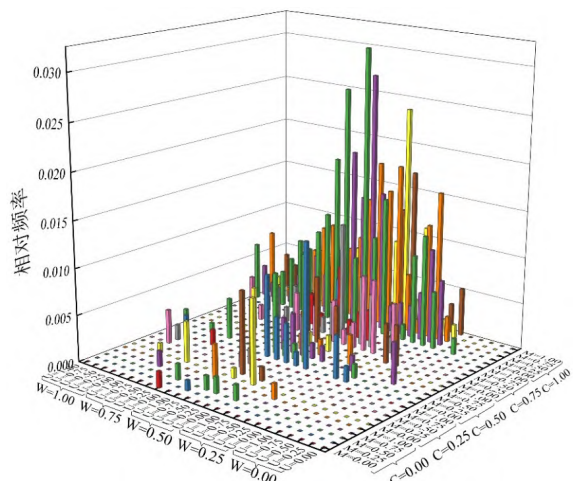


图 6 白桦纯林四元分布

Fig. 6 Quadivariate distribution of *B. platyphylla* forest

如图7白桦-落叶松混交林 W-U-M-C 分布中,相同混交度等级和密集度等级下,同一生长状态林木大多处于随机分布;相同分布格局和大小比数等级下,同一混交度林木树冠大多处于密集和非常密集状态。在整个林分中,最常见的林木为周围非常密集地随机分布零度混交的中庸木,占总株数的 3.08%;其次是弱度状态下随机分布的非常密集的中庸木,占总株数的 2.77%,然后是零度混交状态下随机分布的非常密集的绝对劣势木,占总株数的 2.61%。

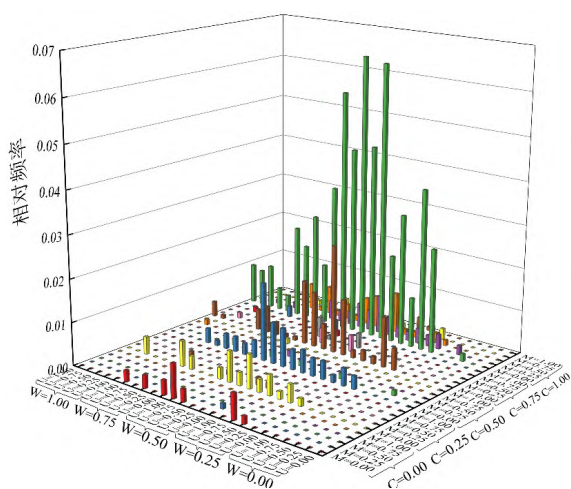


图7 白桦-落叶松混交林四元分布

Fig. 7 Quadrivariate distribution of *B. platyphylla* and *L. gmelina* mixed forest

3 讨论与结论

通过对大兴安岭北部白桦次生林的 2 种林型(白桦纯林和白桦-落叶松混交林)空间结构多元分析,2 种林型在各空间结构参数上出现不同程度的差异。从零元分布和一元分布来看,2 种林型林分内林木树冠均表现非常密集;林分整体呈轻微团状布,但林分内均有 50% 以上的林木属于随机分布,符合天然林的分布^[26]。白桦纯林为零度混交,生长状况呈现劣势;而白桦-落叶松林属于中度混交,林木生长状态中庸,可以看出混交度的提高在一定程度上利于树木生长^[27]。从二元分布看,2 种林型林分在同一优势等级、同一混交等级和同一密集度林木大多为随机分布,基本以 $W = 0.50$ 轴为中轴线整体呈近似正态分布。2 种林型中生长愈优势的林木其竞争愈激烈,生存空间愈狭窄。白桦-落叶松林在极强和强度混交等级下优势木占比高于劣势木,在零度和弱度混交等级下绝对劣势木占

有较高比例,白桦纯林虽然有 80% 的林木为零度混交,依旧表现出在零度混交等级下绝对劣势木比例更高。从三元分布看,2 种林分同一混交度和密集度下各优势等级的林木大多处于随机分布;同一分布格局和混交度下各优势等级的林木大多呈非常密集分布。白桦-落叶松林在同一密集度下随混交程度的增强优势木在同等级中占比越多。从四元分布看,在相同混交度和密集度下同一分布格局下白桦纯林劣势林木比例明显高于白桦-落叶松混交林的劣势木。本研究发现无论白桦纯林还是白桦-落叶松混交林最突出的特点是不管结构参数如何组合,绝大多数林木均表现出随机分布。此外,白桦-落叶松混交林与白桦纯林相比在一定取值范围林分中优势木比例无明显增多,但劣势木占比有所减少,中庸木占比有所增高。这说明适当的混交可以提升林分整体的质量。

大兴安岭地区顶级群落主要是以兴安落叶松为主的针叶林,白桦次生林作为其演替的过渡阶段发挥着重要的作用,因而优化调整白桦次生林林分结构以促进其正向演替是十分必要的^[28]。通过对白桦次生林 2 种林型空间结构的初步分析可知,大兴安岭白桦次生林存在着明显的结构问题,2 种林型林分主要表现为树种结构单一,树冠密集度偏高,容易导致种内竞争加剧,不利于群落演替的稳定性。结构化森林经营强调创建和维护最佳的森林空间结构^[29-30]。原始林中林木分布格局为随机分布,角尺度值接近 0.5。当林木分布格局为团状分布时,林分中角尺度为 1 的单木可作为潜在的调整对象。树种混交度越高,林分结构越稳定,林分调整方向应该是提高林分混交度,优化资源配置。因此,林分中林木混交度取值为 0 的单木可作为潜在的调整对象。大小比数量化了参照树与其相邻木的大小相对关系,在调整主要树种或主要伴生树种时应最大限度地使其不受到相邻竞争木的挤压,使保留木处于优势地位或不受到挤压威胁,说明林分中林木大小比数取值为 1 的单木可作为潜在的调整对象。林分密集度越大说明参照树面临的竞争可能越激烈,林分中林木密集度取值为 1 的单木可作为潜在的调整对象^[31]。

应用角尺度、混交度、大小比数和密集度可以分别调整林木的分布格局、空间隔离程度、竞争关系和拥挤状况,将 4 个参数综合分析可以简易精准地判别出择伐木。因此,在对白桦次生林进行空间结构调整时可将团状分布、零度混交、非常密集的

绝对劣势木作为首选潜在采伐木。2种林型符合首选采伐的林木分别占各林分林木总数的0.94%和0.63%。其次将只有某一方面结构合理,其他三方面结构不合理的林木作为第二批潜在采伐对象,2种类型林分有半数以上林木处于随机分布,所以在选择采伐木时,可以优先考虑混交度、大小比和密集度这3个指标,如随机分布下零度混交、非常密集的绝对劣势木,白桦纯林和白桦-落叶松林该类型林木占总株数的5.64%和2.61%。再将其中两参数合理,另外两参数不合理的林木作为第三批潜在采伐对象。在实际操作中要灵活运用、综合考虑,对于白桦次生林来说其顶极群落是兴安落叶松林,为促进其正向演替在择伐作业时应以兴安落叶松作为目的树种尽量使其保留。如此少量多次进行择伐并结合补植改造的方法来优化林分结构,可以使当前林分结构逐渐向合理化方向发展,促进该地区的群落向正向演替,从而使得林分结构的稳定性增强。

参考文献:

[1]吴晓永,杨华,吕延杰,等.云杉-白桦混交林结构特征分析[J].北京林业大学学报,2019,41(1):64-72.

[2]Franklin J F,Thomas Spies T,Pelt R V,et al.Disturbances and structural development of natural forest ecosystems with silvicultural implications using Douglas-fir forests as an example[J].Forest Ecology and Management,2002,155(1):399-423.

[3]Staudhammer C L,Lemay V M.Introduction and evaluation of possible indices of stand structural diversity[J].Christina Lynn Staudhammer,Valerie Marie Lemay,2001,31(7):1105-1115.

[4]惠刚盈, von Gadow K, 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):39-44.

[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, von Gadow K, 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,1999,35(1):4-9.

[7]Aguirre O,Hui G Y,von Gadow K,et al.An analysis of spatial forest structure using neighbourhood-based variables[J].Forest Ecology and Management,2003,183:137-145.

[8]Pommerening A.Evaluating structure indices by reversing forest structure analysis[J].Forest Ecology and Management,2006,224:266-277.

[9]Tian Z,X Dong,H Guan,et al.Effect of thinning on the

spatial structure of a *Larix gmelinii* Rupr.secondary forest in the Greater Khingan Mountains[J].Forests,2018,9(11):720.

[10]Ghalandarayeshi S,Nord-Larsen T,Johannsen V K,et al.Spatial patterns of tree species in Suserup Skova semi-natural forest in Denmark[J].Forest Ecology & Management,2017,406:391-401.

[11]胡艳波,惠刚盈.基于相邻木关系的林木密集程度表达方式研究[J].北京林业大学学报,2015,37(9):1-8.

[12]Gadow K V,Hui G Y.Characterizing forest spatial structure and diversity[C]//Proceedings of the SUFOR International "Sustainable Forestry in Temperate Regions".Lund:University of Lund,2001:20-30.

[13]安慧君,惠刚盈,郑小贤,等.不同发育阶段阔叶红松林空间结构的初步研究[J].内蒙古大学学报(自然科学版),2005,36(6):116-120.

[14]刘铭波,韩海荣,程小琴,等.山西灵空山典型天然林空间结构特征及其对生产力的影响[J].西北林学院学报,2022,37(1):33-40.

[15]张向龙,王冰,张秋良.内蒙古大兴安岭白桦次生林空间结构特征[J].林业资源管理,2021(5):80-86.

[16]Chai Z Z,Sun C,Wang D X,et al.Spatial structure and dynamics of predominant populations in a virgin old-growth oak forest in the Qinling Mountains,China[J].Scand Journal Forest Res,2017,32(1):19-29.

[17]张岗岗,刘瑞红,惠刚盈,等.林分空间结构参数N元分布及其诠释——以小陇山锐齿栎天然混交林为例[J].北京林业大学学报,2019,41(4):21-31.

[18]和敬渊,王新杰,王开,等.杨桦次生林林分空间结构参数多元分布研究[J].北京林业大学学报,2021,43(2):22-33.

[19]徐美玲,农明川,欧光龙.思茅松天然林林分空间结构分析[J].西南林业大学学报(自然科学),2020,40(3):122-130.

[20]关文彬.中国东北地区白桦林植被生态学的研究——桦属植物与中国白桦林的地理分布[J].北京林业大学学报,1998,20(4):107-112.

[21]丁福安.白桦人工用材林营造技术与措施[J].牡丹江师范学院学报(自然科学版),2014(4):38-39.

[22]刘建荣.利用多孔菌开发桦树汁生物保鲜剂的研究[D].哈尔滨:东北林业大学,2020.

[23]Li Y F,Hui G Y,Zhao Z H,et al.HuiSpatial structural characteristics of three hardwood species in Korean pine broad-leaved forest—Validating the bivariate distribution of structural parameters from the point of tree population[J].Forest Ecology & Management,2014,314:17-25.

[24]Li Y F,Hui G Y,Zhao Z H,et al.The bivariate distribution characteristics of spatial structure in natural Korean pine broad-leaved forest[J].Journal of Vegetation Science,2012

(6): 1180-1190.

[25]彭玉华 曾健 申文辉,等.九万山常绿阔叶林物种组成及空间结构特征分析[J].中南林业科技大学学报, 2020, 40(12): 17-25.

[26]Hao Z Q, Zhang J, Song B et al. Vertical structure and spatial associations of dominant tree species in an old-growth temperate forest[J]. Forest Ecology Manage. 2007, 252(1-3): 1-11.

[27]游晓庆 彭诗涛 郭孝玉,等.闽楠天然次生林林分空间结构研究[J].江西农业大学学报, 2016, 38(4): 660-667.

[28]王智勇 董希斌 张甜,等.大兴安岭落叶松天然次生林林分结构特征[J].东北林业大学学报, 2018, 46(4): 6-11, 28.

[29]雷淑香 成克武.秦皇岛白桦人工林群落结构特征研究[J].西部林业科学, 2020, 49(3): 1-6.

[30]惠刚盈, von Gadow K, 赵中华,等.结构化森林经营原理[M].北京:中国林业出版社, 2016.

[31]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): 1-9.

(编辑: 李甜江)

[上接第 117 页]

[11]孟诜.食疗本草[M].北京:人民卫生出版社, 1984: 2.

[12]苏颂.本草图经[M].合肥:安徽科学技术出版社, 1994: 77.

[13]高文学 施庭有 周庆宏,等.楚雄州林下中药材白芨和滇黄精丰产栽培试验研究[J].林业调查规划, 2020, 45(2): 119-123.

[14]张文莉.滇黄精林下种植技术及效益的相关探讨[J].农村实用技术, 2021(4): 79-80.

[15]刘京晶 斯金平.黄精本草考证与启迪[J].中国中药杂志, 2018, 43(3): 631-636.

[16]胡艳芳 聂裕芳 徐艳琴.滇黄精套种玉米[J].云南农业, 2017(11): 90.

[17]鲁存仁.滇黄精栽培要点[J].云南农业, 2022(2): 81-82.

[18]杨兴鑫 穆健康 顾雯,等.滇黄精资源的开发应用进展及前景分析[J].生物资源, 2019, 41(2): 138-142.

[19]王彩步 段宝忠.云南不同种植基地滇黄精中多糖含量测定分析[J].大理大学学报, 2018, 3(2): 14-17.

[20]Zhang J, Wang Y, Yang M et al. Identification and evaluation of *Polygonatum kingianum* with different growth ages based on data fusion strategy[J]. Microchemical Journal, 2021, 160(PB): 105662.

[21]李玲 杨玉玲 黄玉玲,等.2种类型滇黄精生药学指标和化学成分动态分析[J].中成药, 2021, 43(6): 1548-1554.

[22]段宝忠 张晓灿 杜泽飞,等.滇黄精资源现状及可持续利用探讨[J].大理大学学报, 2017, 2(10): 10-14.

(编辑: 马建忠)