

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw201609030

引文格式: 尤根彪, 叶和军, 焦洁洁, 等. 浙江丽水白云山红豆树人工林的径级结构和空间分布格局 [J]. 广西植物, 2017, 37(6):799-805  
YOU GB, YE HJ, JIAO JJ, et al. Size class structure and spatial distribution pattern of *Ormosia hosiei* plantation in Baiyun Mountain, Lishui [J]. Guihaia, 2017, 37(6):799-805

# 浙江丽水白云山红豆树人工林的径级结构和空间分布格局

尤根彪<sup>1</sup>, 叶和军<sup>1</sup>, 焦洁洁<sup>2\*</sup>, 林莉军<sup>3</sup>, 刘伟<sup>1</sup>, 吴初平<sup>2</sup>

(1. 白云山林场, 浙江 丽水 323000; 2. 浙江省林业科学研究院, 杭州 310023; 3. 丽水市林业局, 浙江 丽水 323000)

**摘要:** 采用固定样地调查的方法, 在浙江丽水白云山林场的红豆树人工林中共建立两个 20 m × 40 m 的监测样地 (1 号样地和 2 号样地), 并进行群落调查。结果表明: (1) 共记录到乔木和灌木物种 13 种, 优势种主要为红豆树、深山含笑 (*Michelia maudiae*) 和刨花楠 (*Machilus pauhoi*) 等。两个样地的径级结构均成倒“J”分布。(2) 从空间分布看, 两个样地的红豆树均基本呈现随机分布。在较小空间尺度上, 1 号样地和 2 号样地的其他树种与红豆树之间均呈负相关, 特别是 1 号样地。(3) 通过分析环境因子对红豆树胸径生长的影响, 发现样地内除土壤厚度外, 其他因子如全氮、全磷含量、pH 值及凋落物等对红豆树的生长影响不大。研究认为: ① 白云山的红豆树人工林尚具有较大的生长潜力。② 红豆树的种内竞争可较小, 而红豆树和其他树种之间则可能存在较强的种间竞争。③ 后期管理过程中, 该类林分可以适当伐除其他树种, 并对大红豆树进行修枝, 即有利于干形也可促进小红豆树的生长, 同时加强对土壤厚度的管理。通过对 40 年生红豆树成熟人工林的径级结构和空间分布格局的研究, 可以更好地了解林分结构特征和物种更新过程。

**关键词:** 红豆树, 群落结构, 径级结构, 格局分析, 空间分布格局

中图分类号: Q948 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2017)06-0799-07

## Size class structure and spatial distribution pattern of *Ormosia hosiei* plantation in Baiyun Mountain, Lishui

YOU Gen-Biao<sup>1</sup>, YE He-Jun<sup>1</sup>, JIAO Jie-Jie<sup>2\*</sup>, LI Li-Jun<sup>3</sup>, LIU Wei<sup>1</sup>, WU Chu-Ping<sup>2</sup>

(1. Baiyunshan Forest Farm, Lishui 323000, Zhejiang, China; 2. Zhejiang Forestry Academy, Hangzhou 310023, China; 3. Lishui Forestry Bureau, Lishui 323000, Zhejiang, China)

**Abstract:** We set up two 20 m × 40 m plots (Plot 1 and Plot 2) using forest dynamics plot investigation protocol in *Ormosia hosiei* plantations of Baiyun Mountain, and conducted a community survey in these two plots. The results were as follows: (1) Thirteen tree and shrub species were recorded, of which the dominant species were *Ormosia hosiei*, *Michelia maudiae* and *Machilus pauhoi*. Stem size class structures of both plots were reverse “J” shaped. (2) Stems of *Ormosia hosiei* in both plots were spatially randomly distributed. At the small spatial scales, *O. hosiei* and other species were negatively correlated in both plots, especially in Plot 1. (3) Analysis of soil effects on the DBH growth of *O. hosiei* only showed a significant effect of soil layer thickness, but not significant effects of total phosphorous content, total nitrogen content, soil pH and litter. The results suggest: ① The *Ormosia hosiei* plantations were with large growth potentials. ② The intraspecific competition between *O. hosiei* stems may be weak, while the interspecific competition be-

收稿日期: 2016-10-26 修回日期: 2016-12-13

基金项目: 全国森林经营基础科研项目 (169201531-5); 浙江省省院重点合作项目 (2016SY08) [Supported by National Fundamental Research Program of Forest Management(169201531-5); Key Cooperation Program of Zhejiang Province and Chinese Academy of Forestry(2016SY08)].

作者简介: 尤根彪 (1970-), 男, 浙江丽水人, 工程师, 从事森林培育和林业技术推广工作, (E-mail) 869863417@qq.com。

\*通信作者: 焦洁洁, 硕士研究生, 助理研究员, 从事森林生态和森林经营工作, (E-mail) 705241632@qq.com。

tween *O. hosiei* and other species may be strong. ③ For the management of these *O. hosiei* plantations, it might be appropriate to remove some branches of large stems to facilitate the growth of small stems, and to enhance the management of soil layer thickness. Through the study on size class structure and spatial distribution pattern of 40 years mature *O. hosiei* plantation, we can better understand the update process and structure characteristics, and it provides more scientific basis for artificial afforestation, plantation large size materials and ational management.

**Key words:** *Ormosia hosiei*, community structure, size class structure, pattern analysis, patial distribution pattern

红豆树 (*Ormosia hosiei*) 系蝶形花科红豆树属, 国家 II 级重点保护野生植物 (曾瑞金, 2007), 红豆树心材红褐色, 木材贵重, 林木兼具材用、药用、景观美化等作用, 经济价值高 (郑天汉等, 2007a), 但种苗紧缺 (郑天汉等, 2007b)。红豆树广泛分布于福建、江苏、安徽、浙江、江西、河南、湖北、湖南、贵州、四川、陕西及甘肃等省区 (郑天汉和兰思仁, 2013), 近年来由于被产地收购部门和群众砍伐利用, 致使分布范围愈益狭窄, 成年树日益稀少, 红豆树成为濒危物种。在本种分布较集中地区 (如浙江省龙泉黄山头、岭根等地) 已建立红豆树保护点, 严密控制群众乱砍滥伐, 并积极开展人工繁殖, 建立造林基地 (冯建国等, 2007)。森林群落结构是重要的林分特征, 其中径级结构能很好地反映种群的动态变化 (Arista, 1995), 有助于进一步了解森林群落结构和生长状况, 为森林采伐、营林造林提供理论依据 (孙伟中等, 1997)。种群的空间格局分析同样是研究种群特征、种群间相互作用以及种群与环境关系的重要手段, 对于确定种群特征以及种群与环境之间的关系具有非常重要的作用, 而在测定分布格局的基础上进一步揭示群落的特征与本质则十分必要, 生态学家用不少方法测定不同植物种群的格局, 在进行固定样地的调查时, 点格局分析方法是最佳的 (兰国玉和雷瑞德, 2003), 它较好地描述了不同尺度下的种群分布特点, 结果一目了然 (张金屯, 1998)。

至今国内成林的红豆树人工林非常稀少且面积狭小, 除了福建尤溪县有片约 3.67 hm<sup>2</sup> 红豆树人工林外, 其他的面积大多在 0.06~0.67 hm<sup>2</sup> 不等 (骆文坚等, 2010; 张蕊等, 2012)。国内外对红豆树的研究主要集中在红豆树天然林经营与保护 (郑天汉等, 2007a, b; 谢慕华, 2015)、人工林培育 (彭来全, 2007; 甘国勇, 2011)、混交树种选择 (王金盾等, 2001; 林雄平等, 2014)、木材性质 (骆文坚等, 2010) 等方面, 大多选择在福建尤溪县, 研究面积从 0.06~3.67 hm<sup>2</sup> 不等, 年龄一般在 20~30 a, 但对 40 a 以上

的红豆树人工林研究较少, 特别是对种群的径级结构、分布格局及其与环境因子之间关系的研究尚未见报道。本研究通过对浙江丽水白云山 40 年生红豆树人工林的径级结构和空间分布格局进行研究, 可以更好的了解林分结构特征和物种更新过程, 为珍贵树种人工林培育大径材、人工造林及合理经营提供了更多的科学依据。

## 1 研究地区与研究方法

### 1.1 研究地区概况

白云山地处浙南山区瓯江中游的丽水市以北, 位于 28°23'~28°27' N, 119°52'~119°58' E 之间, 年平均降水量为 1 392.8 mm, 年平均气温 18.0 °C, 土壤类型以红壤和黄壤为主。属于中亚热带季风气候, 四季分明, 气候温暖湿润, 雨量充沛, 光照充足, 日照和无霜期长。优越的气候条件, 为红豆树的生长提供了丰富的环境因子。

### 1.2 研究方法

研究地所在红豆树人工林位于丽水市白云林场, 为 1974 年种植的人工林, 是浙江省极少数的红豆树人工林之一。分布面积约 0.6 hm<sup>2</sup>, 狭长分布、形状极不规则, 而且被中间宽约 1 m “T” 型台阶路 (造林以前就有的, 无法改道) 隔成上、左下和右下 3 片。其中, 上片长不到 10 m, 宽约 30~40 m, 无法设置合适的样地; 左下片和右下片可以分别设置成同等面积 (20 m × 40 m) 的规则样地。因此, 我们在该人工林长宽适合的区域设置了两个 20 m × 40 m 的固定监测样地, 将每个样地划分为 5 m × 5 m 的小样方进行乔木层 (胸径 ≥ 5 cm)、幼树层 (胸径为 1~5 cm) 和幼苗层的调查。对样地内乔木层和幼树层进行编号和每木调查, 并记录每棵树的位置坐标 (x, y)。乔木层记录各树种的种名、胸径、树高、冠幅、枝下高等测树因子; 幼树层主要测定树种的种名、胸径; 幼苗层调查各植物的种名、高度、根萌和盖度等数据。同时, 利用 GPS 仪和罗盘仪记录各样地

的海拔、坡向、坡度、坡位,并目测了林分郁闭度。在两个样地的每个小样方内,测量了土壤深度、凋落物厚度、凋落物盖度和岩石裸露度等生境因子。同时,取0~20 cm、20~40 cm、40~60 cm的混合土500 g,重复3次,共计192个土样,测定pH值以及全氮、全磷和有机质等含量。

### 1.3 统计分析方法

利用样地调查的胸径数据,在Excel中对样地林分进行径级结构分析。用R3.1.0软件(R Core Team, 2014),对红豆树的胸径和环境因子进行多元线性回归分析,找出影响红豆树生长的主要因素。

空间格局分析使用2010版的Programita软件完成,设定1 m × 1 m的栅格来划分整个样地,用以取样的圆环宽度设为3 m,检验的尺度设为0~20 m。以个体在空间的坐标为基本数据,每个个体都可以视为二维空间的一个点,这样所有个体就组成空间分布的点图(point map),以点图为基础进行格局分析(Diggle, 1983)采用基于圆环的O-ring O(r)函数(Wiegand et al, 2004)并以完全空间随机(complete spatial randomness, CSR)模型为零模型来研究样地内优势种群的分布格局及种内种间关系。通过使用199次Monte Carlo模拟的第五最低值和第五最高值得到95%的置信区间。

对于种内关系,如果实际格局的O(r)大于模型条件下95%的置信区间,则判定该种群为聚集分布,如果实际格局的O(r)小于模型条件下的置信区间,则判定该种群为均匀分布,如果实际格局的O(r)在模型条件下的置信区间内,则判定该种群为随机分布。对于种间关系,如果实际格局的O(r)大于模型条件下95%的置信区间,则判定两个种为显著正相关,如果实际格局的O(r)小于模型条件下的置信区间,则判定两者为显著负相关,如果实际格局的O(r)在模型条件下的置信区间内,则判定两者关联性不大。

## 2 结果与分析

### 2.1 红豆树群落的物种组成

调查样地共记录植物物种13种,其中样地1有11种,样地2仅6种(表1)。样地1的林分密度为1200株·hm<sup>-2</sup>,平均胸径为18.4 cm,其中红豆树的密度为638株·hm<sup>-2</sup>,平均胸径为16.4 cm,占较大的优势,其次数量较多的是深山含笑(*Michelia mau-*

表1 红豆树人工林乔木层的物种组成  
Table 1 Species composition of tree layer in *Ormosia hosiei* plantations

树种 Species	样地1	Plot 1	样地2	Plot 2
	密度 Density (tree · hm <sup>-2</sup> )	平均 胸径 Average DBH (cm)	密度 Density (tree · hm <sup>-2</sup> )	平均 胸径 Average DBH (cm)
红豆树 <i>Ormosia hosiei</i>	638	16.2	900	15.8
深山含笑 <i>Michelia maudiae</i>	350	18.2	88	22.5
刨花楠 <i>Machilus pauhoi</i>	-	-	238	18.8
白花泡桐 <i>Paulownia fortunei</i>	75	42.8	13	39.7
樟树 <i>Cinnamomum camphora</i>	38	18.9	13	28.0
闽楠 <i>Phoebe bournei</i>	-	-	38	18.1
福建柏 <i>Fokienia hodginsii</i>	13	12.9	-	-
厚朴 <i>Magnolia officinalis</i>	25	12.5	-	-
檫树 <i>Sassafras tzumu</i>	13	21.7	-	-
红楠 <i>Machilus thunbergii</i>	13	11.8	-	-
赛山梅 <i>Styrax confusus</i>	13	8.3	-	-
油桐 <i>Vernicia fordii</i>	13	21.4	-	-
江南油杉 <i>Keteleeria cyclolepis</i>	13	37.9	-	-
总计 Total	1200	18.4	1288	17.2

*diae*),密度为350株·hm<sup>-2</sup>,平均胸径为18.2 cm。样地2的林分密度为1288株·hm<sup>-2</sup>,平均胸径为17.2 cm,其中红豆树的密度为900株·hm<sup>-2</sup>,平均胸径为15.4 cm,占较大的优势,其次数量较多的是刨花楠(*Machilus pauhoi*),密度为238株·hm<sup>-2</sup>,平均胸径为18.8 cm。白花泡桐(*Paulownia fortunei*)数量虽然不多,样地1和样地2种分布只有75株·hm<sup>-2</sup>和13株·hm<sup>-2</sup>,但在样地的平均胸径均为最大,分别为42.8 cm和39.7 cm。另外,幼树层的物种相对较少。样地1中红豆树为26株·hm<sup>-2</sup>,深山含笑和刨花楠各有13株·hm<sup>-2</sup>。样地2中红豆树幼树为163株·hm<sup>-2</sup>,刨花楠有13株·hm<sup>-2</sup>。

## 2.2 红豆树种群的径级结构

图 1 显示红豆树种群的径级结构,可以发现除去 1~5 cm 的幼树,红豆树乔木层的径级两样地均呈现倒“J”型分布。样地 1 中 1~5 cm 的幼树最少,以 5~

15 cm 的中小径级最多,占据 56.8%,15 cm 以上的各径级数量较为平均。样地 2 中 1~5 cm 的幼树相对较多,达到 150 株·hm<sup>-2</sup>以上,5~25 cm 的各径级数量相对平均,而 25 cm 以上大径个体相对较少。

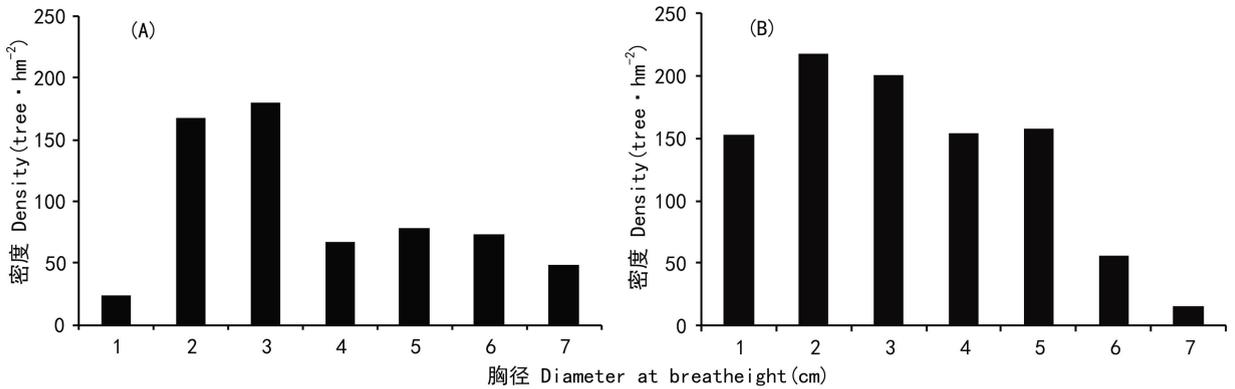


图 1 红豆树种群的径级分布 径级 1. 1~4.9 cm, 2. 5.0~9.9 cm, 3. 10.0~14.9 cm, 4. 15.0~19.9 cm, 5. 20.0~24.9 cm, 6. 25.0~29.9 cm, 7. >30.0 cm。A. 样地 1, B. 样地 2。

Fig. 1 Diameter distribution of *Ormosia hosiei* population Class 1. 1~4.9 cm, 2. 5.0~9.9 cm, 3. 10.0~14.9 cm, 4. 15.0~19.9 cm, 5. 20.0~24.9 cm, 6. 25.0~29.9 cm, 7. >30.0 cm。A. Plot 1, B. Plot 2.

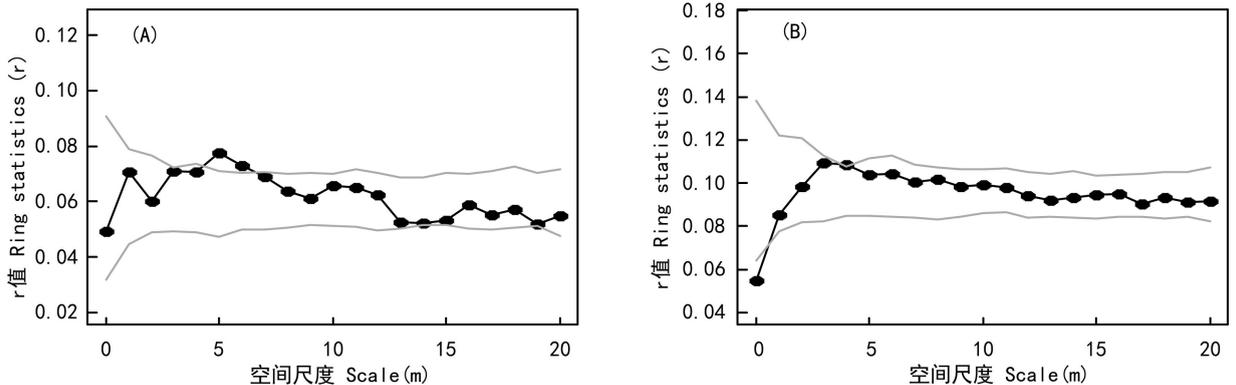


图 2 红豆树种群的空间分布格局 A. 样地 1, B. 样地 2。下同。

Fig. 2 Spatial patterns of *Ormosia hosiei* population A. Plot 1, B. Plot 2. The same below.

## 2.3 红豆树群落的空间格局分析

2.3.1 红豆树种群的空间分布格局 两个样地红豆树的空间分布格局如图 2 所示。两个样地在绝大部分尺度下,其实际格局的  $O(r)$  位于模型条件下的置信区间内,红豆树基本呈现随机分布。1 号样地在空间尺度 5 m 左右范围内,红豆树呈正相关分布; 2 号样地在距中心 1 m 尺度范围内呈显著负相关。

2.3.2 红豆树种群小树 (DBH < 10 cm) 和 大树 (DBH > 10 cm) 间的空间关联性 图 3 显示红豆树种群小树和大树的空间关联性。1 号样地在空间尺度 13~

14 m 的范围内,其实际格局的  $O(r)$  小于模型条件下的置信区间,小红豆树和大红豆树呈显著负相关,但是总体在模型条件下的置信区间内,两者之间无显著关联性。2 号样地实际格局的  $O(r)$  均在在模型条件下的置信区间内,两者之间无显著关联性。

2.3.3 红豆树与其他树种间的空间关联性 红豆树与其他树种间的空间关联性如图 4 所示,1 号样地在距中心 5 m 以内,红豆树和其他树种之间呈显著负相关,之后逐渐不显著; 2 号样地仅在空间尺度 1 m 范围内呈显著负相关,其他尺度下同样不显著。

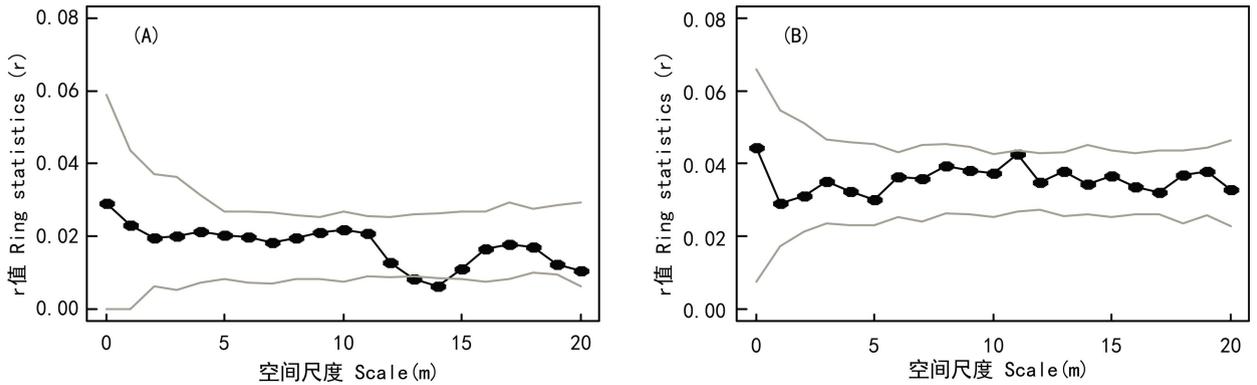


图 3 不同生长阶段红豆树种群的空间关联性

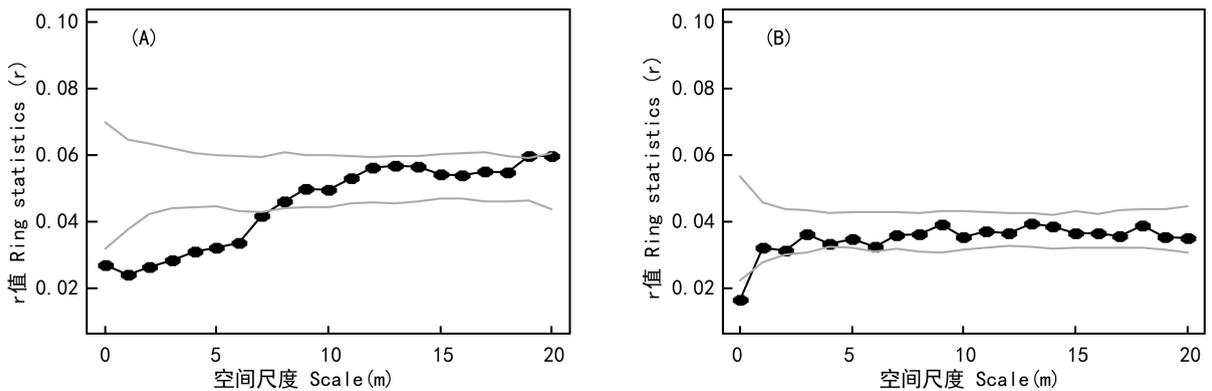
Fig. 3 Spatial association of *Ormosia hosiei* population at different growth stages

图 4 红豆树种群与其他树种间的空间关联性

Fig. 4 Spatial association of *Ormosia hosiei* population and other species

## 2.4 环境因子对红豆树生长的影响

通过调查环境因子对红豆树胸径生长的影响(表 2),发现除了土层深度对红豆树的生长有显著影响外,其他因子对红豆树的生长影响均不大。

## 3 讨论

白云山红豆树人工林乔木层和幼树层共记录物种 13 种,主要树种为红豆树、深山含笑和刨花楠等,以红豆树占主要优势,该片红豆树林分的树种结构简单,除红豆树是人工种植外,深山含笑、楠木和江南油杉很可能是当地的原有树种,而如檫树、赛山梅、油桐和浙江油杉等其他树种数目较少。以上结果说明在该人工林形成过程中,红豆树具有较显著的相对优势度,成林后对光照条件的竞争具有绝对优势,形成主林层,偶见江南油杉等突出主林层。

乔木层红豆树的林分密度分别为  $638 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$  和  $900 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,平均胸径分别为  $16.2 \text{ cm}$  和  $15.8 \text{ cm}$ 。张蕊等(2012)指出,浙江省庆元县和龙泉市 28 年生的红豆树人工林,林分密度为  $625 \sim 833 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,平均胸径为  $22.0 \sim 26.0 \text{ cm}$ ,福建省邵武等市 38 年生的红豆树人工林,林分密度为  $825 \sim 1\,667 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,平均胸径为  $17.0 \sim 26.8 \text{ cm}$ ,土层厚度均在  $80 \sim 100 \text{ cm}$  之间。与上述林分相比,白云山 31 年生红豆树人工林乔木层的平均胸径相对较小,这与该林分  $10 \text{ cm}$  以下的个体较多有关。根据红豆树人工纯林的生长规律(郑双全,2000),15 年生的红豆树个体胸径一般都在  $10 \text{ cm}$  以上,说明该林分中小径级的个体多数为后期天然更新而来,前期的抚育措施给红豆树天然更新提供了空间。其他研究也指出,红豆树具有较高的更新能力,在  $100 \text{ a}$  以上的红豆树天然老林分中,仍然具有较多中小径级个体(郑

表 2 环境因子对红豆树胸径生长的线性回归分析

Table 2 Linear regression analysis of environment factors on the DBH growth of *Ormosia hosiei*

项目 Item	估计值 Estimate	标准差 Standard error	t 检验值 t-value	P 值 P(> t )
全磷 Total P (g · kg <sup>-1</sup> )	-47.601	51.249	-0.929	0.357 11
全氮 Total N (g · kg <sup>-1</sup> )	27.343	53.736	0.509	0.612 94
有机质 Organic matter (g · kg <sup>-1</sup> )	-7.929	51.544	-0.154	0.878 32
pH 值 pH value	19.265	49.784	0.387	0.700 3
土层深度 Soil depth (cm)	-132.258	48.761	-2.712	0.008 94 **
凋落物厚度 Litter thickness (cm)	14.416	65.943	0.219	0.827 78
凋落物盖度 Litter coverage (%)	29.319	63.784	0.46	0.647 61
岩石裸露率 Bare rock rate (%)	14.326	18.694	0.766	0.446 8

天汉等,2007a;谢慕华,2015)。从径级结构来看,样地 1 呈现典型的倒“J”型分布,在径级 4 即 DBH > 15 cm 的红豆树个体数量出现明显分化。该样地早期侵入的其他树种较多,如深山含笑、白花泡桐、樟树 (*Cinnamomum camphora*) 等树种的平均胸径均在 18 cm 以上,是导致红豆树人工林生长出现分化的重要原因。样地 2 虽然也呈现典型的倒“J”型分布,除了大径级 6 和 7 以外,各径级之间个体数相对平均,说明种内竞争良好,受其他树种影响较少。以上结果说明,该片红豆树人工林发育时间较短,中小径级个体较多,仍具有较大的生长空间。

人工林的格局最初由造林密度与配置格局等人为因素决定,但此后邻体竞争、生境条件等因素会产生相当大的作用 (Jaroslaw & Paluch, 2007)。胡凌等 (2014) 对香樟人工林进行密度调控后,林分空间分布由最初的均匀部分逐步变为随机分布。该片红豆树人工林两个固定样地的红豆树空间分布,同样均基本呈现随机分布,也说明该片红豆树立地条件基本一致,环境差异较小,经过多年的自疏或它疏作用,种内竞争相对较小。我们同时对红豆树小树 (DBH < 10 cm) 和 大树 (DBH ≥ 10 cm) 进行关联分析,两个样地均发现总体两者之间无显著关联性。以上结果说明,经过多年的自然选择,小树为了获取生长所需的资源,主要出现在大树个体的斑块间隙

等适合自身生长的环境,尽可能地减少大树的影响。

另外,本研究中还发现在较小尺度下,1 号样地和 2 号样地的其他树种与红豆树之间呈负相关 (图 4),存在一定的竞争关系。特别是 1 号样地,深山含笑等其它树种数量较多,可能对红豆树的生长造成一定的影响。同时,在 1 号样地空间尺度 13~14 m 的范围内,小红豆树和大红豆树出现显著负相关,说明大红豆树对小红豆树的生长具有一定的影响。因此,在该类林分可以适当伐除其他树种,并对大红豆树进行修枝,即有利于干形 (张蕊等,2012;骆文坚等,2010) 也可以促进小红豆树的生长。

关于红豆树人工林种植,立地条件对其生长量影响较大 (甘国勇,2011)。我们通过分析环境因子对红豆树胸径生长的影响发现,样地内除土壤厚度外,其他因子如营养元素的含量、pH 值及凋落物等对红豆树的生长影响不大,说明该片林地立地条件相对较好,在后期红豆树人工林的管理过程中,可以适当减少肥料的使用,并加强对土壤厚度管理。

## 参考文献:

- ARISTA M, 1995. The structure and dynamics of an *Abies pinsapo* forest in southern Spain [J]. *For Ecol Manag*, 74:81-89.
- DIGGLE PJ, 1983. Statistical analysis of spatial point patterns [M]. New York: Academic Press:13-106.
- FENG JG, JI XL, ZHOU ZC, et al, 2007. Cultivation technique of *Ormosia hosiei* plantation [J]. *Chin For Sci Technol*, 21(5): 93-95. [冯建国,季新良,周志春,等,2007. 特种经济高档用材红豆树培育技术 [J]. 林业科技开发,21(5):93-95.]
- GAN GY, 2011. Analysis of the effect of different site quality of red bean tree plantation silviculture [J]. *Fujian Sci Technol Trop Crops*, 36(1):8-11. [甘国勇,2011. 不同立地质量红豆树人工林造林效果分析 [J]. 福建热作科技,36(1):8-11.]
- GONG ZW, KANG XG, GU L, et al, 2009. Research methods on natural forest stand structure: a review [J]. *J Zhejiang For Col*, 26(3):434-443. [龚直文,亢新刚,顾丽,2009. 天然林林分结构研究方法综述 [J]. 浙江林学院学报,26(3):434-443.]
- HU L, SHANG KK, ZHANG QF, et al, 2014. Effects of density regulation on the growth and spatial distribution of *Cinnamomum camphora* plantations in Shanghai [J]. *J NW For Univ*, 29(2):20-25. [胡凌,商侃侃,张庆费,2014. 密度调控对香樟人工林林木生长及空间部分的影响 [J]. 西北林学院学报,29(2):20-25.]
- JAROSLAW, PALUCH G, 2007. The spatial pattern of a natural European beech (*Fagus sylvatica* L.)-silver fir (*Abies alba* Mill.) forest: A patch-mosaic perspective [J]. *For Ecol Manag*, 253:161-170.
- LAN GY, LEI RD, 2003. Brief introduction of spatial methods to distribution patterns of population [J]. *J NW For Univ*, 18(2): 17-21. [兰国玉,雷瑞德,2003. 植物种群空间分布格局研究方法概述 [J]. 西北林学院学报,18(2):17-21.]
- LIN XP, YE ZF, PENG B, et al, 2014. Comparative research on pure plantation and mixed forest of *Ormosia hosiei* Hemsl et Wils

- [J]. J Anhui Agric Sci, 42(27):9406-9407. [林雄平, 叶中福, 彭彪, 等, 2014. 红豆树人工纯林与混交林比较研究 [J]. 安徽农业科学, 42(27):9406-9407.]
- LUO WJ, JIN GQ, HE GP, et al, 2010. Studies on growth and wood property of six precious timber species [J]. For Res, 23(6):809-814. [骆文坚, 金国庆, 何贵平, 等, 2010. 红豆树等6种珍贵用材树种的生长特性和材性分析 [J]. 林业科学研究, 23(6):809-814.]
- PENG LQ, 2007. Growth and development regulation of *Ormosia hosiei* Hemsl. Et Wils seedling [J]. Chin For Sci Technol, 21(6):97-99. [彭来全, 2007. 红豆树萌芽及实生苗生长发育规律 [J]. 林业科技开发, 21(6):97-99.]
- SUN WZ, DAI LM, ZHANG YP, 1997. Study of diameter breast-high structure of the main tree in tilia broadleaved korean pine forest [J]. Chin J Ecol, 16(1):19-22. [孙伟中, 代力民, 章一平, 1997. 椴树阔叶红松林群落主要树种径级结构研究 [J]. 生态学杂志, 16(1):19-22.]
- XIE MH, 2015. Structure characteristics of palaeocommunities for the natural forest of *Ormosia hosiei* [J]. Prot For Sci Technol, 7:33-35. [谢慕华, 2015. 红豆树天然古群落结构特征的研究 [J]. 防护林科技, 7:33-35.]
- WANG JD, 2001. The growth effect analysis of the mixed forest of *Ormosia hosiei* and *Cunninghamia lanceolata* [J]. J Fujian For Sci and Technol, 28(1):51-54. [王金盾, 2001. 红豆树杉木混交林生长效果分析 [J]. 福建林业科技, 28(1):51-54.]
- ZHANG JT, 1998. Analysis of spatial point pattern for plant species [J]. Acta Phy Sci, 22(4):344-349. [张金屯, 1998. 植物种群空间分布的点格局分析 [J]. 植物生态学报, 22(4):344-349.]
- ZHANG R, WANG XH, CHEN LY, et al, 2012. Growth and hear-twood characteristics of *Ormosia hosiei* plantations [J]. J Zhejiang A & F Univ, 29(3):412-419. [张蕊, 王秀花, 陈柳英, 等, 2012. 不同红豆树人工林生长和心材特性的差异 [J]. 浙江农林大学学报, 29(3):412-419.]
- ZHENG RJ, 2007. Primary studies on growth difference of filial generation seedlings from superior individual trees of *Ormosia hosiei* [J]. Chin For Sci & Technol, 21(5):38-40. [曾瑞金, 2007. 红豆树优良单株子代苗期生长差异分析 [J]. 林业科技开发, 21(5):38-40.]
- ZHENG SQ, 2000. Study on the growth law of *Ormosia hosiei* in the mixed forest of *O. hosiei* and *Cunninghamia lanceolata* [J]. J Fujian For Sci & Technol, 27(4):28-30. [郑双全, 2000. 红豆树在混交林(红豆×杉木)中的生长规律研究 [J]. 福建林业科技, 27(4):28-30.]
- ZHENG TH, CHEN YP, HE GS, 2007a. Community characteristic of virgin forest of *Ormosia hosiei* Hemsl et Wils [J]. Sub Agric Res, 3(2):117-120. [郑天汉, 陈元品, 何国生, 2007a. 红豆树老林分的群落特征 [J]. 亚热带农业研究, 3(2):117-120.]
- ZHENG TH, HUANG CY, CAI Y, et al, 2007b. A study on the ecological characteristics value of the hundred-year-old virginforest of *Ormosia hosiei* [J]. J Fujian For Sci & Technol, 34(1):33-35, 39. [郑天汉, 黄昌尧, 蔡勇, 等, 2007b. 红豆树百年老林分的主要生态特征值研究 [J]. 福建林业科技, 34(1):33-35, 39.]
- ZHENG TH, LAN SR, 2013. Selection of dominant trees in *Ormosia hosiei* natural forest [J]. J Fujian Agric For Univ (Nat Sci Ed), 42(4):366-370. [郑天汉, 兰思仁, 2013. 红豆树天然林优树选择 [J]. 福建农林大学学报(自然科学版), 42(4):366-370.]
- [J]. 北京农学院学报, 30(1):76-80.]
- WANG WW, CHEN XQ, CHEN Q, et al, 2014. Exogenous SA alleviated Al toxicity by inducing citric acid exudation in Black Soybean roots [J]. Soyb Sci, 33(4):507-513. [王闻闻, 陈宣钦, 陈奇, 等, 2014. 外源SA诱导黑大豆根系柠檬酸分泌缓解Al毒害 [J]. 大豆科学, 33(4):507-513.]
- XIE XD, CHEN TC, WANG GH, et al, 2011. ABC and MATE transporters of plant and the irroles in membrane transport of secondary metabolites [J]. Plant Physiol J, 47(8):752-758. [谢小东, 程廷才, 王根洪, 等, 2011. 植物ABC和MATE转运蛋白与次生代谢物跨膜转运 [J]. 植物生理学报, 47(8):752-758.]
- XU W, YAN SC, 2005. The function of jasmonic acid in induced defence [J]. Acta Ecol Sin, 25(8):2074-2082. [徐伟, 严善春, 2005. 茉莉酸在植物诱导防御中的作用 [J]. 生态学报, 25(8):2074-2082.]
- YAN F, ZHU Y, MULLER C, et al, 2002. Adaptation of H<sup>+</sup>-pumping and plasma membrane H<sup>+</sup>-ATPase activity in proteoid roots of white lupin under phosphate deficiency [J]. Plant Physiol, 129(1):50-63.
- YU L, SUN J, GUO SR, et al, 2012. Antioxidant enzyme activities in root tips of *Vigna unguiculata* L. seedling under aluminum stress [J]. Acta Bot Boreal-Occident Sin, 32(11):2299-2304. [于力, 孙锦, 郭世荣, 等, 2012. 铝胁迫对豇豆幼苗根尖抗氧化系统的影响 [J]. 西北植物学报, 32(11):2299-2304.]
- ZHANG ZG, SONG YQ, GONG M, 2007. Xylenol orange method used for measurement of hydrogen peroxidation in plant tissue [J]. J Yunnan Norm Univ, 27(3):50-54. [李忠光, 宋玉泉, 龚明, 2007. 二甲酚橙法用于测定植物组织中的过氧化氢 [J]. 云南师范大学学报, 27(3):50-54.]
- ZHANG ZL, QU WJ, 2003. Experimental guidance for plant physiology [M]. 3rd. Beijing: Higher Educated Press: 274-277. [张志良, 瞿伟菁, 2003. 植物生理学实验指导 [M]. 第3版. 北京: 高等教育出版社: 274-277.]
- ZHOU Y, 2012. The mechanism of salicylic acid regulation aluminum stress in *Trichosathe skirilowii* Maxim [D]. Zhejiang Norm Univ. [周媛, 2012. 水杨酸对铝胁迫下栝楼生长的调控机理研究 [D]. 浙江师范大学.]
- ZHOU ZE, LUO QS, XIONG JH, et al, 2014. Antimicrobial mechanisms of 3-O-caffeoyl quini acid and 3, 5-di-O-caffeoyl quini acid against *Escherichia coli* [J], Food Sci Technol, 3:228-232. [周志娥, 罗秋水, 熊建华, 等, 2014. 绿原酸、异绿原酸A对大肠杆菌的抑菌机制 [J]. 食品科技, 3:228-232.]

( 上接第 741 页 Continue from page 741 )