

## 天目山针阔混交林林木空间分布格局特征

王 敬<sup>1,2</sup>, 韦新良<sup>1,2</sup>, 徐 建<sup>1,2</sup>, 范佩佩<sup>1,2</sup>

(1. 浙江农林大学 浙江省森林生态系统碳循环与固碳减排重点实验室, 浙江 临安 311300; 2. 浙江农林大学 环境与资源学院, 浙江 临安 311300)

**摘要:** 森林中林木的空间位置和森林功能息息相关, 为更好地掌握树种的空间分布规律, 科学合理地开展森林经营管理活动, 在浙江省天目山区设置了 30 m × 30 m 的针阔混交林样地 15 个, 使用全站仪对样地边界和胸径 ≥ 5 cm 的木本植物个体进行精确测量定位, 同时进行种类识别、挂牌、定位和每木检测, 获取基础数据。利用混交度、大小比数和角尺度等 3 种结构参数表征针阔混交林林分空间结构。结果表明: 林分空间分布格局上, 混交度为 0.700~0.900 的比例较大, 树种平均混交度为 0.712。天目山针阔混交林的林木零度混交和轻度混交的比例不高, 中度混交和强度、极强度混交占很大比例。林分空间大小分化差异较小, 在空间结构单元里, 林分平均的大小比数值 0.477, 大部分个体分化程度处于中等水平。林分中有近一半的树木处于优势地位, 总体优势度有继续上升的潜力。树种间的大小比数有一定差异, 马尾松 *Pinus massoniana* 生长空间比其他树种略小一些, 枫香 *Liquidambar formosana*, 杉木 *Cunninghamia lanceolata*, 短柄枹 *Quercus glandulifera* var. *brevipetiolata* 等优势不明显, 其余树种生长占优势地位。天目山针阔混交林林分处于相对稳定的状态, 角尺度为 0.500 等级的分布频率最大, 林分平均角尺度为 0.533, 林分中极少有很均匀和很不均匀的结构单元出现, 整体林木水平分布格局为团状分布。未来的演替过程中, 林分分布有随机分布的趋势。天目山针阔混交林物种丰富, 结构相对合理, 林分处于较为稳定的状态中。图 3 表 4 参 20

**关键词:** 森林生态学; 针阔混交林; 林分; 分布格局; 天目山

中图分类号: S718.54 文献标志码: A 文章编号: 2095-0756(2014)05-0668-08

## Spatial distribution patterns of a coniferous-broadleaved mixed forest in Mount Tianmu, China

WANG Jing<sup>1,2</sup>, WEI Xinliang<sup>1,2</sup>, XU Jian<sup>1,2</sup>, FAN Peipei<sup>1,2</sup>

(1. Zhejiang Provincial Key Laboratory of Carbon Cycling in Forest Ecosystems and Carbon Sequestration, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 2. School of Environmental and Resource Sciences, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

**Abstract:** Spatial position is close to the function of forest, in order to get the rule of spatial distribution and make forest management activities, fifteen mixed conifer-broadleaf forest plots with 30 m × 30 m surveyed at Mount Tianmu, Zhejiang. Electronic Total Station was used to measure the plots border and the accurate location of trees which DBH was above 5 cm, at the same time, species identifying, listing, and every tree detection were prepared. Three parameters-mingling index, neighborhood comparison, and uniform angle index-were used to describe spatial structure. Results showed that the mingling index was between 0.700 and 0.900 with a 0.712 average. For stand spacing distribution patterns, the zero and weak mixtures of tree species had the lowest proportion, the strong and extremely strong mixtures of many different tree species had the largest proportion. The

收稿日期: 2013-10-17; 修回日期: 2013-12-15

基金项目: 浙江省公益性技术应用研究计划项目(2013C33017)

作者简介: 王敬, 从事森林及环境评价与规划设计研究。E-mail: 408589728@qq.com。通信作者: 韦新良, 教授, 博士, 从事森林及环境评价与规划设计研究。E-mail: weixl@zafu.edu.cn

average neighborhood comparison was 0.477 with relatively less heterogeneity within the spatial structure units and most of the individual differences at a medium level. Approximately half of the trees within the forest stand belonged to dominant tree species with overall dominance having the potential to increase. Tree species size varied. The growing space of *Pinus massoniana* was less than other species; no obvious differences in growing space were found for *Cunninghamia lanceolata*, *Liquidambar formosana*, and *Quercus glandulifera* var. *brevipetiolata*, but other species occupied a dominant position. These mixed coniferous-broadleaved forests were relatively stable with an average uniform angle index of 0.533 most of which was close to 0.500. No obvious uniform or uneven forest structure was noted with overall cluster distribution. Future succession of the forest stand was predicted to have a random distribution. In summary, the mixed coniferous-broadleaved forest at Tianmu Mountain had diverse species with a suitable, relatively stable forest structure. [Ch, 3 fig. 4 tab. 20 ref.]

**Key words:** forest ecology; mixed coniferous-broadleaved forest; stands; distribution pattern; Mount Tianmu

林木在森林中的空间位置和森林功能息息相关,它决定了林分的稳定程度、发展趋势和经营空间的大小,把握森林空间格局、掌握树种的空间分布规律是科学合理地开展森林经营管理活动的重要依据,开展森林空间分布格局研究意义重大。通常,研究林木的分布格局主要研究一定面积样方内林木个体可能的株数分布,单木之间距离的大小与分布,各单木与其周围单木所能构成的夹角大小及其分布等 3 个方面,其研究方法有样方法、距离法和角尺度法<sup>[1-4]</sup>。样方法取样主观性很大,研究结果准确性较低,该方法现在应用较少<sup>[5]</sup>。目前,研究林木空间分布格局主要采用的是混交度、大小比数和角尺度方法<sup>[6-9]</sup>。天目山地处浙江省西北部,许多专家和学者对天目山生物多样性<sup>[10]</sup>、植被空间分布规律<sup>[11]</sup>、毛竹 *Phyllostachys edulis* 林空间结构<sup>[12]</sup>、常绿阔叶林混交度<sup>[13]</sup>、常绿阔叶林优势种群竞争<sup>[14]</sup>、针阔混交林枫香 *Liquidambar formosana* 的结构特征<sup>[15]</sup>等进行了研究,对天目山地区的种群和结构特征方面有了一定的了解。但是对于针阔混交林林分空间结构,至今没有较为系统的研究。针阔混交林在天目山地区森林类型中具有典型性,树种多样,空间结构复杂,其林分空间结构特征、树种混交、树木大小、林木与相邻木比照等尚不清楚。对此,进行空间分布格局研究,对于把握针阔混交林空间结构特征,开展林分稳定性研究具有重大意义,对于深入了解天目山林分空间结构特征,了解其生态特征和动态规律,更好地采取保护措施具有重要的应用价值。

## 1 研究区概况

天目山地处 30°20'N, 119°25'E, 气候属中亚热带北缘向北亚热带过渡性气候,四季分明,季风强盛,气候温和,光照适宜,雨水充沛。山麓年均气温为 14.9 °C, 年均降水量为 1 535.6 mm, 山顶年平均气温为 8.7 °C, 年均降水量 1 766.7 mm。山顶物候期比山麓迟 15~25 d<sup>[16]</sup>。年相对湿度为 76%~81%。主峰仙人顶海拔为 1 506 m。土壤大部分为亚热带红黄壤类型,同时随着海拔的升高逐步向湿润的温带型过渡。区域内森林土壤类型状况较好,多由富含活性腐殖酸的腐殖质组成<sup>[16]</sup>。受海洋暖湿气候影响,温暖湿润,森林植被十分茂盛。自山麓到山顶垂直带谱为:海拔 870 m 以下为针阔混交林、常绿阔叶林,主要乔木树种有马尾松 *Pinus massoniana*, 杉木 *Cunninghamia lanceolata*, 青冈 *Cyclobalanopsis glauca*, 枫香等;海拔 870~1 100 m 为常绿、落叶阔叶混交林,主要乔木树种有小叶青冈 *Cyclobalanopsis myrsinifolia* 和天目木姜子 *Litsea auriculata* 等;海拔 1 100~1 380 m 为落叶阔叶林,主要乔木树种有白栎 *Quercus fabri* 和茅栗 *Castanea seguinii* 等<sup>[17]</sup>。

## 2 研究过程与方法

### 2.1 样地设置与测定

2011 年,在浙江省天目山山区选择具有代表性且少有人为干扰的天然针阔混交林地段,设置 30 m × 30 m 样地 15 个,样地设置的坡度范围是 10°~40°,海拔变化范围为 50~400 m。通过实地样地调查,使用全站仪对样地边界和胸径 ≥ 5 cm 的木本植物个体进行精确测量定位,用水平距表示林木间的距离。对于每一个样地,采用样方法和乔木定位方法,对胸径 ≥ 5 cm 的木本植物个体进行种类识别、挂牌、

定位和每木检测。用围尺测定胸径,用激光测高仪测出树高,用全站仪测量每株树的方向和离西南点的距离,同时用皮尺测定每株树木的枝下高、南北冠幅和东西冠幅。

调查结果显示:15个样地内胸径5 cm以上乔木层物种共有49种,针叶类主要有马尾松和杉木;阔叶类主要有枫香,短柄枹 *Quercus glandulifera* var. *brevipetiolata*,白栎 *Quercus fabri*,苦槠 *Castanopsis sclerophylla*,山矾 *Symplocos caudata*,锥栗 *Castanea henryi*,麻栎 *Quercus acutissima*,黄连木 *Pistacia chinensis*,木荷 *Schima superba*,化香 *Platycarya strobilacea*,山合欢 *Albizia kalkora*;灌木类主要是檵木 *Loropetalum chinense*,山胡椒 *Lindera glauca*和山樱 *Prunus serrulata*。其中马尾松、杉木、枫香属于森林群落中的优势较为明显的树种<sup>[18]</sup>。各样地林分冠幅、胸径、树高的变化基本情况见表1。

表1 各样地林木的基本信息

Table 1 Basic information of every plot

样地 编号	坡度/ (°)	海拔/m	优势树种	冠幅/m			胸径/cm			树高/m		
				最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均
1	20	87	马尾松,短柄枹,柃木,檵木	7.00	2.00	5.52	24.90	5.00	9.07	16.10	1.90	6.82
2	19	80	短柄枹,马尾松,木荷	1.60	10.50	4.97	29.60	5.10	13.98	13.70	2.20	7.64
3	20	87	马尾松,短柄枹,檵木	7.90	1.20	3.72	23.70	5.00	8.54	15.80	2.20	6.10
4	16	102	马尾松,短柄枹,无患子	10.30	2.00	4.31	47.90	5.00	10.42	15.00	2.00	5.63
5	30	58	马尾松,青冈,苦槠	9.60	1.80	3.51	29.50	5.00	10.73	11.90	3.10	6.32
6	35	58	马尾松,杉木,枫香,白栎	7.80	1.30	3.39	45.60	5.70	17.63	17.60	2.50	8.89
7	11	369	马尾松,华东楠,枫香	10.60	1.40	3.53	48.40	5.00	14.58	15.70	3.80	8.29
8	13	384	马尾松,枫香	7.20	1.60	3.82	46.20	5.00	15.65	15.40	4.20	9.63
9	11	354	白栎,杉木,马尾松,中华槭	8.50	1.20	3.66	74.00	5.00	13.84	18.70	1.80	8.98
10	13	370	黄檀,马尾松,枫香	7.20	0.70	3.20	53.60	5.00	15.67	15.80	4.10	9.12
11	16	351	马尾松,杉木,苦槠,枫香	9.60	0.60	3.29	44.70	4.30	15.34	16.70	2.50	10.24
12	39	332	锥栗,杉木,马尾松,麻栎	8.60	0.60	2.91	44.40	5.10	11.92	18.50	3.80	9.02
13	15	378	马尾松,锥栗,麻栎,化香	7.30	0.80	3.15	49.50	5.10	15.44	18.80	4.60	9.53
14	30	365	白栎,杉木,山胡椒	10.70	0.90	3.62	73.40	5.00	14.72	17.60	3.90	8.97
15	31	338	枫香,杉木,马尾松,锥栗	7.90	0.90	2.87	39.30	5.00	14.40	18.50	2.50	8.20

## 2.2 林木空间分布格局测度

以样地调查数据为基础,利用森林空间结构分析系统软件 V1.0<sup>[19]</sup>进行数据处理和分析,计算样地内林木的混交度、大小比数和角尺度。在实际计算中,为避免边缘效应,确定样地内距每条边线5 m之内为缓冲区,其余部分为核心区,缓冲区内的林木只做相邻木处理,不参与统计,计算核心区内全部单木的空间结构参数。

2.2.1 混交度 树种混交度( $M_i$ )被定义为参照树的  $n$  株最近相邻木中与参照树不属同种的个体所占的比例,用以描述树种的空间隔离程度,或者说树种间关系情况<sup>[6]</sup>。其计算公式为:

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

其中:  $V_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{当参照树 } i \text{ 与第 } j \text{ 株相邻木非同种时} \\ 0 & \text{否则} \end{cases}$ 。 $M_i$  的5种取值,即0, 0.25, 0.50, 0.75和1.00,

对应于混交度的描述为:零度、弱度、中度、强度和极强度混交。林分平均混交度  $\bar{M}$  计算式为:

$$\bar{M} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n M_i$$

其中:  $n$  为林分内所有林木株数,  $M_i$  表示第  $i$  株树的混交度。

2.2.2 大小比数 大小比数( $U_i$ )是大小分化度的改进,是指胸径大于参照树的相邻木占  $n$  株最近相邻木的株数比例,用以描述林木个体大小分化程度,或者说是树种的生长优势程度,它能准确判断出参照树是否比其相邻木大,同时量化了参照树与其相邻木的关系<sup>[6]</sup>。其计算公式为:

$$U_i = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 k_{ij}。$$

其中:  $k_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{如果相邻木 } j \text{ 比参照树 } i \text{ 小} \\ 0 & \text{否则} \end{cases}$ 。大小比数 ( $U_i$ ) 的 5 种取值, 即 0, 0.25, 0.50, 0.75 和 1.00,

对应于参照树在 4 个相邻木中不同的优势程度, 即优势、亚优势、中庸、劣势和绝对劣势。不同树种的大小比数平均值 ( $\bar{U}_{sp}$ ) 算式为:

$$\bar{U}_{sp} = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^4 U_i。$$

其中:  $L$  为林分内该树种 (sp) 的数量,  $U_i$  为该树种的第  $i$  株树的大小比数值。

2.2.3 角尺度 惠刚盈等<sup>[20]</sup>提出角尺度  $W_i$ 。角尺度是从参照树出发, 任意 2 个最近相邻木的夹角有 2 个, 令小角为  $\alpha$ , 角尺度被定义为  $\alpha$  角小于标准角  $\alpha_0$  的个数占所考察的最近 4 株相邻木的比例。 $W_i=0$  表示 4 株最近相邻木在参照树周围分布是特别均匀的状态,  $W_i=0.500$  表示 4 株最近相邻木在参照树周围分布是特别随机的状态,  $W_i=1.000$  则表示 4 株最近相邻木在参照树周围分布是特别不均匀的或聚集的状态。角尺度既可用分布图, 也可用分布的均值表达, 角尺度分布图对称表示林木分布为随机即位于中间类型(随机)两侧的频率相等; 若左侧大于右侧则为均匀; 若右侧大于左侧则为团状。更为精细的分析可以角尺度均值  $W$  的置信区间为准; 随机分布时  $W$  取值范围为  $[0.475, 0.517]$ ;  $W > 0.517$  时为团状分布;  $W < 0.475$  时为均匀分布。 $W$  公式为:

$$\bar{W} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n W_i = \frac{1}{4n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^4 Z_{ij}。$$

其中:  $Z_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{当第 } j \text{ 个 } \alpha \text{ 角小于标准角, } \alpha_0 (\alpha_0=72^\circ) \\ 0 & \text{当第 } j \text{ 个角 } \alpha \text{ 大于标准角, } \alpha_0 \end{cases}$ ,  $n$  为林分内参照树的株数,  $i$  为任一参照树,  $j$

为参照树  $i$  的 4 株最近相邻木,  $W_i$  为角尺度即描述相邻木围绕参照树  $i$  的均匀性。

### 3 结果与分析

#### 3.1 林木结构特征

天目山针阔混交林林木的大小分布结构特征如表 2。由表 2 可以看出: 天目山针阔混交林主要乔木层树种中, 马尾松、杉木、枫香、短柄枹等在该群落中占有明显优势, 既是该群落的优势种, 也是建群种, 这与其他学者对天目山针阔混交林特性研究一致<sup>[20]</sup>。马尾松和杉木种群个体分布范围最广, 蓄积量最大, 占据着群落的上层空间, 林木生长状况较好。主要伴生树种有锥栗、麻栎、山合欢、化香、木荷、黄连木, 伴生种群的株数比例较小。该群落针叶树的株数比例为 34.71%, 阔叶树为 65.29%。

#### 3.2 树种混交度

天目山针阔混交林树种混交度分布范围为 0.400~0.900, 混交度从 0.400 开始, 呈现阶梯状上升, 混交度最大达到 0.870。0.700~0.900 比例较大, 树种平均混交度为 0.712。由图 1 可知: 天目山针阔混交林林分混交度为强度混交, 林分混交程度高, 结构较为复杂。

#### 3.3 林木大小比数

天目山针阔混交林林分胸径大小比数范围为 0.400~0.600, 其中 0.460~0.480 比例最高, 林地林分的平均胸径大小比数为 0.477, 近 0.500(图 2)。大小比数取值越大, 代表相邻木胸径大于参照树的树木株数越多, 相邻木个体占优势, 反之, 参照树占优势。由图 2 可知: 林分内树种大小分化差异较小, 在空间结构单元里, 大部分个体分化程度处于中等水平。林分中有近一半的树木处于优势地位, 并且比值在各等级上出现的几率相近(20%左右), 总体优势度有继续上升的潜力。

从表 3 可以看出: 树种间的大小比数有一定差异。枫香、杉木、短柄枹的平均大小比数最接近 0.500, 生长上处于中庸状态, 在由它构造的结构单元中, 比它大和比它小的相邻木数量基本一致。马尾松的平均大小比数大于 0.500, 但没有达到 0.750, 其单木在构成结构单元时, 2~3 株相邻木较粗大的情况经常发生, 生长上不占优势。其他优势树种平均大小比数为 0.250~0.500, 生长上介于优势和中庸



表2 天目山针阔混交林林木结构特征

Table 2 Structure characteristics of coniferous-broadleaved mixed in Mount Tianmu

树种类型	株数		胸径/cm		树高/m	
	数量	百分比%	平均值	标准差	平均值	标准差
杉木	305	22.51	12.83	7.34	8.31	2.53
马尾松	268	19.78	25.45	10.97	12.14	2.63
枫香	216	15.94	13.07	9.67	9.42	2.75
短柄枹	171	12.62	8.60	4.16	5.53	1.82
苦槠	81	5.98	9.98	4.53	7.13	2.10
白栎	57	4.21	15.76	15.19	8.86	3.06
山矾	51	3.76	9.01	3.47	8.01	2.10
锥栎	50	3.69	9.69	6.59	7.78	1.61
麻栎	48	3.54	9.78	0.82	8.12	0.23
山合欢	36	2.66	8.31	3.20	7.70	2.59
化香	29	2.14	10.38	1.48	6.89	0.34
木荷	29	2.14	11.29	6.52	6.41	2.34
黄连木	14	1.03	25.46	13.04	12.22	2.02
合计	1 355	100				

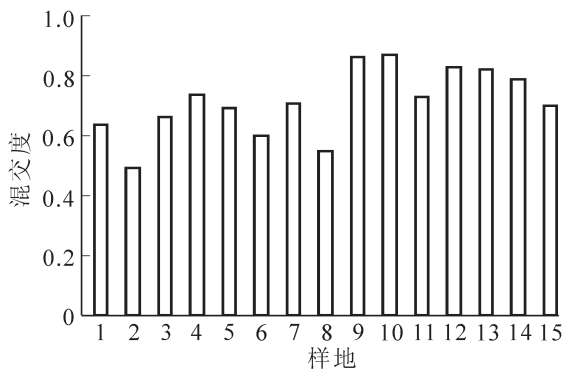


图1 天目山针阔混交林树种混交度

Figure 1 Mingling of coniferous-broadleaved mixed forest in Mount Tianmu

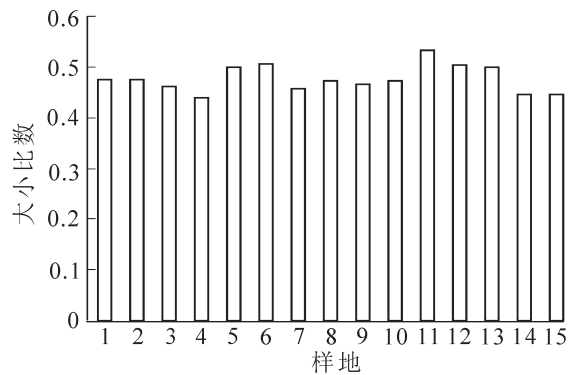


图2 天目山针阔混交林大小比数

Figure 2 Neighborhood comparison of coniferous-broadleaved mixed forest in Mount Tianmu

表3 主要树种大小比数及其频率分布

Table 3 Neighborhood comparison and its distribution for main tree species

树种	株数	大小比数取值分布					平均大小比数
		0	0.25	0.50	0.75	1.00	
白栎	33	2	4	12	15	0	0.424 2
马尾松	142	1	0	32	109	0	0.514 1
杉木	126	0	2	111	12	1	0.455 6
枫香	130	4	3	90	33	0	0.471 2
短柄枹	81	0	0	62	19	0	0.479 8
木荷	12	1	2	4	5	0	0.437 5
苦槠	28	2	3	14	9	0	0.383 9
山合欢	18	5	6	0	7	0	0.291 7
山矾	26	2	0	24	0	0	0.394 2
化香	13	4	0	9	0	0	0.288 4
黄连木	5	0	0	5	0	0	0.350 0
麻栎	23	0	2	17	4	0	0.445 7
锥栎	24	0	4	15	5	0	0.447 9

状态之间，生长上也占有优势。从上面的分析来看，马尾松空间大小对比上比其他树种生长略少一些，枫香、杉木、短柄枹优势不明显，其余树种生长占优势地位。

### 3.4 林木角尺度

如图 3 所示：天目山针阔混交林中角尺度取值为 0 和 1.000 的频率很低，这说明林分中极少有很均匀和很不均匀的结构单元出现，角尺度为 0.500 等级的分布频率最大，角尺度在等级 0.500 两侧的分布频率差异较小。林分平均角尺度为 0.533，大于 0.517，也证明该林分整体林木水平分布格局为团状分布。

经过计算，15 个样地的平均角尺度见表 4。根据 W 取值范围的分析可知，样地林分团状分布的样地有 9 个，随机分布样地有 6 个，团状分布比例较高。这和整体的林分分布状态趋于一致。为达到顶级群落结构，林分演替未来仍有很大的演替空间。

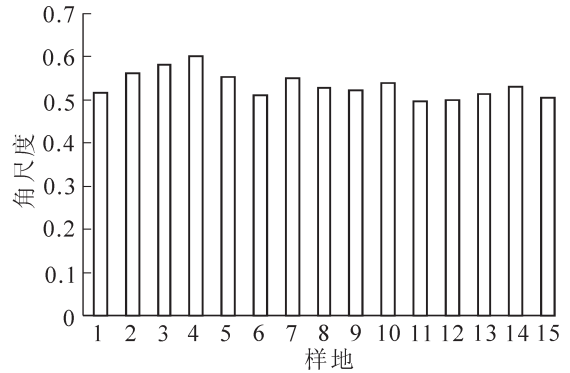


图 3 天目山针阔混交林角尺度

Figure 3 Uniform angle index of coniferous-broadleaved mixed forest in Mount Tianmu

表 4 各样地角尺度

Table 4 Uniform angle index of every spot

样地	平均角尺度	分布状态	样地	平均角尺度	分布状态
1	0.517	随机分布	9	0.524	团状分布
2	0.561	团状分布	10	0.539	团状分布
3	0.582	团状分布	11	0.496	随机分布
4	0.601	团状分布	12	0.500	随机分布
5	0.553	团状分布	13	0.513	随机分布
6	0.511	随机分布	14	0.530	团状分布
7	0.551	团状分布	15	0.504	随机分布
8	0.528	团状分布			

## 4 结论与讨论

在天目山针阔混交林中，马尾松、杉木、枫香、短柄枹等在该群落中占有明显优势，既是该群落的优势种，也是建群种，马尾松和杉木种群个体分布范围最广，蓄积量最大，占据着群落的上层空间，林木生长状况较好。主要伴生树种有锥栗、麻栎、山合欢、化香、木荷、黄连木等，伴生种群的株数比例较小。林分为针叶树和阔叶林混交为主的针阔混交林。

林分空间分布格局上，天目山针阔混交林的林木零度混交和轻度混交的比例不高，中度混交和强度、极强度混交占很大比例，且为多个树种混交。林分空间大小分化差异较小，在空间结构单元里，大部分个体分化程度处于中等水平。林分中有近一半的树木处于优势地位，并且比值在各等级上出现的几率相近(20%左右)，总体优势度有继续上升的潜力。树种间的大小比数有一定差异。马尾松空间大小对比上比其他树种生长略少一些，枫香、杉木、短柄枹优势不明显，木荷和苦槠等为占优势的树种。天目山针阔混交林林分处于相对稳定的状态，林分中极少有很均匀和很不均匀的结构单元出现，角尺度为 0.500 等级的分布频率最大。整体林木水平分布格局为团状分布，一般情况下，林分演替进化后，顶级群落的水平分布格局应为随机分布<sup>[6]</sup>。在未来的演替过程中，天目山针阔混交林林分分布有随机分布的趋势。

天目山针阔混交林物种丰富，结构相对合理，林分处于较为稳定的状态中。针叶树种，尤其是马尾松占据了群落上层，对较小的阔叶树林木进行了遮蔽，为阔叶树的生长发育提供了良好的生态环境，应加强保护，尤其是预防病虫害的发生。在制定构建营造针阔混交林和针改阔等森林经营措施设计时，可以考虑在针叶树下利用空间种植阔叶树幼树。在人工抚育过程中，可以分树种进行抚育，使个别树种聚集程度降低，林木分布趋于随机，提高林分的树种混交度，优化林分结构。由于林分空间结构受多种因

子影响,对于坡度和海拔高度等对林分空间结构的影响还需要进一步深入分析。

#### 参考文献:

- [1] 叶芳, 彭世揆. 种群空间分布理论的发展历史及其现状[J]. 林业资源管理, 1997(6): 55 – 58.  
YE Fang, PENG Shikui. The history and status of the development theory of population spatial distribution [J]. *For Resour Manage*, 1997(6): 55 – 58.
- [2] 兰国玉, 雷瑞德. 植物种群空间分布格局研究方法概述[J]. 西北林学院学报, 2003, 18(2): 17 – 21.  
LAN Guoyu, LEI Ruide. Brief introduction of spatial methods to distribution patterns of population [J]. *J Northwest For Univ*, 2003, 18(2): 17 – 21.
- [3] 李明辉, 何风华, 刘云. 林分空间格局的研究方法[J]. 生态学报, 2003, 22(1): 77 – 81.  
LI Minghui, HE Fenghua, LIU Yun. Analysis methods of stand spatial distribution pattern [J]. *Ecol Sci*, 2003, 22(1): 77 – 81.
- [4] 惠刚盈, von GADO Klaus. 森林空间结构量化分析方法[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2003.
- [5] 谢宗强, 陈伟烈, 刘正宇. 银杉种群的空间分布格局[J]. 植物学报, 1999, 41(1): 95 – 101.  
XIE Zongqiang, CHEN Weilie, LIU Zhengyu. Spatial distribution pattern of *Cathaya argyrophylla* population [J]. *Acta Bot Sin*, 1999, 41(1): 95 – 101.
- [6] 胡艳波, 惠刚盈. 优化林分空间结构的森林经营方法探讨[J]. 林业科学研究, 2006, 19(1): 1 – 8.  
HU Yanbo, HUI Gangying. A discussion on forest management method optimizing forest spatial structure [J]. *For Res* 2006, 19(1): 1 – 8.
- [7] 徐海, 惠刚盈, 胡艳波. 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.  
XU Hai, HUI Gangying, HU Yanbo. Analysis of spatial distribution characteristics of trees with different diameter classes in natural Korean pine broad leaved forest [J]. *For Res*, 2006, 19(6): 687 – 691.
- [8] 徐海, 惠刚盈, 胡艳波, 等. 天然红松阔叶林林木分布格局研究的最小样本量[J]. 林业科学研究, 2007, 20(2): 160 – 164.  
XU Hai, HUI Gangying, HU Yanbo. Minimum samples for distribution patterns of natural Korean pine broadleaved forest [J]. *For Res*, 2007, 20(2): 160 – 164.
- [9] 郑丽凤, 周新年, 江希钿, 等. 松阔混交林林分空间结构分析[J]. 热带亚热带植物学报, 2006, 14(4): 275 – 280.  
ZHENG Lifeng, ZHOU Xinnian, JIANG Xidian. Analysis of the stand spatial structure of *Pinus massoniana* broadleaved mixed forest [J]. *J Trop Subtrop Bot*, 2006, 14(4): 275 – 280.
- [10] 朱曦, 任斐. 华东天目山生物多样性研究[C]//中国动物学会. 中国动物科学研究——中国动物学会第14届会员代表大会及中国动物学会65周年年会论文集. 1999: 299 – 306.  
ZHU Xi, REN Fei. The Studies of biodiversity in Tianmu Mountain, East China [C]//China Zoological Society. *Chinese Animal Science: China Zoological Society Members on Behalf of the 14th General Assembly 65th Anniversary of the China Zoological Society Annual Conference*. 1999: 299 – 306.
- [11] 章皖秋, 李先华, 罗庆州, 等. 基于RS, GIS的天目山自然保护区植被空间分布规律研究[J]. 生态学杂志, 2003, 22(6): 21 – 27.  
ZHANG Wanqiu, LI Xianhua. Spatial distribution of vegetation in Tianmu Mountain Nature Reserve based on RS and GIS data[J]. *Chin J Ecol*, 2003, 22(6): 21 – 27.
- [12] 汤孟平, 徐文兵, 陈永刚, 等. 天目山近自然毛竹林空间结构与生物量的关系[J]. 林业科学, 2011, 47(8): 1 – 6.  
TANG Mengping, XU Wenbing, CHEN Yonggang, et al. Relationship between spatial structure and biomass of a close-to-nature *Phyllostachys edulis* stand in Tianmu Mountain [J]. *Sci Silv Sin*, 2011, 47(8): 1 – 6.
- [13] 汤孟平, 周国模, 陈永刚, 等. 基于Voronoi图的天目山常绿阔叶林混交度[J]. 林业科学, 2009, 45(6): 1 – 5.  
TANG Mengping, ZHOU Guomo, CHEN Yonggang, et al. Mingling of evergreen broad-leaved forests in Tianmu Mountain based on Voronoi diagram [J]. *Sci Silv Sin*, 2009, 45(6): 1 – 5.
- [14] 江挺, 汤孟平. 天目山常绿阔叶林优势种群竞争的数量关系[J]. 浙江林学院学报, 2008, 25(4): 444 – 450.

- JIANG Ting, TANG Mengping. Quantitative relationships with competition of dominant tree populations in an evergreen broad-leaved forest on Mount Tianmu[J]. *J Zhejiang For Coll*, 2008, **25**(4): 444 – 450.
- [15] 张志华, 韦新良, 汤孟平, 等. 天目山针阔混交林中枫香的结构特征[J]. 浙江农林大学学报, 2012, **29**(6): 867 – 874.
- ZHANG Zhihua, WEI Xinliang, TANG Mengping, *et al.* Structural characteristics of *Liquidambar formosana* for a mixed coniferous-broadleaf forest in Mount Tianmu [J]. *J Zhejiang A & F Univ*, 2012, **29**(6): 867 – 874.
- [16] 周重光, 柴锡周, 沈辛作, 等. 天目山森林土壤的水文生态效应[J]. 林业科学研究, 1990, **3**(3): 215 – 221.
- ZHOU Chongguang, CHAI Xizhou, SHEN Xinzuo, *et al.* The hydrological effects of forest soil in Tianmu Mountain [J]. *For Res*, 1990, **3**(3): 215 – 221.
- [17] 周秀佳, 马炜梁, 刘永强. 西天目山森林植被类型及其分布规律[J]. 生态学杂志, 1987, **6**(3): 17 – 20.
- ZHOU Xiujia, MA Weiliang, LIU Yongqiang. Forest vegetation type of west Tianmu Mountain and their characteristics of distribution [J]. *J Ecol*, 1987, **6**(3): 17 – 20.
- [18] 张志华. 天目山针阔混交林林分结构及其碳储量研究[D]. 临安: 浙江农林大学, 2012.
- ZHANG Zhihua. *Research on Forest Structure and Carbon Storage of Coniferous and Broad-leaved Mixed Forest in Tianmu Mountain*[D]. Lin'an: Zhejiang A & F University, 2012.
- [19] 娄明华, 汤孟平. 森林空间结构分析系统软件 V1.0[CP/DK]. 软著登字第 0531502 号, 2013-03-20.
- [20] 惠刚盈. 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.
- HUI Gangying. The neighbourhood pattern: a new structure parameter for describing distribution of forest tree position [J]. *Sci Silv Sin*, 1999, **35**(1): 37 – 42.