

## 凤阳山针阔混交林主要优势树种的空间结构特征

周红敏<sup>1</sup>, 瞿虹<sup>2</sup>, 彭辉<sup>3</sup>, 潘雅妮<sup>4</sup>, 蒋敏<sup>2</sup>, 吕赞薇<sup>4</sup>, 季如春<sup>2</sup>

(1. 龙泉市林业科学研究院, 浙江 龙泉 323700; 2. 龙泉市林业局, 浙江 龙泉 323700;

3. 凤阳山国家级自然保护区管理处, 浙江 龙泉 323700; 4. 龙泉市国土局, 浙江 龙泉 323700)

**摘要:** 2015年7月, 在浙江省凤阳山国家级自然保护区内选择具有代表性, 当前潜在干扰小的针阔混交林中建立50 m×100 m样地。利用空间结构分析软件Winkelmass和R软件计算前10位空间优势树种的空间结构参数, 并重点分析主要优势树种黄山松 *Pinus taiwanensis* 和木荷 *Schima superba* 的二元分布特征。结果表明, 除木荷属于随机分布外, 黄山松等优势树种均属于聚集分布。优势树种多处于中高度混交状态。黄山松和木荷的二元分布特征大致相同, 在同一优劣等级或同一混交度等级上的林木多呈随机分布, 在低度混交状态, 林分中大多数林木大小分化不明显, 而在极强度混交状态, 林木大小分化十分显著。同一优劣等级上处于强度混交状态的林木较多。林分的空间结构复杂多样, 优势树种多呈聚集分布且隔离程度较高, 群落结构稳定, 演替良好。

**关键词:** 凤阳山; 空间结构; 针阔混交林; 优势树种

中图分类号: S718.54 文献标识码: A 文章编号: 1001-3776(2019)04-0048-06

## Spatial Structure Characteristics of Main Dominant Trees in Coniferous and Broad-leaved Mixed Forest in Fengyangshan National Nature Reserve

ZHOU Hong-min<sup>1</sup>, QU Hong<sup>2</sup>, PENG Hui<sup>3</sup>, PAN Ya-ni<sup>4</sup>, JIANG Min<sup>2</sup>, LV Yun-wei<sup>4</sup>, JI Ru-chun<sup>2</sup>

(1. Longquan Forestry Institute of Zhejiang, Longquan 323700, China; 2. Longquan Forestry Bureau of Zhejiang, Longquan 323700, China;

3. Fengyangshan National Nature Reserve Administration of Zhejiang, Longquan 323700, China;

4. Longquan Land and Resources Bureau of Zhejiang, Longquan 323700, China)

**Abstract:** A fixed sample plot of 50 m×100 m was established in natural coniferous and broad-leaved mixed forest in Fengyangshan National Nature Reserve, Zhejiang province. Tally was carried out on plants with DBH ≥5 cm and height ≥2 m in the plot. The result demonstrated that there were 1952 plants, belonging to 63 species of 23 genera and 22 families. Structural parameters of the top 10 dominant tree species were analyzed by Winkelmass, especially on bivariate distribution structural of *Pinus taiwanensis* and *Schima superba* in this plot. Results showed that the dominant species were aggregated distribution and had a high mingling degree, except *S. superba* was random distribution. The bivariate distribution characters of *P. taiwanensis* and *S. superba* had a similar frequency, random distribution at the same level of dominance or at the same mingling degree. DBH had not difference in low mingling, but in extremely intensity mixed was significant. It concluded that special structure of the plot was complex and diverse, indicating stable community structure and normal succession.

**Key words:** Fengyangshan; spatial structure; mixed stand of conifer and broad-leaved trees; dominant species

收稿日期: 2018-12-16; 修回日期: 2019-05-09

基金项目: 国家重点研发课题(人工林结构调控与稳定性维持机制及其生产力效应, 2016YFD0600203); 龙泉市科技局(龙泉市杉木大径材人工林林分空间结构特征研究, KJ社发-016); 龙泉市科技局(杉木次生林森林经营示范与推广, KN-7)

作者简介: 周红敏, 高级工程师, 从事森林培育研究; E-mail:1445060304@qq.com。通信作者: 彭辉, 高级工程师, 从事森林培育研究; E-mail:370092109@qq.com。

植物群落的空间分布特征一直是植物群落研究的重点之一<sup>[1-2]</sup>。森林空间结构是森林生长过程的重要驱动因子<sup>[3-4]</sup>, 对森林的功能体现和发展趋势具有不可替代的作用。有研究指出, 只有充分考虑林分空间细节特征, 才能更好地维持和改善森林的环境和生态条件<sup>[5]</sup>。林分空间结构决定林木间的竞争态势及其生态位, 在很大程度上决定林分的稳定性、发展的可能性<sup>[6-10]</sup>。在一个群落中, 优势种作为群落演替的内在驱动力, 最能体现一个群落内部的空间结构和格局的形成过程<sup>[11]</sup>。目前, 对浙江省凤阳山森林生态系统的研究多集中于群落生物多样性等方面<sup>[12-15]</sup>, 其中对凤阳山的天然林空间结构的研究也仅限于一元分布<sup>[16]</sup>, 对该区域针阔混交林优势树种的空间结构的二元分布研究尚未见报道。本研究通过分析乔木层主要优势树种的空间结构特征, 判断该群落内部结构动态特征和演替趋势, 为今后深入研究整个群落的种群分布格局和物种多样性维持机制提供科学依据。

## 1 研究区概况

研究地点位于浙江省凤阳山国家级自然保护区, 119°06′~119°15′E, 27°46′~27°58′N, 面积 151 km<sup>2</sup>, 属武夷山系洞宫山脉的中段, 坡度一般在 30°左右, 悬崖峭壁多处可见。土壤以黄壤土为主。保护区内年日照 1 515.5 h, 平均相对湿度 80%, 年平均气温 12.3℃, 年降水量 2 438.2 mm, 年蒸发量 1 171.0 mm。主要植被类型以天然分布的针阔混交林、常绿阔叶林、竹林为主, 长势较好, 覆盖度大<sup>[17]</sup>, 分布有红豆杉 *Taxus chinensis*, 南方红豆杉 *T. chinensis* var. *mairei*, 伯乐树 *Bretschneidera sinensis*, 白豆杉 *Pseudotaxus chienii* 等珍贵树种<sup>[18]</sup>。研究样地位于凤阳山自然保护区内, 主要树种有木荷 *Schima superba*, 黄山松 *Pinus taiwanensis*, 褐叶青冈 *Cyclobalanopsis stewardiana*, 多脉青冈 *C. multinervis*, 格药铃 *Eurya muricata* 等。

## 2 研究方法

在全面踏查的基础上, 于 2015 年 7 月在凤阳山保护区内选择具有代表性, 当前潜在干扰小的林分中设立 1 个面积为 50 m×100 m 的固定样地, 利用 TOPCON 全站仪对样地内胸径 (DBH) ≥5 cm、树高 (H) ≥2 m 的树木定位并全面调查, 调查内容为胸径、树号、树种、树高等。样地海拔 1 200 m, 坡度 30°, 坡向东南。为避免边界效应对空间结构分析的影响, 设置了 5 m 的缓冲区, 核心区的面积为 40 m×90 m。调查显示样地内 DBH ≥5 cm 的林木个体有 1 952 株, 共 63 种, 隶属于 22 科 23 属。

利用林分空间分析软件 Winkelmass 计算针阔混交林及优势种群的角尺度 (用来描述相邻树木围绕参照树 *i* 的均匀性, Uniform angle index, *W*)<sup>[19]</sup>, 混交度 (混交林中树种空间隔离程度, Mingling, *M*) 和大小比数 (描述林木大小的分化程度, Dominance, *U*)<sup>[20]</sup> 3 个空间结构参数。采用树种优势度指数替代传统经典的重要值 (Important value, 简称 IV) 指标分析树种的空间优势<sup>[21]</sup>, 其表达式为:

$$D_{SP} = \sqrt{P_r \cdot (1 - \overline{U}_{sp})}$$

式中,  $D_{SP}$  为树种优势度;  $P_r$  为相对显著度;  $\overline{U}_{sp}$  为树种大小比数。树种优势度的值在 0~1 之间。接近 1 表示为树种非常具有空间优势, 接近 0 表示几乎没有优势。

二元分布采用 R 3.5.0 软件计算, 用 Excel 2013 作图。

## 3 结果与分析

整体林分的平均角尺度为 0.556, 为聚集分布状态, 很均匀状态的林木数量很少。林分中处于优势、亚优势、中庸、劣态和绝对劣态的林木比例均为 20%左右, 平均大小比数为 0.497, 林分整体处于中庸状态。林分的平均混交度为 0.715, 说明整体林分处于中度混交向强度混交过渡状态。

### 3.1 凤阳山针阔混交林中优势种的空间结构特征

对样地中空间优势度排名前 10 的树种进行空间结构参数一元分布分析,见表 1。从表 1 中可以看出,木荷的平均角尺度为 0.505 5,属于随机分布,黄山松的为 0.517 8,属于轻微的聚集分布。云锦杜鹃 *Rhododendron fortunei*、多脉青冈等 8 种优势种的角尺度集中在 0.592 6 ~ 0.651 9 之间,均属于聚集分布。常见优势种的大小比数差异较大,黄山松的大小比数值最小为 0.127 2,说明在林分中个体最大,优势度最高。多脉青冈、木荷、褐叶青冈、小叶白辛树 *Pterostyrax corymbosus* 处于中庸偏优势生长状态。云锦杜鹃、格药桉、髭脉桉叶树 *Clethra barbinervis*、野茉莉 *Styrax japonicus* 和鹿角杜鹃 *Rhododendron latoucheae* 处于中庸偏劣势的生长状态,其中鹿角杜鹃的大小比数值最大,在林分中个体最小,处于劣势。黄山松和多脉青冈处于强度混交状态,其余树种木荷、云锦杜鹃、褐叶青冈等处于中度偏强度混交状态。

表 1 凤阳山针阔混交林前 10 个优势树种的空间结构参数  
Table 1 Spatial structure parameters of the top 10 dominant tree species in natural coniferous and broad-leaved mixed forests in Fengyangshan National Reserve

树种	树种优势度	角尺度	大小比数	混交度	个体数/株
黄山松	0.158 2	0.517 8	0.127 2	0.872 8	243
木荷	0.080 7	0.505 5	0.346 9	0.722 3	354
云锦杜鹃	0.009 1	0.594 2	0.598 1	0.650 0	163
多脉青冈	0.008 4	0.631 0	0.297 6	0.845 2	34
褐叶青冈	0.007 4	0.613 6	0.352 3	0.715 9	33
格药桉	0.007 1	0.588 6	0.677 1	0.618 6	245
小叶白辛	0.006 8	0.637 3	0.451 0	0.735 3	53
髭脉桉叶	0.005 9	0.651 9	0.541 1	0.613 9	95
野茉莉	0.004 3	0.625 0	0.548 9	0.548 9	71
鹿角杜鹃	0.004 3	0.592 6	0.713 2	0.592 6	235

3.2 优势种群的二元分布

在样地林分中黄山松和木荷具有最明显的空间优势,因此,对黄山松和木荷的空间结构参数的二元分布进行重点分析。

3.2.1 黄山松种群二元分布 由黄山松种群的二元分布图可以看出,在混交度和大小比数两两联合组成的 25 个结构组合中(图 1A),有 12 个结构组合中频率值为 0。以中度混交轴 ( $M=0.50$ ) 和中庸轴 ( $U=0.50$ ) 为界,大致划分为混交较差且优势、混交良好且优势、混交较差且劣势、混交良好且劣势 4 种类型。这 4 个类型的林木个体株数比大致为 1:14:2:5。在零度混交等级上,各大小比数频率值均为 0,即样地中没有零度混交状态的林木;在弱度和中度混交等级上,各大小比数频率值仅占 9.5%。在绝对劣势状态下的黄山松株数为 0,说明黄山松种群个体在林分中无被压木存在,样地中黄山松多为大径级个体。

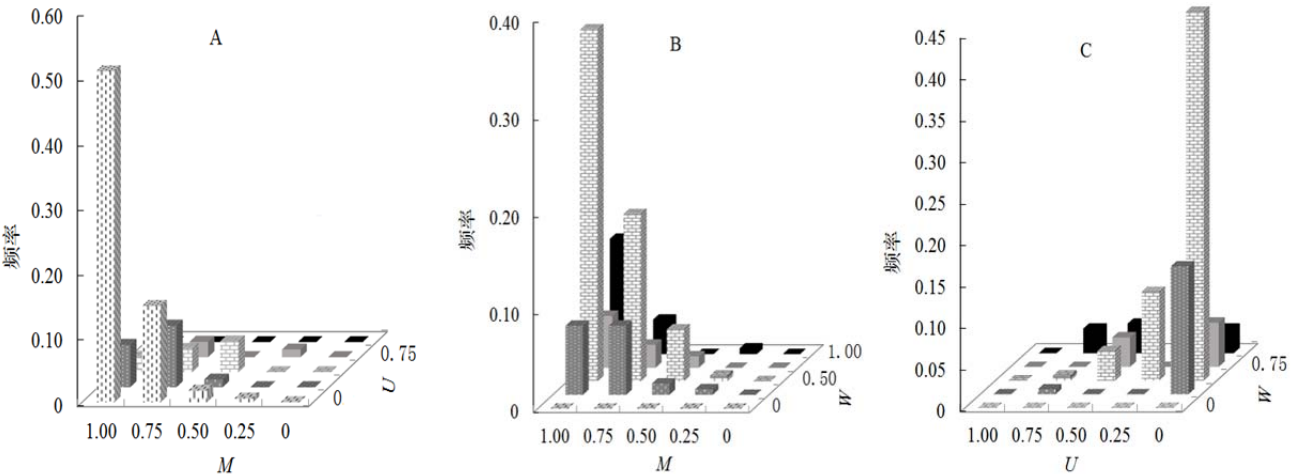


图 1 黄山松种群二元分布

Figure 1 Bivariate distribution of spatial structure of *P. taiwanensis*

从图 1B 可以看出, 在相同混交等级上, 随着角尺度的增大, 频率值表现为先增大后减小, 整体表现为正态分布。在角尺度为  $W = 0.5$  时, 频率值最大, 为 59.17%, 说明一半以上的黄山松个体在林分中处于随机分布状态。在很均匀等级上, 混交度各等级的频率值均为 0, 在  $M = 0$  和  $M = 0.25$  与各个角尺度组成的 10 个结构组合中, 除  $W = 0.25, M = 0.25$ ;  $W = 0.5, M = 0.25$  和  $W = 1, M = 0.25$  三个结构组合有少量林木, 其余 7 个结构组合的频率值均为 0。说明黄山松个体在林分中只有极少数处于低度混交状态。在  $W = 0.5, M = 0.75$  和  $W = 0.5, M = 1$  两个结构组合的频率值为 53.25%, 均值是其余 22 个结构组合均值的 13.1 倍。

除绝对劣势状态外, 各大小比数的最大频率均出现在随机分布状态的组合上。最大频率值 (44.38%) 出现在结构组合  $U = 0, W = 0.5$  上, 即林分中黄山松个体大部分处于绝对优势且随机分布状态。各等级大小比数存在较大差异, 黄山松个体在绝对优势和优势的频率值分别为 68.05% 和 17.16%, 在劣势状态的林木个体在 4% 左右, 在绝对劣势的频率值为 0, 说明林分中没有处于绝对劣势状态的黄山松个体。

3.2.2 木荷种群二元分布 图 2A 为木荷混交度和大小比数的二元分布, 图中可以看出, 混交度和大小比数组成的 25 个结构组合中均有木荷个体分布, 大部分林木分布在中高度混交等级 ( $M = 0.5 \rightarrow 1$ ) 和中低度大小比数等级 ( $U = 0 \rightarrow 0.5$ ) 结构组合上, 占木荷种群的 74.9%。最大频率值 (15.13%) 出现在  $M = 1, U = 0$  的结构组合上, 说明木荷在林分中处于极强度混交且绝对优势状态的林木个体数量最多。在低度混交度等级 ( $M = 0$  和  $M = 0.25$ ), 不同优劣程度的林木株数较少且差异不大; 在中高度混交等级 ( $M = 0.5 \rightarrow 1$ ), 不同优劣程度的林木数量较多且存在较大差异, 处于绝对劣势的木荷林木数量最少。

图 2B 为木荷种群混交度和角尺度的二元分布, 以中度混交轴 ( $M = 0.5$ ) 和随机分布轴 ( $W = 0.5$ ) 为界, 把林木划分为混交较差且均匀、混交良好且均匀、混交较差且聚集, 混交良好且聚集 4 种类型, 比值大致为 1:8.8:1.5:12。结构组合  $M = 0.75, W = 0.5$  的频率值最大, 为 19.56%, 其次为  $M = 1, W = 0.5$ , 频率值为 16.97%, 第三为  $M = 0.5, W = 0.5$ , 频率值为 15.5%, 说明以木荷为参照树构成的结构单元中相邻木处于中强度混交且随机分布。在  $W = 0.5, M = 0.5$ ;  $W = 0.5, M = 0.75$  和  $W = 0.5, M = 1$  三个结构组合的频率值为 52.03%, 均值是其余 22 个结构组合均值的 7.9 倍。

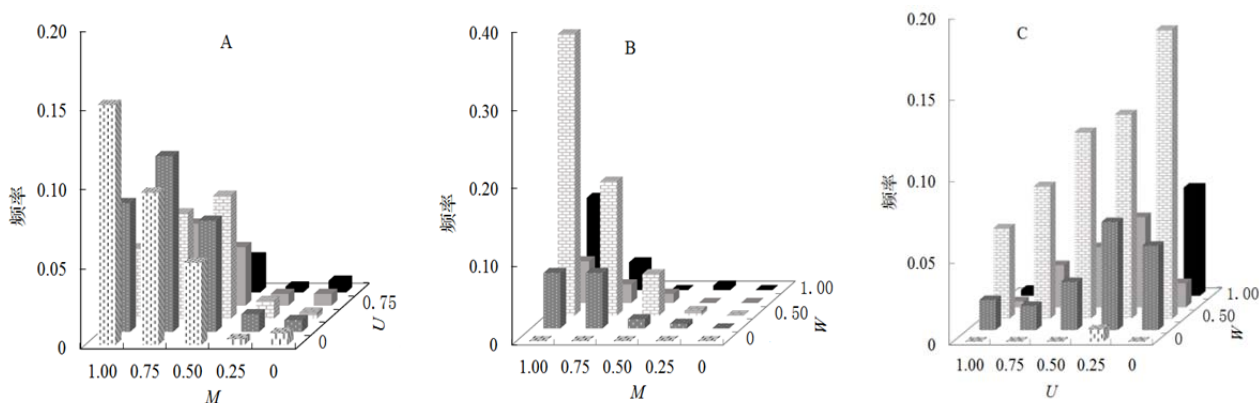


图 2 木荷种群二元分布

Figure 2 Bivariate distribution of spatial structure of *S. superba*

图 2C 为木荷种群大小比数和角尺度的二元分布, 在同一大小比数等级上, 频率值随着角尺度的增大而增大, 为正态分布, 在  $W = 0.5$  时, 频率值最大。在  $W = 0$  时, 只有  $U = 0.25$  时有林木存在, 仅为 0.74%, 其余优劣状态频率值为 0, 说明木荷个体在林分中处于很均匀分布的林木较少。结构组合  $U = 0, W = 0.5$  的频率值最大, 占木荷种群的 17.71%, 其次为结构组合  $U = 0.25, W = 0.5$ , 占木荷种群的 12.54%, 说明林分中 1/3 的林木处于优势且随机分布状态。在  $W = 0$  时, 各等级大小比数频率值相差 0.74%; 在  $W = 0.25$  时, 各等级大小比数频率值相差 5.16%; 在  $W = 0.5$  时, 各等级大小比数频率值相差 12.17%; 在  $W = 0.75$  时, 各等级大小比数频率值相差 5.17%; 在  $W = 1$  时, 各等级大小比数频率值相差 6.27%; 在很均匀状态, 不同优劣程度的林木株数差异不大;

在  $W = 0.25 \rightarrow 1$  的分布状态, 不同优劣程度的林木株数差别明显。

## 4 结论

### 4.1 优势树种的空间结构参数

一个树种的空间分布是其受多种环境因子共同作用后的综合反映, 如当个体间存在激烈竞争时, 林木个体多成均匀分布; 个体共存的空间关系多表现为聚集分布; 而当个体互相独立时则呈现随机分布<sup>[22]</sup>。本研究分析了凤阳山针阔混交林样地前 10 个优势树种的空间结构一元分布特征, 除木荷为随机分布外, 其余优势种的角尺度集中在  $0.5178 \sim 0.6519$  区间, 均属于聚集分布。其中黄山松的大小比数值最小, 在林分中处于最大优势; 而鹿角杜鹃的最大, 在林分中处于劣势。黄山松和多脉青冈处于强度混交状态, 其余树种木荷、云锦杜鹃、褐叶青冈、多脉青冈、格药枰、小叶白辛树、髭脉桉叶树、野茉莉、鹿角杜鹃处于中度偏强度混交状态。云锦杜鹃、格药枰、鹿角杜鹃的个体数量虽然很多, 但在林分中以灌木或小乔木居多, 大多处于林木下层, 在群落中的优势度较低。各树种的隔离程度较高, 说明群落的空间结构复杂多样, 有利于群落稳定发展并趋于正态演替。

### 4.2 主要优势树种的空间结构二元分布特征

凤阳山针阔混交林中主要优势树种黄山松、木荷的混交度和大小比数、混交度和角尺度、大小比数和角尺度的二元分布特征大致相同, 均呈现在同一优劣等级或同一混交度等级上的林木多呈随机分布, 在低度混交状态, 林分中大多数林木大小分化不明显, 而在极强度混交状态, 林木大小分化十分显著。这说明各树种在幼苗阶段数量较多, 竞争相对激烈, 生长受限, 而大径级个体由于生态位分化明显, 种间关系复杂, 更加趋于协调互利关系<sup>[23]</sup>。样地中一半以上的林木处于优势且高度混交状态, 尤其是黄山松, 处于优势且高度混交状态的林木高达 81.66%。这说明样地中黄山松多为大径级个体。无论是样地整体还是黄山松或木荷均表现为在同一优劣等级上处于强度混交状态的林木较多, 说明林分中树种多样性高。此外黄山松、木荷混交度和大小比数的最大频率值均出现在  $M = 1, U = 0$  的结构组合上, 这说明大部分优势状态的参照树周围最近 4 株相邻木为不同树种, 即大树周围混交度更高, 大树的邻体格局呈现比幼树更高的多样性分布。

## 5 讨论

凤阳山国家级自然保护区是浙闽山地的重要组成部分, 合理经营针阔混交林是凤阳山国家级自然保护区森林可持续发展的关键。在林分分布格局上, 黄山松在林分中处于高度混交状态, 而且在林分中处于绝对优势, 但其水平分布格局呈轻微的聚集分布。木荷处于随机分布状态, 另外的优势树种云锦杜鹃、多脉青冈、褐叶青冈等均处于聚集分布状态。木荷、云锦杜鹃、鹿角杜鹃褐叶青冈、多脉青冈、格药枰、小叶白辛树、髭脉桉叶树、野茉莉处于中→高混交状态。黄山松空间大小相对处于优势。优势树种中处于很均匀分布和很不均匀分布的林木个体较少, 在随机分布的频率最大, 说明凤阳山针阔混交林的林分处于相对稳定的状态。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>[19]</sup>。凤阳山针阔混交林整体林分表现为聚集分布, 说明凤阳山针阔混交林的水平分布格局存在向随机分布演替的趋势。这对揭示凤阳山针阔混交林的空间结构特征, 更好的认识其结构多样性及其维持机制, 进而采取更科学有效的保护措施, 具有重要理论和实践意义。

凤阳山针阔混交林物种多样性高, 空间结构相对合理, 处于比较稳定的结构。黄山松在林分中处于优势地位, 位于林分的上层, 对阔叶林幼树起到了遮阴的作用, 有利于阔叶树的生长发育, 因此对黄山松应加以保护, 做好病虫害的预测预报工作, 做到早发现, 早防治。

林分的分布格局是推导群落生态学过程和共存机制的重要手段, 林分空间结构参数二元分布能够同时提供树种间隔离程度、分布格局及相互间的挤压状况等综合的生境信息, 而且操作简单, 容易理解, 可为凤阳山针阔混交林的空间结构的综合指标评价及科学合理的经营和保护等提供参考。此外, 还需要对样地进行长期观测, 了解凤阳山国家级自然保护区森林空间结构的动态特征, 最终实现对森林的可持续利用和科学保护。

## 参考文献:

- [1] 陈婷婷, 徐辉, 杨青, 等. 武夷山常绿阔叶林空间结构参数分布特征[J]. 生态学报, 2018, 38 (5): 1817–1825.
- [2] 龙海舟, 刘兴良, 缪宁, 等. 川滇高山栎群不同海拔空间格局的角尺度效应及个体间空间关联[J]. 生态学报, 2010, 38 (15): 4004–4011.
- [3] PRETZSCH H. Analysis and modeling of spatial stand structures. methodological considerations based on mixed beech-larch stands in lower Saxony[J]. For Ecol Manag, 1997, 97 (3): 237–253.
- [4] 湛斌, 闫新利, 陈斌, 等. 紫金山针阔混交林空间结构特征分析[J]. 西北林学院学报, 2016, 31 (5): 224–229.
- [5] BASKENT D Z, KELES S. Spatial forest planning; a review[J]. Ecol Model, 2005, 188 (2): 149–155.
- [6] 彭辉, 周红敏, 惠刚盈. 萌生杉木林空间结构的二元分布特征[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2017, 41 (4): 136–140.
- [7] 周红敏, 何必庭, 彭辉, 等. 萌生杉木林空间结构特征研究[J]. 林业科学研究, 2015, 28 (5): 686–690.
- [8] 马琳, 梁军, 周国英, 等. 昆崙山天然赤松次生林空间结构特征的研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2013, 33 (9): 50–51, 54.
- [9] 惠刚盈, 李丽, 赵中华. 林木空间分布格局分析方法[J]. 生态学报, 2007, 27 (11): 4717–4728.
- [10] 周红敏, 惠刚盈, 赵中华, 等. 林分空间结构分析中样地边界木的处理方法[J]. 林业科学, 2009, 45 (2): 1–5.
- [11] 张岗岗, 王得祥, 柴宗政, 等. 秦岭中段华北落叶松人工林空间结构的二元分布特征[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2014, 42 (9): 33–40.
- [12] 徐华潮, 郝晓东, 黄俊浩, 等. 浙江凤阳山昆虫物种多样性[J]. 浙江农林大学学报, 2011, 28 (1): 1–6.
- [13] 高俊香, 鲁小珍, 马力, 等. 凤阳山常绿阔叶林乔木层优势种群生态位分析[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2010, 34 (4): 157–160.
- [14] 谭毓佳, 袁留斌, 陈德良, 等. 浙江凤阳山——百山祖国家级自然保护区植物群落 ALPHA 多样性特征[J]. 浙江林业科技, 2014, 34 (3): 8–13.
- [15] 高俊香, 梅盛龙, 鲁小珍, 等. 凤阳山自然保护区鹿角杜鹃种群结构与分布[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2009, 33 (2): 35–38.
- [16] 王群, 张金池, 田月亮, 等. 浙江凤阳山天然混交林林分空间结构分析[J]. 浙江农林大学学报, 2012, 29 (6): 875–882.
- [17] 赵友朋, 张金池, 李骁, 等. 凤阳山主要林分类型土壤根系分布特征研究[J]. 南昌工程学院学报, 2016, 35 (6): 41–45.
- [18] 胡绍庆, 丁炳扬, 陈征海. 浙江省珍稀濒危植物物种多样性保护的关键区域[J]. 生物多样性, 2002, 10 (1): 15–23.
- [19] 惠刚盈, Klaus von Gadow, 胡艳波, 等. 结构化森林经营[M]. 北京: 中国林业出版社, 2007: 28–33.
- [20] GRAU H R, ARTURI M F, BROWN A D, *et al.* Floristic and structural patterns along a chronosequence of secondary forest succession in Argentinean subtropical montane forests[J]. For Ecol Manag, 1997 (95): 161–171.
- [21] KOLMOGOROFF A N. Sulla determinazione empirica di una legge di distribuzione[J]. Giornal Inst Ital Att, 1933, 4: 441–452.
- [22] 王玮玲, 张钦弟, 郝晓杰, 等. 山西七里峪茶条槭的种群结构与空间分布格局[J]. 西北植物学报, 2012, 32 (5): 1027–1035.
- [23] 黄小波, 刘万德, 苏建荣, 等. 云南松天然林的种内和种间竞争[J]. 林业科学研究, 2016, 29 (2): 209–215.