

## 浙江凤阳山天然混交林分空间结构分析

王 群<sup>1</sup>, 张金池<sup>1</sup>, 田月亮<sup>1</sup>, 叶立新<sup>2</sup>, 刘胜龙<sup>2</sup>

(1. 南京林业大学 森林资源与环境学院, 江苏南京 210037; 2. 浙江凤阳山国家级自然保护区管理局, 浙江龙泉 323700)

**摘要:** 以浙江凤阳山天然混交林为研究对象, 对其角尺度、混交度和大小比数3个林分空间结构参数进行测定分析, 以期为该区域阔叶混交林林分结构的优化调整提供理论依据和技术支持。在凤阳山国家级自然保护区内, 设置20 m × 20 m的4个固定样地, 采用全面调查法, 调查样地内胸径大于起测径阶(5 cm)的林木特征值。结果表明: 凤阳山天然混交林优势种群以木荷 *Schima superba*, 桑果椴 *Tilia endochrysea*, 亮叶水青冈 *Fagus lucida* 和多脉青冈 *Cyclobalanopsis multinervis* 为主, 形成多优势种结构特征。数目最多的优势种木荷在空间大小对比上处于中庸地位, 77%的水丝梨 *Sycomorus sinensis* 完全处于受压迫的状态, 8%处于最优势状态, 说明水丝梨分化严重。优势树种木荷的平均混交度为0.48, 多呈单种聚集, 短柄枹 *Quercus glandulifera* var. *brevipetiolata* 由于数量很少, 平均混交度只有0.17, 说明短柄枹呈团状分布。而其他树种平均混交度几乎都在0.50以上。以上数据说明, 在该林分中, 除木荷、短柄枹外, 同树种聚集在一起的情况很少, 树种之间的隔离程度较大, 说明研究林分是由不同树种呈现弱中度混交结构状态组成的较复杂群落。从林木水平分布格局上看, 该天然混交林分为团状或均匀分布, 其林木分布格局会逐渐趋向于随机分布, 向顶级群落即常绿阔叶林演替。图2表4参18

**关键词:** 森林生态学; 天然林; 空间结构; 角尺度; 混交度; 大小比数; 凤阳山

中图分类号: S718.5 文献标志码: A 文章编号: 2095-0756(2012)06-0875-08

### Stand spatial structure of a natural mixed forest in the Fengyang Mountains of Zhejiang

WANG Qun<sup>1</sup>, ZHANG Jin-chi<sup>1</sup>, TIAN Yue-liang<sup>1</sup>, YE Li-xin<sup>2</sup>, LIU Sheng-long<sup>2</sup>

(1. College of Forest Resources and Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China;

2. Management office, Zhejiang Fengyang Mountain National Nature Reserve, Longquan, 323700, Zhejiang, China)

**Abstract:** To provide a theoretical basis and provide technical support for structural adjustments in a natural mixed forest, stand spatial structure of a mixed forest in the Fengyang Mountains National Nature Reserve of Zhejiang Province was determined using three structural parameters: uniform angle index, mingling, and neighborhood comparison. Four typical plots of 20 m × 20 m were surveyed for tree diameter at breast height above 5 cm. Results showed that dominant tree populations of *Schima superba*, *Berrya ammonilla*, *Fagus lucida*, and *Cyclobalanopsis multinervis* exhibited diverse and dominant species characteristics. The largest number of dominant species *S. superba* in the comparison of the space is in the moderation status. 77% *Sycomorus sinensis* is completely oppressed and 8% is in the most dominant state, which shows that *Sycomorus sinensis* differentiates seriously. The average mingling of *S. superba* is 0.48 exhibiting aggregation of a single species. Because of less amount of *Quercus glandulifera* var. *brevipetiolata*, the average mingling is only 0.17 indicating *Quercus glandulifera* var. *brevipetiolata* distribution appeared as goblets. Whereas the average mingling of other tree species is above 0.5. In addition to *S. superba* and *Quercus glandulifera* var. *brevipetiolata*, the oth-

收稿日期: 2011-11-26; 修回日期: 2011-12-30

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划项目(2011BAD38B0405)

作者简介: 王群, 从事林业生态工程研究。E-mail: weqj2005@126.com。通信作者: 张金池, 教授, 博士, 从事水土保持与荒漠化防治研究。E-mail: nfujczhang@sina.com

er species seldom cluster together and have greater degree of isolation, which indicates the stand has the less moderate mixed degree. Distribution patterns for forests gradually move toward a random distribution in climax community succession, so natural mixed forest in the Fengyang Mountain develop into evergreen broad-leaved forest. [Ch, 2 fig. 4 tab. 18 ref.]

**Key words:** forest ecology; natural forest; spatial structure; uniform angle index; mingling; neighborhood comparison; Fengyang Mountains

林分空间结构是指林木在林地上的分布格局以及它的属性在空间上的排列方式,即林分内树种的不同组成及其空间分布的不同格局。林分空间结构决定了树木之间的竞争势及其空间生态位,在很大程度上决定了林分的稳定性、发展的可能性和经营空间的大小<sup>[1]</sup>。对林分空间分布格局的分析有助于深化对林分结构的认识,了解单株木的生长状况,解决营造林中的植株配置和采伐问题。正确描述种群的空间分布格局对判定林木分布规律,掌握其过程演化及预测其变化趋势亦具有重要意义<sup>[2-3]</sup>,因此,近年来对林分空间结构的研究倍受关注,提出了多种描述林分空间结构的参数<sup>[4]</sup>,如混交度、角尺度和大小比数等。目前,林分空间结构理论在中国北方森林群落结构研究中应用较多,而在南方森林群落结构研究中则应用较少<sup>[2-4]</sup>。郑丽凤等<sup>[5]</sup>分析了松阔混交林林分的空间结构;李际平等<sup>[6]</sup>针对不同潮带红树林的空间结构进行了比较;黄丽霞等<sup>[7]</sup>对不同经营下杨梅 *Myrica rubra* 和毛竹 *Phyllostachys edulis* 林的空间结构进行了系统研究。本研究以浙江凤阳山植被为对象,研究其林分空间结构的特点,并在此基础上对该林分在未来的发展趋势做出预测,以期为凤阳山林业生产经营决策提供理论依据和技术支持。

## 1 研究区概况

凤阳山是浙江凤阳山—百山祖国家级自然保护区的一部分,位于浙西南龙泉市境内,主峰黄茅尖海拔1 929 m,是浙江第一高峰。区内生物多样性丰富,生物资源极其丰富,有多种珍稀、濒危野生动物。地处东南沿海地带,受海洋性气候和季风的影响大,属亚热带型气候,最高气温为30.2℃,极端最低气温-11.0℃,年平均气温12.3℃,最热月平均气温为28.0℃左右,最冷月平均气温为6.0~13.0℃,年降水量为2 438.0 mm,年蒸发量1 171.0 mm,有效积温约6 500.0℃,无霜期275 d。

## 2 研究方法

### 2.1 调查方法

沿黄茅尖海拔1 929 m处至龙泉城区海拔200 m处之间设置多个不同海拔的固定样地,本研究主要针对1 200~1 500 m不同海拔的4个样地进行分析研究(表1)。设置20 m×20 m的4个固定样地,计1 600 m<sup>2</sup>,样地内又设置5 m×5 m的小样方16个。采用全面调查法,调查样地内所有胸径大于起测径阶(5 cm)的林木特征值,包括树木的相对x, y坐标、胸径、树种、冠幅、树高等。本研究调查的4块固定样地基本情况见表1。

表1 调查样地的基本特征

Table 1 Basic characteristics of sampling plots

样地号	林分类型	海拔/m	坡度/(°)	密度/(株·hm <sup>-2</sup> )	平均胸径/cm	平均树高/m
1	针阔混交林	1 350	14~16	1 475	13.8	10.9
2	常绿落叶阔叶混交林	1 400	14~17	1 225	13.8	9.1
3	常绿阔叶林	1 200	13~18	2 025	9.9	8.2
4	常绿阔叶林	1 500	6~8	1 950	12.9	9.3

### 2.2 分析方法

植物群落指在环境相对均一的地段内,有规律地共同生活在一起的各种植物种类的组成。在对植物群落进行分类时,需要对某综合特征进行量化。重要值是根据密度、频度和优势度(树木胸高断面积)的相对值确定的。物种重要值越大,其在群落结构中的地位也越重要,因此,可用其表征植物群落物种的

结构变化状况<sup>[8]</sup>。计算公式: 重要值=(相对多度+相对频度+相对优势度)/3。

林分内任意一单株木和离它最近的  $n$  株相邻木均可以构成林分空间结构的基本单位——林分空间结构单元。空间结构单元核心的那株树被称为参照树, 而最近的  $n$  株相邻树木则被称为相邻木,  $n$  的取值不同, 参照树及其相邻木组成的结构框架大小就不同。本研究取  $n=4$ , 以参照树及其周围 4 株相邻木组成的结构单元为基础, 利用角尺度<sup>[9]</sup>、混交度<sup>[4]</sup>、大小比数<sup>[10]</sup>来描述凤阳山天然林分空间结构。通过分析固定样地平均角尺度来研究林木水平地面上的分布格局; 分析各树种混交度和林分平均混交度来研究混交林树种组成和空间配置情况; 分析各树种大小比数来说明该树种在林分内的生长优势程度<sup>[11]</sup>。

**2.2.1 角尺度** 角尺度  $W_i$  是惠刚盈等<sup>[12]</sup>1998 年提出的。从参照树出发, 任意 2 株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,  $W_i=0.5$  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,  $W_i=1$  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状态。角尺度分布图对称表示林木分布为随机; 若左侧大于右侧则为均匀; 若右侧大于左侧则为团状。也可以角尺度均值的置信区间为准: 随机分布时  $\bar{W}$  取值范围为 [0.475, 0.517];  $\bar{W}>0.517$  时为团状分布;  $\bar{W}<0.475$  时为均匀分布。 $\bar{W}$  用公式表示为:

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

其中: 当第  $j$  个  $\alpha$  角小于标准角  $\alpha_0$  ( $\alpha_0=72^\circ$ ) 时,  $Z_{ij}=1$ ; 当第  $j$  个  $\alpha$  角大于或等于标准角  $\alpha_0$  时,  $Z_{ij}=0$ ;  $N$  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。

**2.2.2 混交度** 混交度指参照树与周围最近的相邻木中不属于同种的个体所占的比例, 它反映了该林分结构单元中树种间的隔离程度。设参照树为  $i$ , 则用公式表示:

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

其中:  $n$  为考察的相邻木数,  $v_{ij}$  为离散性变量, 定义为当参照树  $i$  与第  $j$  株相邻木为相同树种时  $v_{ij}=0$ , 非相同树种时  $v_{ij}=1$ 。本研究中每株参照树考察周围 4 株相邻木。树种或林分平均混交度:

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

其中:  $N$  为观察到的参照树的数量,  $M_i$  为第  $i$  株的混交度。

**2.2.3 大小比数** 大小比数( $U_i$ )为大于参照树的相邻木占所考察的全部最近相邻木的比例<sup>[10]</sup>。其公式为:

$$U_i=\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n K_{ij}.$$

其中: 若相邻木  $j$  比参照树  $i$  小,  $K_{ij}=0$ ; 否则,  $K_{ij}=1$ 。大小比数量化了参照树与其相邻木的关系, 其  $U_i$  值越低, 说明比参照树大的相邻木越少<sup>[10]</sup>。依树种计算的大小比数的均值  $\bar{U}$  即为树种在林分所测指标上的优势程度, 可用下式计算:

$$\bar{U}=\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N U_i.$$

其中:  $U_i$  为第  $i$  个树种的大小比数的值,  $N$  为所观察的树种的参照树的数量。

### 3 结果与分析

#### 3.1 树种组成

在所调查的样地内, 物种丰富度较高。表 2 所示为该天然混交林各样地乔木层主要树种的重要值, 可以看出在样地 1 和样地 4 中, 木荷 *Schima superba* 占优势, 样地 2 和样地 3 中分别以浆果椴 *Berrya ammonilla* 和亮叶水青冈 *Fagus lucida* 占一定的优势, 其次是木荷与多脉青冈 *Cyclobalanopsis multinervis*, 但其值相差不大。

表2 各样地乔木层主要树种的重要值

Table 2 Importance values of main arbor species in different plots

样地	树种	相对多度/%	相对频度/%	相对优势度/%	重要值/%
1	木荷 <i>Schima superba</i>	47.458	36.364	29.680	37.834
	黄山松 <i>Pinus taiwanensis</i>	6.780	18.182	36.725	20.562
	短柄枹 <i>Quercus glandulifera</i> var. <i>brevipetiolata</i>	32.203	9.091	12.847	18.047
	隔药柃 <i>Eurya muricata</i>	6.780	27.273	1.301	11.785
2	浆果椴 <i>Tilia endochrysea</i>	6.122	8.696	17.829	20.664
	木荷 <i>Schima superba</i>	18.367	17.391	18.662	17.242
	钟花樱 <i>Cerasus cerasoides</i> var. <i>campannata</i>	18.367	4.348	17.835	11.639
	短尾柯 <i>Lithocarpus brevicaudatus</i>	8.163	13.043	10.280	9.204
	雷公鹅耳枥 <i>Carpinus viminea</i>	12.245	8.696	9.081	8.636
	隔药柃 <i>Eurya muricata</i> Dunn	10.204	13.043	4.561	8.097
3	亮叶水青冈 <i>Fagus lucida</i>	4.444	4.167	54.253	20.955
	多脉青冈 <i>Cyclobalanopsis multinervis</i>	30.000	8.333	11.643	16.659
	木荷 <i>Schima superba</i>	15.556	16.667	4.011	12.078
	水丝梨 <i>Sycomorus sinensis</i>	16.667	4.167	3.813	8.215
4	木荷 <i>Schima superba</i>	21.795	14.286	20.148	18.743
	蓝果树 <i>Nyssa sinensis</i>	12.821	10.714	10.047	11.194
	树参 <i>Dendropanax dentiger</i>	11.538	3.571	18.076	11.062
	黄山松 <i>Pinus taiwanensis</i>	11.538	7.143	11.436	10.039

### 3.2 林木空间分布格局

4块固定样地的林木平均角尺度及其取值分布见图1。由图1可知：样地1林木角尺度分布呈现出对称分布特征，接近正态分布，在0.5取值右侧的频率之和稍高于左侧之和，说明样地1内团状分布单元稍多于均匀分布单元，样地1林分的平均角尺度为0.517。其余3块样地的平均角尺度取值为0.477~0.616，样地2，样地3，样地4的平均角尺度取值分别为0.616，0.477和0.526。根据随机分布的角尺度取值范围 $0.475 \leq W \leq 0.517$ ，判定样地1和样地3的林分分布为均匀分布，样地2和样地4为团状分布。可能是由于样地2和样地4较样地1和样地3的海拔高，植被稀少，蓝果树 *Nyssa sinensis* 和钟花樱 *Cerasus cerasoides* 等植被为阳性喜光树种，导致形成一定规模的团状分布。一般情况下，林分如果不

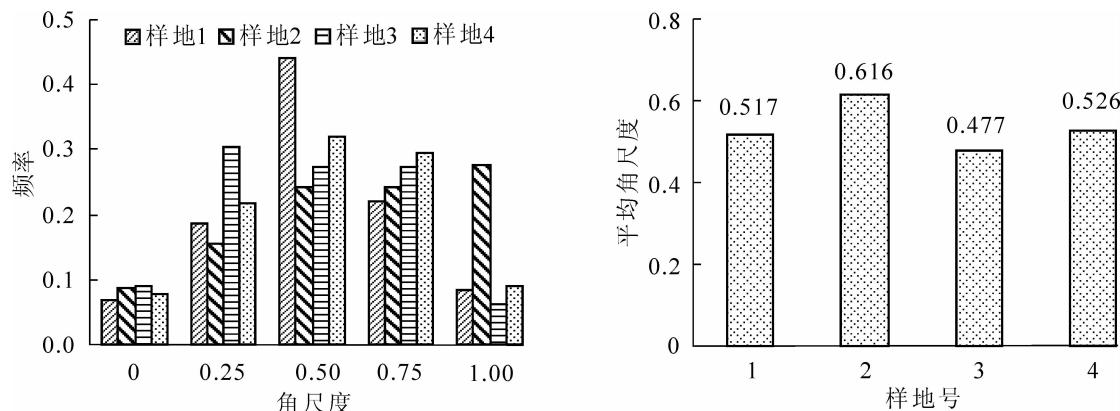


图1 样地的平均角尺度及其分布

Figure 1 Mean uniform angle index and its distribution in the plots

受严重干扰, 经过漫长的进展演替后, 顶极群落的水平分布格局应为随机分布<sup>[1]</sup>。由此可知: 本研究对象——凤阳山针阔混交林、落叶阔叶混交林与常绿阔叶混交林正处在演替的中后期, 随着演替进程的发展, 会不断向当地的顶极群落发展, 即向常绿阔叶林演替, 其林木分布格局会逐渐趋向于随机分布。

### 3.3 林木大小分化程度

大小比数可以对林木(胸径、树高和冠幅等)的状态进行描述, 即优势、亚优势、中庸、劣势和绝对劣势<sup>[10]</sup>。根据大小比数的定义, 大小比数的取值越大, 代表比参照树胸径大的相邻木越多, 即相邻木个体越占优势, 反之参照树越占优势。各树种的胸径大小比数及频率见表 3。

表 3 各树种平均胸径大小比数及频率

Table 3 Mean dbh neighborhood comparison and frequency for different tree species

树种	大小比数 $U_i$					平均
	0	0.25	0.50	0.75	1.00	
木荷	0.17	0.20	0.33	0.13	0.17	0.48
亮叶水青冈	0.75	0.25	0.00	0.00	0.00	0.06
浆果椴	0.43	0.14	0.29	0.14	0.00	0.29
多脉青冈	0.06	0.35	0.41	0.18	0.00	0.43
隔药柃	0.50	0.10	0.00	0.00	0.40	0.43
雷公鹅耳枥	0.38	0.38	0.25	0.00	0.00	0.22
树参	0.22	0.11	0.00	0.44	0.22	0.58
黄山松	0.54	0.46	0.00	0.00	0.00	0.12
蓝果树	0.09	0.36	0.36	0.09	0.09	0.43
水丝梨	0.08	0.00	0.15	0.31	0.46	0.77
短尾柯	0.40	0.50	0.00	0.00	0.10	0.23
短柄枹	0.05	0.26	0.21	0.21	0.26	0.59

结合 4 块样地的树种重要值, 由表 3 可知: 凤阳山主要树种的平均胸径大小比数取值范围为 0.06 ~ 0.77, 这反映了该林分内树种在胸径优势上的分化存在很大差异。亮叶水青冈和黄山松 *Pinus taiwanensis* 的平均胸径大小比数分别为 0.06 和 0.12, 且取值仅在 0 和 0.25 上分布, 这是因为亮叶水青冈和黄山松数量较少但胸径都很大, 在结构单元中处于明显的优势地位。雷公鹅耳枥 *Carpinus viminea*, 短尾柯 *Pasania harlandii* 的平均胸径大小比数为 0 ~ 0.25, 它们均处于优势地位; 浆果椴, 多脉青冈, 隔药柃 *Eurya muricata*, 蓝果树的平均胸径大小比数为 0.25 ~ 0.50, 它们的地位介于亚优势和中庸状态之间。隔药柃和浆果椴的大小比数为 0 和 0.25 的频率累计达到 60% 和 57%, 表明大部分的隔药柃和浆果椴的周围相邻木较大的很少, 在结构单元中处于明显的优势地位; 木荷的大小比数接近 0.50, 说明在结构单元中胸径比它大和比它小的树种数量上基本相同, 处于中庸状态。树参 *Dendropanax dentiger* 和短柄枹 *Quercus glandulifera* 这 2 种阔叶树的平均直径大小比数都在 0.60 左右, 可推断在由它们构成的结构单元中, 它们稍微处于劣势。水丝梨有 77% 完全处于受压迫的状态, 8% 处于最优势状态, 其平均胸径大小比数为 0.77, 在各树种中最大, 这充分说明水丝梨分化严重, 总体上生长处于劣势。

### 3.4 林木种间关系

4 块样地的林木平均混交度及 5 种混交度的分布频率见图 2。样地 2, 样地 3 和样地 4 极强度混交(1 株单木周围有 4 株相邻木属于其他树种,  $M=1$ )的比例最高, 其平均混交度均在 0.80 左右, 说明这 3 块样地同树种单种聚集在一起的情况较少; 样地 1 中零度混交的比例最高, 平均混交度只有 32.6%, 说明在这块样地里多数是同树种单种聚集在一起, 结合树种组成说明这块样地木荷占绝对优势。按树种分析(表 4), 可以看出木荷的平均混交度只有 0.48, 而其他树种平均混交度几乎都在 0.50 以上, 最高的混交度为 0.94。从总体上来说, 在这种天然林中木荷较多呈现单种聚集, 而其他树种强度混交、极强度混交占了很大的比例。

从表4可以看出，在固定样地中，除木荷、树参、短柄枹外，各树种的中度混交和强度混交、极强度混交的频率很高，没有出现单种聚集，均为不同树种进行混交。亮叶水青冈、浆果椴、多脉青冈、隔药柃、黄山松、短尾柯的强度和极强度混交的频率之和达到100%，优势比较明显。而固定样地中数量占绝对优势的木荷，混交度较低，仅48%，木荷零度到中度混交的比例占主要优势60%，强度和极强度混交比例只占40%；短柄枹由于数量很少，其周围最近的4株相邻木大多为同一树种，零度混交的比例占到63%，没有强度混交，极强度混交只占到5%，平均混交度只有17%，说明短柄枹呈团状分布。以上数据说明，在该林分中，除木荷和短柄枹外，同树种聚集在一起的情况很少，树种之间的隔离程度较大，各树种组成的结构单元多样化程度比较高。

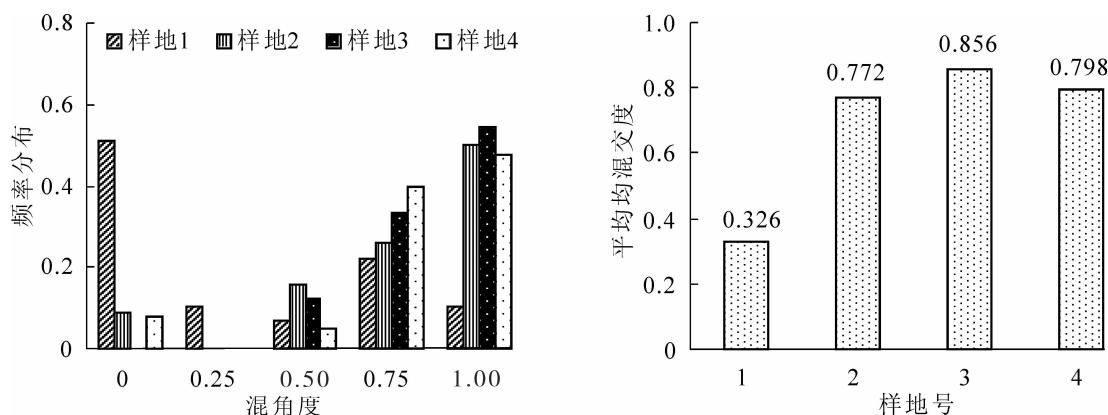


图2 林分平均混交度及其分布

Figure 2 Mean mingling intensity in stands and its distribution

安慧君<sup>[13]</sup>的研究结果表明：越向稳定群落发展，强度和极强度混交的频率有越高的趋势。除样地1外，其他3个样地的平均混交度均大于0.75，介于强度混交和极强度混交之间，已经达到较高的混交度。依照分析，可以认为凤阳山的落叶阔叶与常绿阔叶混交林已经形成由不同树种呈现强度混交状态组成的较复杂群落，这种结构逐渐使得不同的树种能占据各自有利的生态位，形成种间的协调互利关系，使群落向稳定状态不断演替。

表4 各树种平均混交度及频率分布

Table 4 Mean mingling intensity and frequency for different tree species

树种	混角度 $M_i$					平均值
	0	0.25	0.50	0.75	1.00	
木荷	0.29	0.17	0.14	0.17	0.24	0.48
亮叶水青冈	0.00	0.00	0.00	0.25	0.75	0.94
浆果椴	0.00	0.00	0.00	0.43	0.57	0.89
多脉青冈	0.00	0.00	0.00	0.47	0.53	0.88
隔药柃	0.00	0.00	0.00	0.60	0.40	0.85
树参	0.00	0.67	0.00	0.00	0.33	0.50
黄山松	0.00	0.00	0.00	0.46	0.54	0.88
蓝果树	0.00	0.00	0.18	0.45	0.36	0.80
水丝梨	0.00	0.00	0.15	0.46	0.38	0.81
短尾柯	0.00	0.00	0.00	0.60	0.40	0.85
短柄枹	0.63	0.16	0.16	0.00	0.05	0.17

## 4 结论与讨论

林木空间分布格局是林木与环境长期相互适应、相互作用的结果<sup>[14]</sup>, 种内及种间竞争、物种对局域环境的适应性、非生物因素干扰对更新的限制等都在一定程度上影响林木的空间<sup>[15-16]</sup>。总的说来, 该阔叶混交林中作为优势树种的木荷较多呈单种团状分布, 其余树种强度、极强度混交占了相当大的比例, 目前它是一个由不同树种组成的呈现强度混交结构状态的较复杂森林群落。树种空间大小分化和大小组合的差异极大, 亮叶水青冈、黄山松在空间大小对比上占有一定的优势, 其余树种则分化严重, 既有占优势的树种, 也有受压的树种。各树种的平均胸径大小比数取值范围为 0.06 ~ 0.77, 反映了该林分内树种大小分化存在很大差异, 从总体上看亮叶水青冈具有胸径优势, 水丝梨则分化严重, 生长处于劣势。

一般来说, 林分的空间结构越优, 林分的功能越强、稳定性越高。凤阳山阔叶林的结构较为合理, 林分处于相对稳定状态, 整体上表现出群落处于较高演替阶段的属性特征。从树种组成上看, 林分乔木层中共分布有 40 个树种, 物种丰富度较高。林分垂直结构特征明显, 可分为 3 个林层, 呈现出典型的复层林结构特征。

从群落演替趋势看, 群落目前处于相对稳定状态。木荷种群株数所占比例大, 径级结构分布连续, 拥有较好的生长条件, 在种间竞争中暂时能保持优势地位。亮叶水青冈虽然空间大小比数上占据绝对优势, 但是由于个体数量少, 径级分布不连续, 更新较为困难, 因此必须切实采取保护措施, 保证其顺利生长, 同时辅以人工补植, 以保持物种多样性。

种群分布格局会随海拔不同和干扰程度不同而产生的分布差异是种群对外界干扰的适应对策, 其分布格局的动态变化是阔叶林恢复与重建中应考虑的一个重要因素。在优化林分空间结构的森林经营措施当中, 可以根据林分平均角尺度以及各树种的角尺度、混交度和大小比数的取值和分布情况, 分树种来确定采伐木<sup>[17-18]</sup>, 使林木分布格局趋于随机分布, 树种混交度增高。不同树种占据各自有利的生态位, 形成稳定的森林群落。因此, 在未来森林经营和种群恢复中, 应实行就地保护和促进天然林更新策略。

### 参考文献:

- [1] 胡艳波, 惠刚盈, 戚继忠, 等. 吉林蛟河天然红松阔叶林的空间结构分析[J]. 林业科学, 2003, 16 (5): 523 - 530.  
HU Yanbo, HUI Gangying, QI Jizhong, et al. Analysis of the spatial structure of natural Korean pine broadleaved forest [J]. For Res, 2003, 16 (5): 523 - 530.
- [2] 张会儒, 汤孟平, 舒清杰. 森林生态采伐的理论与实践[M]. 北京: 中国林业出版社, 2006: 47 - 61.
- [3] 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 current situation of theory of population spatial distribution pattern [J]. For Resour Manage, 1997 (6): 55 - 58.
- [4] 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, 2001, 14 (1): 177 - 181.  
HUI Gangying, HU Yanbo. Measuring species spatial isolation in mixed forests [J]. For Res, 2001, 14 (1): 177 - 181.
- [5] 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, et al. Analysis of the stand spatial structure of *Pinus massoniana*-broadleaved mixed forest [J]. J Trop Subtrop Bot, 2006, 14 (4): 275 - 280.
- [6] 李际平, 张宏伟, 李建军, 等. 不同潮带红树林空间结构比较研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2010, 30 (1): 8 - 11.  
LI Jiping, ZHANG Hongwei, LI Jianjun, et al. Comparative study on spatial structure of mangrove in different tidal zone [J]. J Cent South Univ For & Technol, 2010, 30 (1): 8 - 11.
- [7] 黄丽霞, 袁位高, 江波, 等. 不同经营方式下杨梅林分空间结构比较[J]. 浙江林学院学报, 2009, 26 (2): 209 - 214.  
HUANG Lixia, YUAN Weigao, JIANG Bo, et al. A comparative study on spatial structure of *Myrica rubra* forest under three different management [J]. J Zhejiang For Coll, 2009, 26 (2): 209 - 214.

- [8] 邱仁辉, 陈涵. 择伐作业对常绿阔叶林乔木层树种结构及物种多样性的影响 [J]. 中国生态农业学报, 2005, **13** (3): 158 – 161.  
QIU Renhui, CHEN Han. Effects of selective cutting of different intensities on the tree layer structure and species diversity of evergreen broadleaved forest [J]. *Chin J Eco-Agric*, 2005, **13** (3): 158 – 161.
- [9] 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): 37 – 42.  
HUI Gangying, von GADOW K, ALBERT M. The neighbourhood pattern: a new structure parameter for describing distribution of forest tree position [J]. *Sci Silv Sin*, 1999, **35** (1): 37 – 42.
- [10] 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, **12** (1): 1 – 6.  
HUI Gangying, von GADOW K, ALBERT M. A new parameter for stand spatial structure neighborhood comparison [J]. *For Res*, 1999, **12** (1): 1 – 6.
- [11] 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[J]. 华中农业大学学报, 2006, **25** (4): 436 – 440.  
JIA Xiuhong, ZHENG Xiaoxian. Analysis on the spatial structure of the spruce-fr mixed stands of coniferous and broad-leaved trees in the over-logged forest [J]. *J Huazhong Agric Univ*, 2006, **25** (4): 436 – 440.
- [12] HUI Gangying, von GADOW K V. *Quantitative Analysis of Forest Spatial Structure* [M]. Beijing: China Science and Technology Press, 2003: 78 – 93.
- [13] 安惠君. 阔叶红松林空间结构特征研究[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2005: 547 – 553.
- [14] 张继义, 赵哈林. 科尔沁沙地草地植被恢复演替进程中群落优势种群空间分布格局研究[J]. 生态学杂志, 2004, **23** (2): 1 – 6.  
ZHANG Jiyi, ZHAO Halin. Spatial patterns of main species of the grassland community in the recovering succession in Horqin sandy land [J]. *Chin J Ecol*, 2004, **23** (2): 1 – 6.
- [15] JANZEN D H. Herbivores and the number of tree species in tropical forests [J]. *Am Nat*, 1970, **10** (4): 501 – 528.
- [16] NEWBERRY D Mc C, RENSHAW E, BRÜNIG E F. Spatial pattern of trees in kerangas forest [J]. *Sarawak Veg*, 1986, **65**: 77 – 89.
- [17] 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.
- [18] 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 (2): 31 – 35.  
HUI Gangying, HU Yanbo. Application of neighborhood pattern in forest spatial structure regulation [J]. *For Resour Manage*, 2006 (2): 31 – 35.