

DOI: 10.5846/stxb201810122215

李语晨,程金花,李明峰,王宇.湖北省九华山林场不同树种配置杉阔混交林分空间结构特征分析.生态学报,2019,39(6): - .

Li Y C, Cheng J H, Li M F, Wang Y. Analysis of the Stand Spatial Structure of a *Cunninghamia lanceolata*-Broadleaved Mixed Plantation on a Jiuhua Mountain Farm, Hubei Province. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(6): - .

湖北省九华山林场不同树种配置杉阔混交林分空间结构特征分析

李语晨^{1,2}, 程金花^{1,2,*}, 李明峰^{1,2}, 王 宇^{1,2}

1 北京林业大学水土保持学院, 北京 100083

2 国家林业局水土保持与荒漠化防治重点实验室, 北京 100083

摘要:以三种(杉木+少量栎类、杉木+栎类+光皮桦、杉木+栎类+光皮桦+马尾松)不同树种配置的杉阔混交林为研究对象,计算了角尺度、大小比数、混交度三个林分空间结构指标,全面分析了湖北省九华山林场不同树种配置杉阔混交防护林分空间结构特征,结果表明:优势树种主要有杉木(*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.)、栎类(*Quercus* L.)及光皮桦(*Betula luminifera*)三种,并有少量马尾松(*Pinus massoniana*)散生于林内,生长优势也较弱。不同树种配置所呈现的林分空间结构也不相同。树种配置Ⅰ(杉木+少量栎类)的角尺度平均值为0.42,大小比数平均值为0.31,混交度平均值为0.18,林木空间分布格局和生长优势度均较好,但混交程度较弱,近乎杉木纯林,对应的生物多样性也会较小。树种配置Ⅱ(杉木+栎类+光皮桦)的角尺度平均值为0.5,大小比数平均值0.32,混交度平均数0.48,空间分布格局整体呈现随机分布;林木主要处于亚优势生长状态,混交度以中度-强度混交为主;而树种配置Ⅲ(杉木+栎类+光皮桦+马尾松)的角尺度平均值为0.58,大小比数平均值0.51,混交度平均数0.54,林木空间格局呈现聚集分布,生长优势水平中庸,为中度混交。全面分析林分空间结构,可以明确林分空间结构中存在的合理情况,为合理择伐以及近自然经营提供科学依据,使该地区的杉阔混交林的多种功能得到可持续发挥。

关键词:树种配置;杉阔混交林;空间结构;角尺度;大小比数;混交度;择伐

Analysis of the Stand Spatial Structure of a *Cunninghamia lanceolata*-Broadleaved Mixed Plantation on a Jiuhua Mountain Farm, Hubei Province

LI Yuchen^{1,2}, CHENG Jinhua^{1,2,*}, LI Mingfeng^{1,2}, WANG Yu^{1,2}

1. College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083

2.

Abstract: In order to analyze the spatial structure of *Cunninghamia lanceolata*-broadleaved mixed plantation on a Jiuhua Mountain farm, three different composition of *Cunninghamia lanceolata*-Broadleaved Mixed Plantation was taken as the study object, three spatial structure parameters, the angle index, mingling degree, and neighborhood comparison, were calculated. The results showed that the dominant species were *C. lanceolata*, *Quercus* L., and *Betula luminifera*; additionally, a small amount of *Pinus massoniana* was scattered throughout the forest. Different tree species compositions presented different spatial structures: composition I had an average angle index of 0.42, average neighborhood comparison value of 0.31, and average mingling degree value of 0.18; composition II had an average angle index of 0.5, average neighborhood comparison value of 0.32, and average mingling degree value of 0.48; and composition III had an average angle index of 0.58, average neighborhood comparison value of 0.51, and an average mingling degree value of 0.54. This comprehensive analysis of the spatial structure of the forest on Jiuhua Mountain farm reflects the unreasonable circumstances

基金项目:国家重点基础研究发展计划(2017YFC0505500,2017YFC0505501)

收稿日期:2018-10-12; **网络出版日期:**2018-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jinhua_cheng@126.com

in the spatial structure of the forest, provides a scientific basis for guiding reasonable selective cutting and near-natural management, and enables the multiple functions of the *Cunninghamia lanceolata*-broadleaved mixed plantation in this region to be sustainable.

Key Words: composition of different tree species; *Cunninghamia lanceolata*-broadleaved mixed plantation; spatial structure; mingling degree; neighborhood comparison; angle index; selective cutting

随着人类对环境与发展问题的认识不断加深,人类逐渐意识到森林不仅仅可以提供木材,还能保持整个生态系统平衡稳定并维持生物多样性,森林是人们在保护环境和寻求发展间的一个纽带^[1]。进入 21 世纪后,森林经营理念逐渐转变为可持续发展,森林经营的目标是增加生物多样性,培育健康稳定的近自然森林,进而做到可持续经营^[2]。林分空间结构作为森林林分功能的基础,在很大程度上决定森林林分的稳定性、发展的可能性和经营空间的大小,只有充分考虑林分空间结构的影响,才能做到维持并增加森林的生物多样性、提升森林经营空间^[3]。随着森林可持续经营对精确信息的需求增加,林分空间结构已成为森林研究中重要的一个部分,对林分空间结构的研究愈显重要^[4-7]。近年来,对不同林分的空间结构的研究明显增加,关于林分空间结构的研究日益完善,其中混交度、大小比数、角尺度三个参数经常用于描述和研究林分空间结构特征,有较好的参考和运用价值^[8-13]。胡艳波等对吉林蛟河天然红松落叶林的空间结构进行了分析^[14];周超凡等基于林分空间结构指数对陕西省黄龙山不同森林群落进行了稳定性评价^[15];倪宝龙等分析了盘古林场天然落叶松林的空间结构^[16];李燕等分析了岭南林场混交林林分空间结构的特征^[17],这些研究大多集中在北方地区以及天然林的林分空间结构,对南方杉木和阔叶林混交林空间结构的研究较少。本研究基于不同杉阔混交林的树种配置,使用混交度、大小比数和角尺度 3 种参数对湖北省九华山林场的杉阔混交林林分空间结构特征进行全面的描述与分析,旨在调整森林结构、构建健康的近自然森林,以期为九华山林场地区制定合理的择伐经营管理措施和技术措施进行科学有效的建议和指导,进一步为南方地区杉阔混交林的林分空间结构优化、森林生物多样性的提高、森林经营的可持续发展提供科学依据。

1 试验地概况

试验地位于湖北省十堰市竹山县九华山林场文家山,境内最高海拔为 1311m,最低处为 600m,其中总面积的 93%分布在海拔 800—1200m 之间。属副亚热带季风大陆性气候,属北温带,年平均气温 10.1—14.0℃,年降水量 1064—1375mm,适合各种树木生长。九华山林场土壤属黄棕壤土类、山地黄棕壤亚类、泥质岩山地黄棕壤上属。试验林林地分布在海拔 976—1070m 的山坡上,32°2′58″—32°3′50″N,110°10′24″—110°10′32″E。地面坡度 22—32°,林龄均为 35 年,郁闭度均大于 0.7。树种配置 I 为 80% 杉木 (*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.)、20% 阔叶树;树种配置 II 为 30% 杉木、70% 阔叶树;树种配置 III 为 30% 杉木、10% 马尾松 (*Pinus massoniana*)、60% 阔叶树。在查阅资料以及全面踏查的基础上,每个树种配置的林分分别选择 3 块具有典型性和代表性的标准地,于 2018 年 4 月进行调查。标准地的规格为 20m×20m,并在每个标准地内拉取平行于标准地界线的玻璃绳,将标准地分割为 16 个 5m×5m 的小样方。记录每个标准地的坐标、海拔、坡度、坡向、坡位,测量郁闭度,将标准地内胸径大于 5cm 的所有树木编号、挂牌,并进行每木检尺,测量胸径、树高、冠幅、枝下高、坐标等指标。经调查,乔木层的主要树种有杉木、马尾松、栎类 (*Quercus* L.)、光皮桦 (*Betula luminifera*)。所有标准地的主要林分特征如表 1 所示。

2 研究方法

2.1 不同树种配置的群落物种结构

重要值 (Important Value, IV) 最初由 Curtis 等提出,可用于描述不同树种配置中乔木层的物种结构,它能综合反映某一植物种在该森林群落中作用和地位^[18],通过样地调查获取乔木的株数、胸径、树高,获取每个

树种的多度、频度、优势度,进一步计算相对多度(D_r)、相对频度(F_r)和相对优势度(P_r)以获得重要值。重要值的计算公式如下:

$$IV = (D_r + F_r + P_r) / 3 \quad (1)$$

式中, D_r 是相对多度, $D_r = (\text{某种植物的密度} / \text{全部植物的总密度}) \times 100\% = (\text{某种植物的个体数} / \text{全部植物的个体数}) \times 100\%$; F_r 为相对频度, $F_r = (\text{该种的频度} / \text{所有种的频度总和}) \times 100\%$; P_r 为相对优势度, $P_r = (\text{样方中该种个体胸面积和} / \text{样方中全部个体胸面积总和}) \times 100\%$ 。

表 1 各样地的主要林分特征

Table 1 Main Forest stand characteristics of different sampling plots

树种配置类型 Numbers of tree species composition	样地 Plots	树种组成结构%			株数 Number of trees	蓄积量/m ³ Volume/m ³	平均胸径/cm Average DBH	平均树高/m Average height
		Proportion of different tree species						
		杉木	阔叶树	马尾松				
		<i>C. lanceolate</i>	Broad-leaved trees	<i>Pinus massoniana</i>				
I	a	85	15	0	61	13.52	18.76	13.85
	b	80	20	0	65	11.24	19.12	11.66
	c	80	20	0	67	12.06	19.87	12.44
II	d	34	66	0	48	10.69	19.77	13.08
	e	30	70	0	45	11.05	20.48	12.45
	f	38	62	0	50	10.18	19.02	12.16
III	g	32	52	6	40	10.23	19.40	16.59
	h	40	50	10	34	8.70	19.03	17.15
	i	30	55	5	45	10.88	18.74	17.02

2.2 不同树种配置的林分空间结构

为全面描述并分析九华山林场三种树种配置内单个林木和整个林分的林木空间分布格局、林木大小分化程度(生长优势状态)以及树种的空间隔离程度,本文采用被广泛运用的角尺度、大小比数、混交度三个空间结构指标来描述不同树种配置的林分空间结构。林分内任一单株木和离它最近 n 株相邻木构成了林分空间结构单元。空间结构单元核心的树被称为参照树。 n 的取值决定了该空间结构单元组成结构框架的大小,惠刚盈等认为 $n=4$ 更能恰当分析林分空间结构^[19]。本文中取 $n=4$,即以参照树和其周围的 4 株相邻木为林分空间结构单元,计算标准样地内每个林木个体的混交度、大小比数和角尺度。同时,在样地四周设置 5m 缓冲区,以防止边缘效应对林分结构产生影响。

2.2.1 角尺度

角尺度对应的空间结构是林木个体空间分布格局特征,用于描述参考树周围的相邻树木分布的均匀性,以及水平地面上林木个体的分布形式。角尺度是在参照树周围,2 个最近相邻木的夹角小于标准角的个数占 n 个相邻木中最近相邻木的夹角总数的比例^[20]。本文中,标准角取最优标准角的值,为 72° ^[19]。角尺度被定义为 α 角小于标准角 α_0 的个数占所考察的 n 个夹角的比,角尺度的表达式为^[21]:

$$W_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n Z_{ij} \quad (2)$$

$$\bar{W} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N W_i \quad (3)$$

式中, W_i 是第 i 株参照树的角尺度, $Z_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{当第 } j \text{ 个 } \alpha \text{ 角小于 } \alpha_0 \text{ 时} \\ 0 & \text{当第 } j \text{ 个 } \alpha \text{ 角大于 } \alpha_0 \text{ 时} \end{cases}$; n 为参照树的相邻木株数,本文中 $n=4$;

$\bar{W}$ 是树种(林分)平均角尺度; N 为树种(林分)的林木总株数; n 与 N 均与下文大小比数与混交度中的相同。

W_i 的取值可能为 0.00、0.25、0.50、0.75、1.00,表示绝对均匀、均匀、随机、不均匀、团状分布,其中随机分布

是较为理想的空间分布格局特征,但在现实中天然林多聚集分布,并随着群落演替逐渐转为随机分布,而人工林多为均匀分布^[22]。 W 的取值在 0—1 之间,惠刚盈等认为,当 $W < 0.457$ 时为均匀分布,当 $0.457 \leq W \leq 0.517$ 时为随机分布,当 $W > 0.517$ 时,为聚集分布^[21],本研究以此作为林分林木分布的判定标准。

2.2.2 大小比数

大小比数用来描述林分中树木个体大小的分化程度以及林木间的优势程度,是在参照树周围的 n 棵最近相邻木中,胸径大于所选参照树棵数的所占比例。其表达式为^[21]:

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

$$U = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N U_i \quad (5)$$

其中, U_i 是第 i 棵参照树的大小比数, $K_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{参照树 } i \text{ 胸径小于第 } j \text{ 棵相邻木胸径时} \\ 0 & \text{参照树 } i \text{ 胸径大于第 } j \text{ 棵相邻木胸径时} \end{cases}$; U 是树种(林分)

平均大小比数。 U_i 的取值可能为 0.00、0.25、0.50、0.75、1.00,表示该参照树的优势、亚优势、中庸、劣势、极劣势地位, U_i 的值越大,说明相邻木中胸径比参照树大的越多,该参照树就越处于生长不利的状况。 U 的取值在 0—1 之间, U 的值越小,说明该林分越有生长优势。

2.2.3 混交度

混交度的概念是 Gadow 等(1992)提出的^[23]。定义是为参照树 i 的 n 株相邻木中,与参照树树种不同的个体所占的比例,用于描述树种的空间隔离程度。用公式表示为^[21]:

$$M_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n V_{ij} \quad (6)$$

$$M = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N M_i \quad (7)$$

式中, M_i 是第 i 棵参照树的混交度, $V_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{参照树 } i \text{ 与第 } j \text{ 棵相邻木非同种时} \\ 0 & \text{参照树 } i \text{ 与第 } j \text{ 棵相邻木为同种时} \end{cases}$; M 是树种(林分)平均混交度。

M_i 的取值可能为 0.00、0.25、0.50、0.75、1.00,分别表示该参照树处于零度、弱度、中度、强度、极强度混交状况。 M 的取值也在 0—1 之间, M 的值越大,说明该林分的混交程度越高,根据前人的研究,普遍认为混交度越高,群落整体的稳定性相对也更好。

3 结果与分析

3.1 不同树种配置的乔木层物种结构

不同树种配置的杉阔混交人工防护林各树种的重要值见表 2。树种配置 I 的树种较少,只有杉木和栎类,由表 2 可以看出,树种配置 I 中杉木重要值为 88.3,是绝对优势树种,而栎类的重要值较小。树种配置 II 有杉木、栎类、光皮桦三种,重要值分别为 57.77、72.04、13.22,可看出树种配置 II 是以杉木与栎类为优势树种。树种配置 III 的针叶树有杉木、马尾松,重要值分别为 41.25、9.37,阔叶树有光皮桦与栎类,重要值分别为 51.32 和 17.71,由此可见树种配置 III 的优势树种为杉木和光皮桦。

3.2 不同树种配置的林分空间结构

3.2.1 林木空间分布格局

用角尺度描述林木个体分布格局时,重点在于各树木之间的位置关系,因此本研究只考虑整个样地角尺度的取值,省去了分树种统计的不必要工作^[24]。不同树种配置的角尺度参数分布见图 1。由图 1 可知,三个树种配置的 $W_i = 0$ 以及 $W_i = 1$ 的频率均为 0,而 $W_i = 0.5$ 的频率均最高,说明三个树种配置的林分都是随机分布情况较多,且都不存在绝对均匀分布和团状分布的情况。树种配置 I 中, $W_i = 0.25$ 以及 $W_i = 0.5$ 的频率均为 0.44,说明存在较多的均匀分布和随机分布;树种配置 II 中, $W_i = 0.5$ 的频率最高,为 0.54,而 $W_i = 0.25$ 以及

$W_i=0.75$ 的频率较小,均为 0.23,说明存在较多的随机分布,均匀分布较少,不均匀分布的情况也不多;树种配置Ⅲ中, $W_i=0.5$ 以及 $W_i=0.75$ 的频率较高,分别为 0.52 和 0.39,说明存在较多的随机分布和不均匀分布, $W_i=0.25$ 的频率较小,表示存在少量的均匀分布。不同树种配置的林分平均角尺度 W 见表 3。惠刚盈等认为,当 $W<0.457$ 时为均匀分布,当 $0.457\leq W\leq 0.517$ 时为随机分布,当 $W>0.517$ 时,为聚集分布^[7]。若以此作为林分林木分布的判定标准,则树种组成Ⅰ的平均角尺度 $W=0.418$,林木空间分布格局为均匀分布;树种组成Ⅱ的 $W=0.5$,为随机分布;而树种组成Ⅲ的 $W=0.5769$,为聚集分布。

表 2 不同树种配置的乔木层重要值

Table 2 Important values of arbor in different tree species composition

树种配置类型 Numbers of tree species composition	树种 Tree species	相对多度 D_r Relative abundance, D_r	相对频度 F_r Relative frequency, F_r	相对优势度 P_r Relative dominancy, P_r	重要值 IV Imprtant value, IV
Ⅰ	杉木 <i>C. lanceolate</i>	85.25	76.19	88.50	83.31
	栎类 <i>Quercus acutissima</i>	14.75	23.81	11.50	16.69
Ⅱ	杉木 <i>C. lanceolate</i>	34.62	77.78	42.93	51.77
	栎类 <i>Quercus acutissima</i>	53.85	111.11	51.16	72.04
	光皮桦 <i>Betula luminifera</i>	11.54	22.22	5.91	13.22
Ⅲ	杉木 <i>C. lanceolate</i>	32.26	64.29	27.21	41.25
	光皮桦 <i>Betula luminifera</i>	51.61	58.97	43.39	51.32
	栎类 <i>Quercus acutissima</i>	9.68	21.43	22.02	17.71
	马尾松 <i>Pinus massoniana</i>	6.45	14.29	7.38	9.37

表 3 不同树种配置的空间结构参数平均值

Table 3 Average value of spatial structure parameters of different tree species composition

树种配置类型 Numbers of tree species composition	空间结构参数 Spatial Structure parameters		
	角尺度 Angle index	大小比数 Neighborhood comparison	混交度 Mingling degree
Ⅰ	0.4180	0.3074	0.1844
Ⅱ	0.5000	0.3173	0.4808
Ⅲ	0.5769	0.5096	0.5385

3.2.2 不同树种配置的林木生长分化情况

林木生长大小的差异分化情况可以通过大小比数看出。不同树种配置的林木大小比数频率分布如图 2 所示,平均如见表 3 所示。树种配置Ⅰ和Ⅲ的大小比数频率分布比较均匀,胸径大小差异明显。但树种配置Ⅰ和Ⅱ的平均大小比平均大小比均接近 0.3,整体处于亚优势的生长状态。Ⅰ和Ⅱ林分内整体处于优势和亚优势生长状态的林木占比较大,分别为 61% 和 73%,处于劣势和极劣势生长状态的受压林木较少,分别为 11% 和 12%。树种配置Ⅱ优势生长林木个体占比虽然较大,但也存在一部分极劣势生长状态的林木,整体的生长情况不够平均,分化过于明显,树种的稳定性较差。树种配置Ⅲ的平均大小比数为 0.5096,整体处于中庸的生长状态,占比最大的是处于劣势和极劣势生长状态的林木,总比例为 35%。

各树种配置中不同树种的大小比数分布及其平均值见表 4。在树种配置Ⅰ中,杉木的优势及亚优势生长状态的个体占杉木总体的 58%,中庸生长状态的林木占总数的 29%,劣势状态占 13%,林木个体大小分化较为明显,受压数量较少,杉木总体发育良好。栎类的优势及亚优势生长状态的个体占栎类总体的比例非常高,达到了 77%,其余 22% 均处于中庸状态,无处于受压状态的林木。栎类的株数比杉木少,且平均胸径与杉木的平均胸径相差较多,但并不影响树种配置Ⅰ的总体林分结构。

树种配置Ⅱ中,杉木、栎类、光皮桦三个树种的大小比数平均值分别为 0.47、0.48、0.5,均处于中庸生长状态。其中杉木的优势及亚优势生长状态个体占杉木总体的 66%,中庸状态占比 11%,极劣势生长状态占比

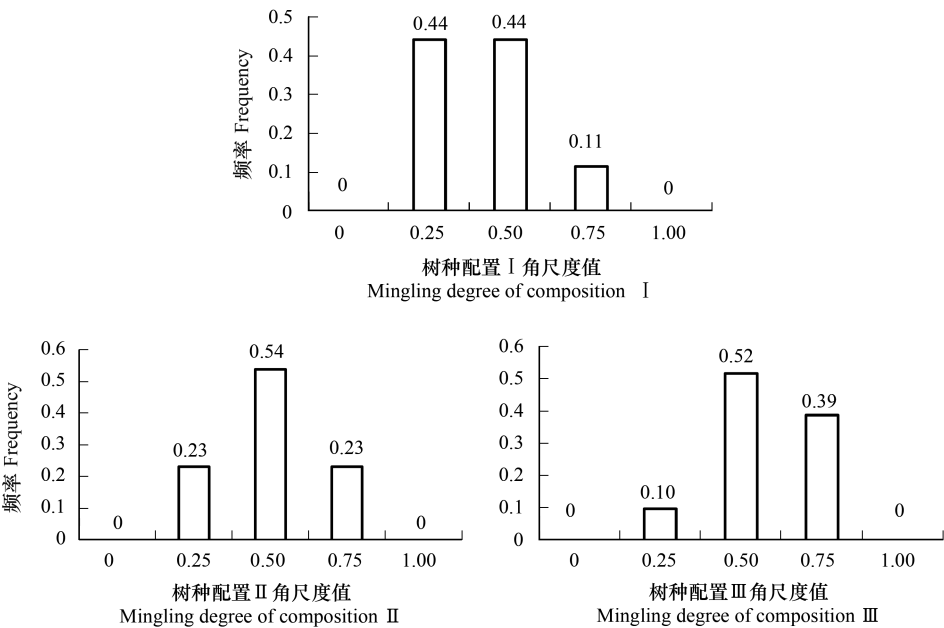


图 1 不同树种配置的角尺度参数频率分布图

Fig.1 The distribution frequency of angle index of different tree species composition

22%。大小比数平均值为 0.47,整体处于中庸生长状态,但也存在一定比例的极劣势状态的林木,树种的稳定性不是很好。栎类的优势及亚优势状态个体占栎类总体的 72%,其余的 21%为中庸生长状态,7%为极劣势生长状态,大小比数分布较为均匀。光皮桦的株数较少,分散生长在样地内,且胸径均较大,所以 100%处于生长亚优势状态。

表 4 各树种大小比数分布及其平均值

Table 4 Neighborhood comparison's distribution and average value of different tree species							
树种配置类型 Numbers of tree species composition	树种 Tree species	参数值 Ui Parameter value Ui					平均值 Average value
		0.00	0.25	0.50	0.75	1.00	
I	杉木 <i>C. lanceolate</i>	0.25	0.33	0.29	0.13	0.00	0.21
	栎类 <i>Quercus acutissima</i>	0.44	0.33	0.22	0.00	0.00	0.19
II	杉木 <i>C. lanceolate</i>	0.22	0.44	0.11	0.00	0.22	0.47
	栎类 <i>Quercus acutissima</i>	0.29	0.43	0.21	0.00	0.07	0.48
	光皮桦 <i>Betula luminifera</i>	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.50
III	杉木 <i>C. lanceolate</i>	0.20	0.40	0.10	0.30	0.00	0.45
	光皮桦 <i>Betula luminifera</i>	0.00	0.25	0.38	0.38	0.00	0.39
	栎类 <i>Quercus acutissima</i>	0.67	0.00	0.00	0.00	0.33	0.50
	马尾松 <i>Pinus massoniana</i>	0.00	0.50	0.00	0.50	0.00	0.63

树种配置Ⅲ中,杉木的优势及亚优势状态树种占了杉木总体的 60%,有 10%处于中庸状态,30%处于劣势状态,可能是由于在构成单独的树木结构单元时,有胸径较大的光皮桦和马尾松生长于杉木周围。光皮桦树种大小比数平均值为 0.39,整体生长状态较为中庸,不存在处于优势生长状态和极劣势生长状态的林木,但处于中庸状态和劣势状态的树木均达到了 38%。栎类的大小比数平均值为 0.5,整体生长状况也较为中庸,但大小比数分布频率非常不均匀,67%处于优势生长状态,33%处于极劣势生长状态,可见树种配置Ⅲ中栎类的稳定性较差,可能是由于部分胸径较小的栎类分散在样地内胸径较大的树木旁边,导致栎类生长受压。马尾松大小比数平均值为 0.66,整体生长状态不占优势,其中有 50%处于优势生长状态,另外 50%处于劣势生长

状态。

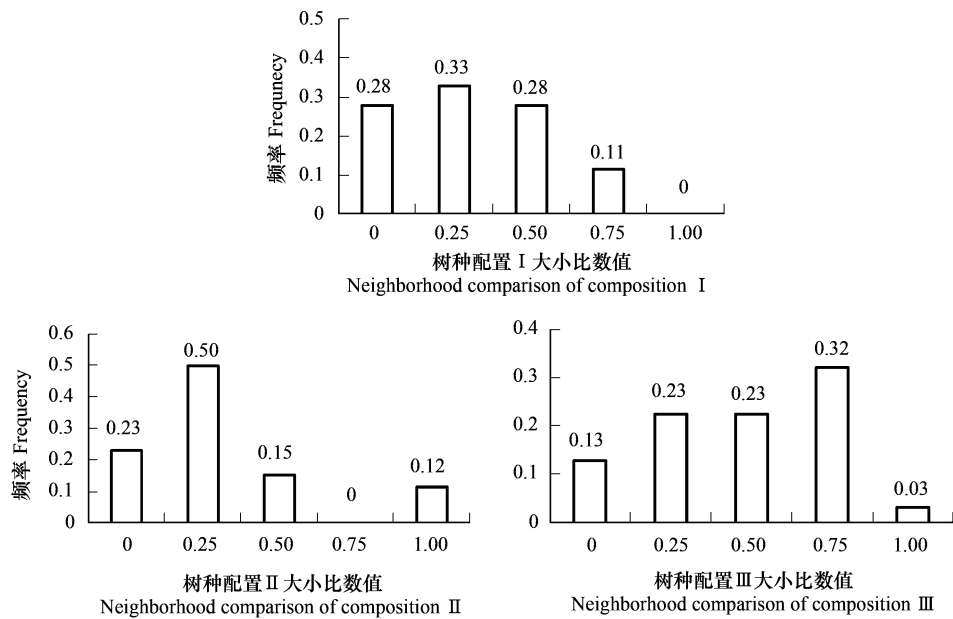


图 2 不同树种配置的大小比数参数频率分布图

Fig.2 The distribution frequency of neighborhood comparison of different tree species composition

3.2.3 不同树种配置的树种混交情况

不同树种配置样地的混交度频率分布见图 3,平均值见表 3。树种配置 I 的树种较为单一,样地内大多都是杉木,只有少数栎类混交其间,从杉木的 $M_i=0.09$ 处于弱度混交而栎类的 $M_i=0.75$ 处于极强度混交就能看出。零度混交和弱度混交的杉木占总杉木的 81%,以零度混交为主。树种配置 II 和 III 的混交度分布较均匀,没有零度混交的情况,主要是弱度混交和中度混交,混交度平均值均在 0.5 左右,说明大多数的林木周围只有 1—2 棵不同种的林木,树种的混交程度较弱。

表 5 各树种混交度分布及其平均值

Table 5 Mingling degree's distribution and average value of different tree species							
树种配置类型 Numbers of tree species composition	树种 Tree species	参数值 Mi Parameter value Ui					平均值 Average value
		0.00	0.25	0.50	0.75	1.00	
I	杉木 <i>C. lanceolate</i>	0.71	0.23	0.06	0.00	0.00	0.09
	栎类 <i>Quercus acutissima</i>	0.00	0.00	0.33	0.33	0.33	0.75
II	杉木 <i>C. lanceolate</i>	0.00	0.67	0.33	0.00	0.00	0.33
	栎类 <i>Quercus acutissima</i>	0.00	0.29	0.36	0.21	0.14	0.55
	光皮桦 <i>Betula luminifera</i>	0.00	0.00	0.67	0.33	0.00	0.58
III	杉木 <i>C. lanceolate</i>	0.00	0.30	0.50	0.20	0.00	0.48
	光皮桦 <i>Betula luminifera</i>	0.00	0.38	0.38	0.25	0.00	0.47
	栎类 <i>Quercus acutissima</i>	0.00	0.00	0.33	0.00	0.67	0.83
	马尾松 <i>Pinus massoniana</i>	0.00	0.00	0.00	0.50	0.50	0.88

4 结论与讨论

通过对三种不同树种配置的 9 块杉阔混交林样地进行分析,发现优势树种主要有杉木、栎类及光皮桦三种。三个树种均存在优势和劣势生长的树木,生长状况总体较为平均。杉木的株数多,混交度弱,树种分布较

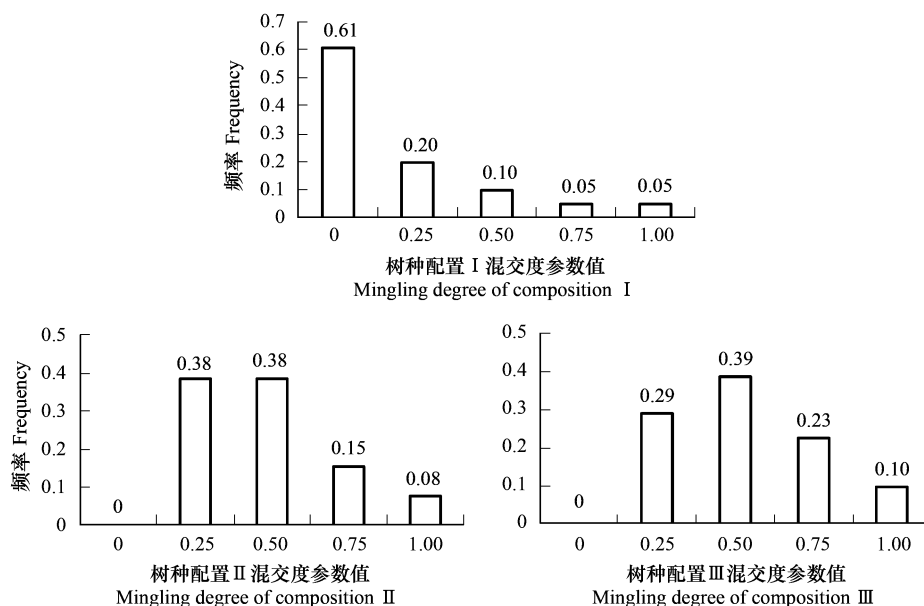


图3 不同树种配置的混交度参数

Fig.3 The distribution of mingling degree of different tree species composition

为聚集,树种空间隔离程度较低;栎类以及光皮桦的生长优势稍弱于杉木,但处于中度混交和强度混交之间。另有少量马尾松散生于林内,虽混交程度较强但株数相对也较少,生长优势也较弱。

不同树种配置所呈现的森林空间结构不尽相同。树种配置 I (杉木+少量栎类)的空间结构整体呈现均匀分布,生长优势状态为亚优势,主要处于零度混交状态,林木空间分布格局和生长优势度均较好,但混交程度非常弱,对应的生物多样性也会较小。树种配置 II (杉木+栎类+光皮桦)的空间分布格局整体呈现随机分布;林木大多处于亚优势生长状态,混交度以中度混交和强度混交为主;而树种配置 III (杉木+光皮桦+栎类+马尾松)的林木空间格局呈现聚集分布,生长优势水平中庸,为中度混交。三种树种配置的角尺度参数值 $W_i=0$ 和 $W_i=1$ 的情况均不存在,而 $W_i=0.5$ 的频率均最高,说明林木个体绝对均匀分布和团状分布几乎不存在,而是大多数呈现随机分布情况,这与巫志龙等人对福建省建瓯市墩阳林场杉阔混交林的角尺度分析结果一致^[25]。三个树种配置的大小比数频率分布较为均匀,胸径大小差异较明显,值得一提的是,树种配置 III 中马尾松的生长状态不占优势,这与巫志龙等对福建省建瓯市墩阳林场杉阔混交林^[25]和李燕等对岭南林场混交林内马尾松的大小比数及生长状态^[17]的研究结果不一致,马尾松的胸径较大,理论上应处于优势生长状态,但可能是由于在本研究中,树种配置 III 中马尾松的数量很少,且又有部分马尾松散生在胸径更大的光皮桦周围,所以导致马尾松有 50% 处于劣势生长状态。

在森林的发展过程中,林分空间结构是一个重要的驱动因子,对森林的生长起到决定性作用^[26]。任何试图促进森林发展的干扰(如择伐),主要表现为改变森林结构^[27]。国家林业局倡导用近自然方式改造混交林,现代近自然森林经营理论也倡导通过建立空间结构与功能的基础,进行合理的经营,寻求空间结构优化^[13]。巫志龙等在综合分析了福建杉阔混交人工林林分空间结构后,建议采取择伐来调整林分结构^[25],而李燕等在全面分析了岭南林场混交林林分空间结构特征的基础上,建议分树种进行择伐,并尽可能保留角尺度 0.5 的林木。Hanewinkel、Kint^[28-30]等人通过模拟空间结构指数,如聚集指数、分隔指数和混交度,结果表明,对林内的劣质的优势或亚优势木进行择伐,有利于中等木生长和幼树的更新并改善了林分空间结构,各树种的混交度升高,分布格局有从聚集、均匀分布变为随机分布的趋势,树木大小的多样性得到了提高。董灵波等人以帽儿山樟子松人工林为研究对象,以角尺度、混交度、大小比为切入点,将空间机构优化方案于三维可视化模拟模型进行耦合,结果表明,模拟对林内树木进行择伐并提高树种混交度,林分空间得到了明显优

化^[31]。大量研究认为,择伐是混交林经营的关键部分、也是调整林分空间结构的主要措施,因此在今后的混交林经营中,可采用近自然方式,以优化林木空间结构为目标,对九华山林场的杉阔混交林进行择伐,尽量保留单株角尺度为 0.5 的树木,使林木空间分布格局由聚集分布转变为随机分布,进一步达到均匀分布,并在此基础上充分考虑树种的混交、树种配置措施、生长优势状况(胸径大小),适当引入珍贵树种及乡土树种,科学合理地提高杉阔混交林的物种多样性、优化杉阔混交林的林分结构,调整不合理的林分空间结构,并使之趋于最优状态,进一步控制森林空间结构维持在最优状态,使杉阔混交林的多种功能得到可持续发挥,真正做到向近自然混交林状态转变。

参考文献 (References):

- [1] 汤孟平. 森林空间结构分析与优化经营模型研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2003.
- [2] Spiecker H. Silvicultural management in maintaining biodiversity and resistance of forests in Europe-temperate zone. *Journal of Environmental Management*, 2003, 67(1): 55-65.
- [3] Baskett E Z, Keles S. Spatial forest planning: A review. *Ecological Modelling*, 2005, 188(2/4): 145-173.
- [4] Liebhold A M, Rossi R E, Kemp W P. Geostatistics and geographic information systems in applied insect ecology. *Annual Review of Entomology*, 1993, 38: 303-327.
- [5] Moer M. Characterizing spatial patterns of trees using stem-mapped data. *Forest Science*, 1993, 39(4): 756-775.
- [6] Pommerening A. Approaches to quantifying forest structures. *Forestry*, 2000, 75(3): 305-324.
- [7] 惠刚盈, 胡艳波. 混交林树种空间隔离程度表达方式的研究. *林业科学研究*, 2001, 14(1): 23-27.
- [8] 李盾, 黄楠, 王强, 罗传文. 天然次生林林木空间格局及更新格局. *东北林业大学学报*, 2004, 32(5): 4-6, 9-9.
- [9] 安慧君, 惠刚盈, 郑小贤, 张韬, 胡艳波, 孟庆伟. 不同发育阶段阔叶红松林空间结构的初步研究. *内蒙古大学学报: 自然科学版*, 2005, 36(6): 714-718.
- [10] 贾秀红, 郑小贤. 长白山过伐林区云冷杉针阔混交林空间结构分析. *华中农业大学学报*, 2006, 25(4): 436-440.
- [11] 惠刚盈, Gadow K V, 胡艳波, 陈伯望. 林木分布格局类型的角尺度均值分析方法. *生态学报*, 2004, 24(6): 1225-1229.
- [12] 汤孟平, 唐守正, 雷相东, 李希菲. 林分择伐空间结构优化模型研究. *林业科学*, 2004, 40(5): 25-31.
- [13] 郝云庆, 王金锡, 王启和, 孙鹏, 蒲春林. 柳杉纯林改造后林分空间结构变化预测. *林业科学*, 2006, 42(8): 8-13.
- [14] 胡艳波, 惠刚盈, 戚继忠, 安慧君, 郝广明. 吉林蛟河天然红松阔叶林的空间结构分析. *林业科学研究*, 2003, 16(5): 523-530.
- [15] 周超凡, 王博恒, 王蔚炜, 赵鹏祥, 李卫忠. 基于空间结构指数的黄松山林区不同森林群落稳定性评价. *中南林业科技大学学报*, 2018, 38(7): 76-82.
- [16] 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. *生态学报*, 2013, 33(16): 4975-4984.
- [17] 李燕, 刘成功, 李秀芹, 宋曰钦, 万志兵, 胡茶青. 岭南林场混交林林分空间结构特征分析. *分子植物育种*, 2018, 16(11): 3768-3776.
- [18] Curtis J T, McIntosh R P. An upland forest continuum in the prairie-forest border region of Wisconsin. *Ecology*, 1951, 32(3): 476-496.
- [19] 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. *林业科学研究*, 2004, 17(6): 687-692.
- [20] 汤孟平. 森林空间结构研究现状与发展趋势. *林业科学*, 2010, 46(1): 117-122.
- [21] 惠刚盈, 李丽, 赵中华, 党普兴. 林木空间分布格局分析方法. *生态学报*, 2007, 27(11): 4717-4728.
- [22] 刘进山. 不同起源柳杉群落结构特征对比研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2009.
- [23] Gadow K V, Bredenkamp B. *Forest Management*. Pretoria: Academica, 1992.
- [24] 张会儒, 汤孟平, 舒清志. 森林生态采伐的理论与实践. 北京: 中国林业出版社, 2006: 214-226.
- [25] 巫志龙, 周成军, 周新年, 郑群瑞, 陈辉荣, 李智丰. 杉阔混交人工林林分空间结构分析. *林业科学研究*, 2013, 26(5): 609-615.
- [26] Pretzsch H. Analysis and modeling of spatial stand structures. Methodological considerations based on mixed beech-larch stands in Lower Saxony. *Forest Ecology and Management*, 1997, 97(3): 237-253.
- [27] Pommerening A. Evaluating structural indices by reversing forest structural analysis. *Forest Ecology and Management*, 2006, 224(3): 266-277.
- [28] Hanewinkel M, Pretzsch H. Modelling the conversion from even-aged to uneven-aged stands of Norway spruce (*Picea abies* L. Karst.) with a distance-dependent growth simulator. *Forest Ecology and Management*, 2000, 134(1/3): 55-70.
- [29] Kint V. Structural development in ageing temperate Scots pine stands. *Forest Ecology and Management*, 2005, 214(1/3): 237-250.
- [30] Courbaud B, Goreaud F, Dreyfus P, Bonnet F R. Evaluating thinning strategies using a tree distance dependent growth model: some examples based on the CAPSIS software "uneven-aged spruce forests" module. *Forest Ecology and Management*, 2001, 145(1/2): 15-28.
- [31] 董灵波, 刘兆刚. 樟子松人工林空间结构优化及可视化模拟. *林业科学*, 2012, 48(10): 77-85.