

Doi:10.20062/j.cnki.CN 37-1453/N.2023.02.013

# 祁门浙江楠天然林树种组成与空间结构特征分析

陈黎<sup>1</sup>,秦浩龙<sup>2</sup>,刘成功<sup>3</sup>,房震<sup>4</sup>,潘健<sup>1</sup>,尹琛琛<sup>1</sup>,万志兵<sup>1</sup>

(1.黄山学院 生命与环境科学学院,安徽 黄山 245041;2.南京林业大学 林学院,南京 210037;  
3.中国林业科学研究院 林业研究所,北京 100091;4.安徽省祁门县查湾森工采育场,安徽 黄山 245600)

**摘要:**以安徽省祁门县浙江楠(*Phoebe chekiangensis*)天然林为研究对象,探究其树种组成及空间结构特征,为该地区浙江楠的林分结构优化和保护提供理论依据。设置10个20 m×25 m的调查样地,进行每木检尺调查,基于树种组成、林分直径结构及角尺度、混交度、大小比数等林分空间结构参数进行分析研究。结果表明:浙江楠天然林的径级( $\geq 5$  cm)分布主要表现为近似正态分布;浙江楠是优势种,苦槠、枫香、香樟为亚优势种,与其他乔木共同构成了以浙江楠为主的群落;浙江楠天然林林分以中度混交(0.45)为主,处于中庸生长状态,林分内个体大小分化严重,存在较强的种间竞争。优势种浙江楠空间隔离差,面临激烈的种内竞争;浙江楠种群中处于随机分布格局的个体数占48%;平均大小比数为0.43。祁门县浙江楠种群状态相对稳定,更新良好,实践中可依据以上结果和各树种现状,采取择伐、补植等人为干扰措施,优化其种群组成及空间结构,促使群落更新演替成顶级群落。

**关键词:**浙江楠;天然林;林分组成;空间结构;祁门县

**中图分类号:**S718.54 **文献标志码:**A **文章编号:**1673-8020(2023)02-0183-10

树种组成是林分结构中重要的内容之一,其多样性反映了林分树种构成的复杂程度及对光热水等自然资源的均衡利用程度,以及碳储存、生物种质资源保存、森林生态系统稳定等功能的有效性,具有重要的生态学意义<sup>[1]</sup>。林分直径结构是最重要、最基本的林分结构,直接影响林木的树高、干形、材积、材种及树冠等因子的变化,是森林经营管理的理论基础和技术依据<sup>[2]</sup>。林分空间结构反映林分的健康状况、生长潜力和稳定性,它决定林分的发展方向,能够帮助人们了解森林的发展历史、现状和未来发展趋势,同时决定林木之间的竞争关系和生态位<sup>[3-4]</sup>。文献[5-6]提出用来描述林分树种隔离程度的混交度、林木个体大小分化程度的大小比数和林木水平分布格局的角尺度3个空间结构参数,已被国内外有关林分空间结构的研究广泛应用<sup>[7-10]</sup>。

浙江楠(*Phoebe chekiangensis*)属樟科(Lauraceae)楠属(*Phoebe*),为国家二级重点保护渐危

种<sup>[11]</sup>。浙江楠不仅是商品木材“金丝楠木”的原植物之一,因其树冠雄伟、树体高大,更是优良的园林绿化树种。浙江楠天然林分布区主要为浙江、安徽南部、福建北部和江西东部,处于海拔800 m以下的低山丘陵或谷溪沟边,天然分布区狭窄,现存天然资源极少且片段化极为严重<sup>[12]</sup>。浙江楠现存成年大树(胸径>20 cm以上)不足万株,野生分布面积约75 hm<sup>2</sup>,为国家重点保护的个体数量稀少的极小种群<sup>[13]</sup>。因此,对其资源的保护与合理开发刻不容缓。近年来,学者针对浙江楠的研究多集中在苗木繁育、引种栽培、种群遗传多样性和群落结构特征分析等方面<sup>[14-17]</sup>,而对浙江楠种群空间结构的研究鲜见报道。前期调查发现,安徽省祁门县芦溪村碧桃组存在小片浙江楠天然种群,但有一定的人为干预,种群发展受到了一定的非自然制约。吴显坤等<sup>[13]</sup>研究发现,祁门浙江楠种群结构大体呈“金字塔”型,种群内存在大量的幼苗,表明浙江楠具有较高的繁殖率,

收稿日期:2022-11-20;修回日期:2023-02-10

基金项目:安徽省林业科技创新项目(AHLYCX-2019-28);安徽省教育厅自然科学重点项目(KJ2020A0691);安徽省林业科技创新项目(AHLYCX-2022-16);安徽省教育厅项目(SKHS2020B07);安徽省大学生创新创业项目(S202110375094)

通信作者简介:万志兵(1980—),教授,博士,研究方向为林木育种及森林经营。E-mail:zhibingwan@foxmail.com

但幼苗的死亡率极高。树种组成及空间结构等参数是制定浙江楠天然林保护措施的基础。因此,本文以祁门浙江楠天然林分为研究对象,通过分析其树种组成、混交度、大小比、角尺度等结构参数,了解浙江楠这一极小种群的结构特征,认识该地区浙江楠种群的发展历史、现状及未来生长趋势,为祁门浙江楠林分的空间结构优化与保护提供理论参考,同时为相似立地条件下浙江楠人工林的空间结构优化经营奠定理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究区设在安徽省祁门县芦溪村碧桃组,其地理位置:29.35°N,117.50°E,属地形复杂的黄山山脉,海拔80~100 m。土壤类型为黄壤、山地黄壤,土壤厚度在30~150 cm之间,pH为4~7。该林分地处中亚热带北缘,属亚热带季风气候,气候温和,日照较少,雨量充沛,四季分明。年平均温度15.6℃,最高气温39.8℃,最低气温-9.5℃。年降水量1781.4 mm,相对湿度达85%,年平均日照时间1861.6 h,年日照率为45%,全年无霜期约有235 d。

### 1.2 样地调查

样地调查时间为2020年3月,在对祁门芦溪村浙江楠天然林分布进行全面踏查的基础上,选取具有代表性的分布点设立10个样地,每样地为20 m×25 m,总面积为5000 m<sup>2</sup>,对样地内胸径(DBH)≥5 cm的树木进行编号,每木检尺调查,调查指标包括树种的种名、胸径、树高、空间参数、冠幅、活枝下高、郁闭度等。群落郁闭度高达0.90以上。

### 1.3 数据处理

利用Excel进行重要值及空间结构等相关参数的分析与制图。

### 1.4 重要值计算

重要值是评估物种多样性的重要指标,是以综合数值来表示某一物种在群落中的相对重要性。计算公式为:重要值=(相对频度+相对多度+相对显著度)/3,相对显著度以胸高断面积计算。

## 1.5 林分空间结构参数计算

为全面分析祁门浙江楠的林分空间结构,本研究运用混交度( $M$ )、角尺度( $W$ )和大小比数( $U$ )3个参数描述不同树种组成的林分空间结构,计算公式分别参照文献[6,18—19],3个空间结构参数的取值均为5种,分别为0、0.25、0.50、0.75、1.00(表1)。林分空间结构单元的确定参照惠刚盈等<sup>[20]</sup>提出的方法,将林分内任意一株参照树为中心和距该树最近的4株相邻木组成的空间结构组作为分析林分空间结构的基本单元。

表1 林分空间结构参数不同取值时的描述

Tab.1 Description of spatial structure parameters with different values in the forests

各参数取值	状态描述		
	角尺度( $W$ )	混交度( $M$ )	大小比数( $U$ )
0	很均匀	零混交	优势
0.25	均匀	弱度混交	亚优势
0.50	随机	中度混交	中庸
0.75	不均匀	强度混交	劣势
1.00	很不均匀	极强度混交	绝对劣势

## 2 结果与分析

### 2.1 种群树种组成

优势树种指在群落中存在的数量大、生产力高,能较大程度决定群落结构和功能的树种。伴生树种指与优势树种常伴生,对群落过程和功能影响较小的树种。浙江楠林分数量特征见表2。由表2可知,10个样方内胸径大于5 cm的树种共计16种,林木株数为239株,断面积21.77 m<sup>2</sup>,蓄积266.61 m<sup>3</sup>。浙江楠的实测株数、重要值、胸高断面积、蓄积占群落总体的比例分别为51.46%、38.73%、44.10%和43.69%(表2),比例均远大于该群落内的其他树种,是该群落的建群种(Constructive species)和优势种(Dominant species);枫香(*Liquidambar formosana*)、苦槠(*Castanopsis sclerophylla*)和香樟树(*Cinnamomum camphora*)的重要值分别为10.60%、20.72%、12.15%,胸高断面积分别为3.33、3.68、3.36 m<sup>2</sup>,蓄积占群落总体的比例分别为18.08%、12.80%、18.44%,具有一定的显著度,可划作亚优势种(Subdominant species);桂花(*Osmanthus fragrans*)、女贞(*Ligustrum lucidum*)、冬青(*Ilex*

chinensis)、红楠 (*Machilus thunbergii*)、老鸦柿 (*Diospyros rhombifolia*)、南方枳椇 (*Hovenia acerba*)、南酸枣 (*Choerospondias axillaris*) 等在树种株数、重要值、胸高断面积上比例都较小,可划作该群落的伴生种 (Auxiliary species)。枫香株数比例 (6.28%)、重要值 (10.60%) 均较小,且其断面积小于苦槠,但蓄积量远大于苦槠而仅次于浙江楠,胸径最大值达到 110 cm,表明大径级是枫香在该群落中存在的主要方式。群落内浙江楠最

大胸径与最大树高分别为 58.50 cm 和 37.60 m,平均胸径与平均树高为别为 30.07 cm 和 21.67 m。林分主要树种为浙江楠,伴生树种有苦槠、枫香、香樟树、糙叶树、桂花、女贞、冬青等。浙江楠树种在群落内占据明显优势,为优势种,构成主体种群,枫香、苦槠和香樟树为亚优势种,构成一般种群,其余为伴生树种,重要值较小,但是对于维持林分稳定性和较高的树种多样性等具有重要意义。

表 2 浙江楠林分数量特征

Tab.2 Quantitative characteristics of *P.chekiangensis* forests

树种	株数	比例 /%	重要值 /%	断面积 /m <sup>2</sup>	比例 /%	蓄积 /m <sup>3</sup>	比例 /%	胸径/cm			树高/m		
								最大	最小	平均值	最大	最小	平均值
浙江楠 ( <i>Phoebe chekiangensis</i> )	123	51.46	38.73	9.60	44.10	116.47	43.69	58.50	5.50	30.07	37.60	5.50	21.67
枫香 ( <i>Liquidambar formosana</i> )	15	6.28	10.60	3.33	15.30	48.20	18.08	110.00	14.50	46.45	32.00	10.00	22.53
苦槠 ( <i>Castanopsis sclerophylla</i> )	64	26.78	20.72	3.68	16.90	34.12	12.80	43.50	18.60	26.60	28.20	7.00	17.11
香樟树 ( <i>Cinnamomum camphora</i> )	16	6.69	12.15	3.36	15.43	49.15	18.44	103.00	23.00	47.52	35.00	8.00	24.25
糙叶树 ( <i>Aphananthe aspera</i> )	4	1.67	3.43	0.54	2.48	6.16	2.31	58.00	21.80	39.38	30.00	16.00	22.50
桂花 ( <i>Osmanthus fragrans</i> )	2	0.84	1.07	0.07	0.32	0.48	0.18	22.20	18.20	20.20	14.00	13.00	13.50
女贞 ( <i>Ligustrum lucidum</i> )	4	1.66	3.23	0.41	1.87	3.86	1.44	52.50	9.00	32.38	26.00	7.00	12.80
冬青 ( <i>Ilex chinensis</i> )	2	0.84	1.73	0.06	0.28	0.37	0.14	25.50	8.90	17.20	12.00	8.00	10.00
红楠 ( <i>Machilus thunbergii</i> )	1	0.42	0.85	0.02	0.09	0.12	0.05	15.95	15.95	15.95	11.00	11.00	11.00
老鸦柿 ( <i>Diospyros rhombifolia</i> )	1	0.42	1.00	0.12	0.55	1.61	0.59	39.50	39.50	39.50	25.00	25.00	25.00
南方枳椇 ( <i>Hovenia acerba</i> )	1	0.42	0.84	0.01	0.05	0.05	0.02	12.00	12.00	12.00	8.00	8.00	8.00
南酸枣 ( <i>Choerospondias axillaris</i> )	1	0.42	1.23	0.27	1.24	2.63	0.99	58.90	58.90	58.90	18.00	18.00	18.00
青冈栎 ( <i>Cyclobalanopsis myrsinifolia</i> )	1	0.42	0.84	0.01	0.05	0.04	0.02	11.50	11.50	11.50	6.00	6.00	6.00
三角枫 ( <i>Acer buergerianum</i> )	1	0.42	0.91	0.06	0.28	0.70	0.26	27.70	27.70	27.70	22.00	22.00	22.00
甜槠 ( <i>Castanopsis eyrei</i> )	2	0.84	1.68	0.12	0.55	1.27	0.48	33.70	20.70	27.20	21.00	15.00	18.00
榆树 ( <i>Ulmus pumila</i> )	1	0.42	0.99	0.11	0.51	1.38	0.51	38.00	38.00	38.00	23.00	23.00	23.00
林分	239	100.00	100.00	21.77	100.00	266.61	100.00	110.00	5.50	31.29	37.60	5.50	20.18

## 2.2 直径分布特征

按 2 cm 划分径级分析浙江楠天然林分的结构特征,如图 1,林分中 DBH $\geq$ 5 cm 的林木基本呈近似正态分布,林分的直径分布范围较宽,个体数中间径级多两端径级少,且浙江楠占主要部分,为 51.46%,株数随着径级的增大呈先升后降趋势。林分胸径区间在 5~110 cm 之间,株数峰值出现在 19~41 cm 之间;当 DBH 达到 41 cm 后,林木株数呈陡降趋势,之后各径级林木株数趋于平缓,大径级中浙江楠所占比例逐渐减少。从径级分布情况看,浙江楠种群及其林分中幼树 (DBH 为 5~17 cm) 较少,占 9.76% 和 8.79%; 中龄树木 (DBH 为 19~41 cm) 较多,占 86.99% 和 83.26%; 大龄树木 (DBH >41 cm) 较少,占 3.25% 和 7.95%。

## 2.3 林分空间结构特征分析

### 2.3.1 空间结构分布格局分析

角尺度可反映林木个体在水平空间的分布格局,为便于角尺度在实际中的应用,采用惠刚盈等提出的均匀分布 ( $W < 0.475$ )、随机分布 ( $0.475 \leq W \leq 0.517$ ) 和聚集分布 ( $W > 0.517$ ) 的观点。由表 3 可以看出,浙江楠天然林 10 个样地的树种角尺度分布差异较大,如 3 号样地很均匀分布的林木占比为 23%,而 1、5、10 号样地则无均匀分布。样地角尺度取值总体均集中在 0.25~0.75,其中  $W = 0.50$  的林木出现频率最高。 $W = 0.50$  时,频率最大值分布在 9 号样地,为 0.61,最小值为 5 号样地的 0.35,全部样地角尺度  $W = 0.5$  的频率为 48%,表明林分内近一半林木呈随机分布状态;而全林角尺度  $W < 0.50$  和  $W > 0.50$  的频率相同,均为 0.26,表明林分内均匀分布与不均匀分布的林木比例相等,各占 1/4。林分内无极不均匀分布。林分平均角尺度为 0.49 (表 3),属随机分布。



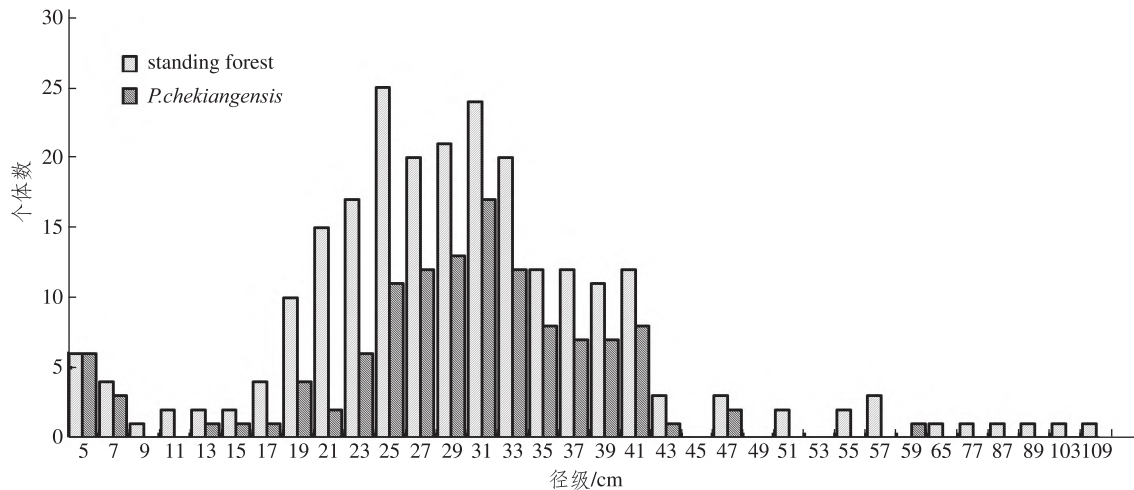


图 1 浙江楠种群及林分各径级结构

Fig.1 Diameter class structure of *P.chekiangensis* and forest

表 3 浙江楠林分各样地空间结构各参数分布

Tab.3 Distributions of spatial structure parameters in different sample plots of *P.chekiangensis*

样地 编号	角尺度 ( $W$ )					混交度 ( $M$ )					大小比数 ( $U$ )				
	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00
1	0.00	0.26	0.45	0.32	0.00	0.00	0.53	0.05	0.16	0.26	0.26	0.21	0.26	0.16	0.11
2	0.03	0.13	0.50	0.33	0.00	0.23	0.13	0.30	0.13	0.20	0.17	0.20	0.23	0.20	0.20
3	0.23	0.12	0.42	0.23	0.00	0.42	0.35	0.00	0.03	0.19	0.23	0.31	0.19	0.08	0.19
4	0.08	0.23	0.38	0.31	0.00	0.08	0.08	0.38	0.23	0.23	0.23	0.15	0.23	0.15	0.23
5	0.00	0.29	0.35	0.35	0.00	0.00	0.00	0.29	0.53	0.18	0.12	0.12	0.18	0.29	0.29
6	0.18	0.18	0.59	0.06	0.00	0.24	0.29	0.24	0.12	0.12	0.24	0.12	0.41	0.06	0.18
7	0.06	0.18	0.42	0.33	0.00	0.24	0.24	0.18	0.06	0.27	0.15	0.30	0.15	0.15	0.24
8	0.16	0.20	0.44	0.20	0.00	0.24	0.48	0.08	0.08	0.12	0.40	0.16	0.16	0.04	0.24
9	0.04	0.14	0.61	0.21	0.00	0.14	0.54	0.14	0.18	0.00	0.29	0.29	0.21	0.18	0.04
10	0.00	0.16	0.53	0.31	0.00	0.06	0.50	0.22	0.09	0.13	0.31	0.25	0.13	0.13	0.19
平均值	0.08	0.18	0.48	0.26	0.00	0.18	0.33	0.18	0.14	0.17	0.24	0.23	0.20	0.14	0.19

从各树种分布格局来看(表 4),林分内多数树种处于随机分布,主要树种浙江楠角尺度  $W = 0.50$  的分布频率为 0.48(图 2),表明近半数浙江楠呈随机分布。另外从枫香、苦槠、香樟树、糙叶树等树种角尺度分布频率来看,随机分布的单元频率同样远大于其他单元,以香樟( $W = 0.52$ )、枫香( $W = 0.52$ )、浙江楠( $W = 0.51$ )最为明显,由于三者占群体数量的比例较大为 64.43%,其分布状况较大程度的影响着整个林分的空间结构分布状态,故整个林分空间分布格局处于随机分布状态。

### 2.3.2 树种的空间隔离程度分析

混交度能够反映树种的空间隔离程度,由表

3 可知,各样地内混交程度差异较大,5 号样地为中强度混交,而 9 号样地弱度到零度混交的达到 68%。从表 5 可以看出,全林分混交度不同取值分布频率呈现先增后减的趋势,在  $M = 0.25$  时达到峰值。林分中处于中弱度混交的林木所占比例最大(50.77%),其次是中度混交(27.69%);而处于零度混交、极强度混交的林木比例仅为林分总体的 18%和 17%(图 2),表明林分中林木以混交为主,林分中单种聚集及参照树周围均为他种的情况较少,大多数林木周围存在 1~2 株他种相邻木与其伴生,林分平均混交度为 0.45,有弱度混交向中度混交发展的趋势。

表 4 林分各树种角尺度分布频率

Tab.4 Uniform angle index distribution frequencies of various tree species in the forests

树种	角尺度分布频率					平均角尺度 (W)
	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00	
浙江楠( <i>Phoebe chekiangensis</i> )	0.05	0.17	0.48	0.30	0.00	0.51
枫香( <i>Liquidambar formosana</i> )	0.07	0.07	0.60	0.27	0.00	0.52
苦槠( <i>Castanopsis sclerophylla</i> )	0.11	0.14	0.50	0.25	0.00	0.47
香樟树( <i>Cinnamomum camphora</i> )	0.00	0.25	0.44	0.31	0.00	0.52
糙叶树( <i>Aphananthe aspera</i> )	0.50	0.25	0.25	0.00	0.00	0.19
桂花( <i>Osmanthus fragrans</i> )	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.25
女贞( <i>Ligustrum lucidum</i> )	0.00	0.25	0.25	0.50	0.00	0.56
冬青( <i>Ilex chinensis</i> )	0.50	0.50	0.00	0.00	0.00	0.13
红楠( <i>Machilus thunbergii</i> )	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
老鸦柿( <i>Diospyros rhombifolia</i> )	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.50
南方枳椇( <i>Hovenia acerba</i> )	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.25
南酸枣( <i>Choerospondias axillaris</i> )	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.75
青冈栎( <i>Cyclobalanopsis myrsinifolia</i> )	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.50
三角枫( <i>Acer buergerianum</i> )	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.25
甜槠( <i>Castanopsis eyrei</i> )	0.00	0.50	0.50	0.00	0.00	0.38
榆树( <i>Ulmus pumila</i> )	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.50
林分	0.08	0.18	0.48	0.26	0.00	0.49

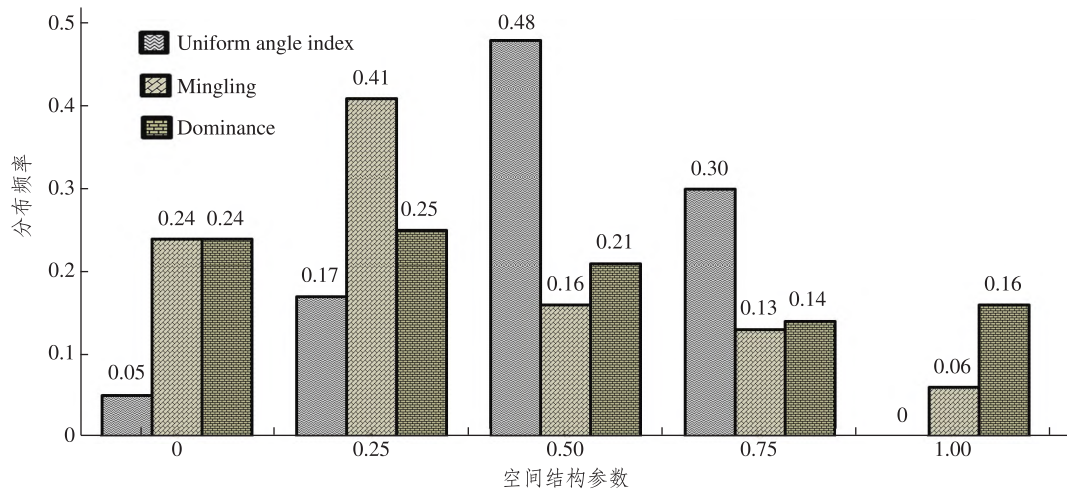


图 2 浙江楠种群空间结构参数分布频率变化

Fig.2 Distribution frequency variation of spatial structure parameters of *P. chekiangensis*

群落优势种浙江楠  $M \leq 0.5$  的分布频率之和为 0.81(表 5),其中又以弱度混交为主,浙江楠株数占比为 50.62%,而强度和极强度混交的数量仅占总 19%,浙江楠的平均混交度为 0.34,处于弱度与中度混交区间,表明该种群具有较低的混交度,空间隔离程度较差。亚优势种苦槠的平均混交度为 0.44,混交状态与优势种浙江楠基本一致。而枫香、香樟种群的平均混交度分别为 0.53、0.67,属于中度与强度混交之间,空间隔离程度较好。林分内其它树种的中、强、极强度混交

所占比例相对较大,而零度与弱度混交所占比例较小,表明这些树种在林分内同一种群聚集在一起的情况较少,与其他树种混交在一起的形式在林分内普遍存在,其中又以女贞、红楠、青冈栎、三角枫、南酸枣 5 类种群最为典型,平均混交度均为 1.00,表明林分内该类种群个体每株都有 4 株不同种相邻木与其伴生,但该 5 类种群在林分内株数占比小、重要值低,因此,对林分整体混交度影响较小。

表 5 林分各树种混交度分布频率  
Tab.5 Mingling degree distribution frequency of various tree species in the forests

树种	混交度分布频率					平均混交度 ( $M$ )
	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00	
浙江楠( <i>Phoebe chekiangensis</i> )	0.24	0.41	0.16	0.13	0.06	0.34
枫香( <i>Liquidambar formosana</i> )	0.00	0.53	0.07	0.13	0.27	0.53
苦槠( <i>Castanopsis sclerophylla</i> )	0.20	0.28	0.22	0.14	0.16	0.44
香樟树( <i>Cinnamomum camphora</i> )	0.00	0.13	0.38	0.19	0.31	0.67
糙叶树( <i>Aphananthe aspera</i> )	0.00	0.25	0.00	0.00	0.75	0.81
桂花( <i>Osmanthus fragrans</i> )	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.75
女贞( <i>Ligustrum lucidum</i> )	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00
冬青( <i>Ilex chinensis</i> )	0.00	0.00	0.00	0.50	0.50	0.88
红楠( <i>Machilus thunbergii</i> )	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00
老鸦柿( <i>Diospyros rhombifolia</i> )	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.50
南方枳椇( <i>Hovenia acerba</i> )	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.50
南酸枣( <i>Choerospondias axillaris</i> )	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00
青冈栎( <i>Cyclobalanopsis myrsinifolia</i> )	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00
三角枫( <i>Acer buergerianum</i> )	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00
甜槠( <i>Castanopsis eyrei</i> )	0.00	0.00	0.00	0.50	0.50	0.88
榆树( <i>Ulmus pumila</i> )	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.25
林分	0.18	0.33	0.18	0.14	0.17	0.45

### 2.3.3 林木的生长优势度分析

大小比数是用来描述林分内林木的大小指标,反映了林木在林分内的地位,一般分为优势位、亚优势位、中庸、劣势位及绝对劣势位。由表 3 可知,10 个样地的树种大小比在各取值范围的频率变化相对于角尺度和混交度来说变化较小。其中 5 号样地平均大小比数最大(0.63),样地整体上处于劣势位;9 号样地平均大小比最小(0.35),样地整体上处于亚优势位。林分整体大小比数分布较为集中,处于 [0.14, 0.24] 之间(图 2)。林分平均大小比数为 0.45,处于优势和亚优势位的林木较多,株数占比分别为 47% 和 49%,处于劣势位和绝对劣势位林木株数占比仅为 33% 及 30%,中庸林木分别为 20% 和 21%。由此可知,样地中林木个体比例差距较为明显,表明林分整体呈现中庸生长状态。

由表 6 可知,各树种大小比数分布频率( $U$ ) 范围为 0.00~1.00,树种间存在优势和绝对劣势状态。林分内处于优势竞争状态的树种有浙江楠、枫香、南酸枣、甜槠、糙叶树、榆树、香樟、女贞;处于劣势竞争状态的为青冈栎、冬青、桂花、红楠、南方枳椇。从  $U$  值来看,当  $U \leq 0.25$  时,枫香的大

小比数分布频率累计达 80%,胸径平均值达 46.45 cm,仅次于香樟,在其存在的结构单元中普遍以大径材存在,具有明显的优势地位,但其株数占比较小,仅为 6.69%,对全林分结构影响较小。作为优势树种的浙江楠,大小比数分布相对均匀,处于明显的优势生态位,但其个体分化较大,生长状态为中庸。林分内苦槠、香樟的个体数较多,胸径大小在林分内处于中间位置,在林分垂直结构中处于有利的生态位, $U=0$  和  $U=0.25$  的累计频率分别达到 29% 和 75%,优势地位均较为明显;南酸枣、榆树,在  $U=0$  时,其大小比数频率均为 100%,表明在由它们构造的结构单元中,该树种在林分垂直结构中占据着优势的生态位,但上述树种在林分株数上占全林比例仅为 0.84%,表明南酸枣、榆树对全林分结构的影响较小。对冬青、红楠、南方枳椇、青冈栎大小比数分析可知(表 6),当  $U=1.00$  时,其大小比数频率均为 1,处于绝对劣势状态,受压迫最为严重。作为林分中株数仅次于优势种浙江楠的苦槠,其大小比数分布较为均匀,在由苦槠构成的结构单元中,占据劣势、绝对劣势地位达 45%,处于中庸偏劣势生长状态。

表 6 林分各树种大小比分布频率

Tab.6 Neighborhood comparison distribution frequency of various tree species in forests

树种	大小比分布频率					平均大小比 ( $U$ )
	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00	
浙江楠( <i>Phoebe chekiangensis</i> )	0.24	0.25	0.21	0.14	0.16	0.43
枫香( <i>Liquidambar formosana</i> )	0.60	0.20	0.07	0.07	0.07	0.20
苦槠( <i>Castanopsis sclerophylla</i> )	0.09	0.20	0.25	0.20	0.25	0.58
香樟树( <i>Cinnamomum camphora</i> )	0.50	0.25	0.25	0.00	0.00	0.19
糙叶树( <i>Aphananthe aspera</i> )	0.25	0.50	0.00	0.00	0.25	0.38
桂花( <i>Osmanthus fragrans</i> )	0.00	0.00	0.00	0.50	0.50	0.88
女贞( <i>Ligustrum lucidum</i> )	0.50	0.25	0.00	0.25	0.00	0.25
冬青( <i>Ilex chinensis</i> )	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00
红楠( <i>Machilusthunbergii</i> )	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00
老鸦柿( <i>Diospyros rhombifolia</i> )	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.50
南方积棋( <i>Hovenia acerba</i> )	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00
南酸枣( <i>Choerospondias axillaris</i> )	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
青冈栎( <i>Cyclobalanopsis myrsinifolia</i> )	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00
三角枫( <i>Acer buergerianum</i> )	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.50
甜槠( <i>Castanopsis eyrei</i> )	0.50	0.00	0.00	0.50	0.00	0.38
榆树( <i>Ulmus pumila</i> )	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
林分	0.24	0.23	0.20	0.14	0.19	0.45

### 3 讨论

树种组成即组成林分的树种成分,是森林重要的林学特征之一。在森林群落的构建之中,不同树种在森林生态功能中亦发挥着不同作用,优势树种作为其中重要的构建者,发挥着主导作用,是开展森林经营及管理的主要目标。祁门浙江楠天然林主要乔木树种 16 种,优势树种为浙江楠,枫香、苦槠和香樟为亚优势种,其余 12 种为群落偶见种,对于维持系统稳定性、丰富树种多样性、促进森林健康发展具有重要作用。林分的年龄结构能够反映林分的生长现状,并能够预测其发展趋势。胡云云等<sup>[21]</sup>研究了长白山天然林林木年龄与胸径的变动关系。结果表明,林木年龄和胸径之间具有显著的正相关性。浙江楠天然林树种的径级( $DBH \geq 5\text{cm}$ )分布表现为近似正态分布,表明林分中树种直径分布呈现集中分布,此结果与何见等<sup>[10]</sup>关于典型异龄林直径结构特征理论基本一致。研究区中浙江楠种群及林分  $DBH < 5\text{ cm}$  的个体本次没做具体数据统计,但经目测其数量较之其他径级为最多,9~17 cm 径级林木数量较少,19~41 cm 径级林木数量分布连续增多后急剧下降,整体上呈“凹”形曲线,表明种群个体初期死亡率高,当胸径达到 19 cm 以后死亡率大幅下降,个体数量趋于稳定,说明种群状态稳定且更新状况良

好。该结果与吴显坤等<sup>[13]</sup>研究的该地区浙江楠种群在结构上大致呈“金字塔”形,即大径级的数量最少,30 cm 左右的中间径级数量适中,5 cm 以下的幼树数量较多结果相一致,同时与陆云峰等<sup>[12]</sup>研究轻干扰的泰顺、永嘉和庆元浙江楠群落中幼苗和胸径为  $2.5\text{ cm} < DBH \leq 7.5\text{ cm}$  幼树较多,胸径在  $7.5\text{ cm} < DBH \leq 2.5\text{ cm}$  数量较少的现象类似。

林分空间结构是林分重要特征之一,对于评估林分稳定性、林分状态、变化趋势和林分优化调整具有重要意义<sup>[20,22]</sup>。该林分林木为随机分布,其中浙江楠、苦槠的角尺度值均为随机分布,这表明优势种或建群种能较大程度决定群落结构和功能。林分的结构越合理,稳定性越高,功能性越好<sup>[23-24]</sup>。随着林分生长和演替的不断推进,顶级群落的水平空间结构形式表现为随机分布<sup>[25-26]</sup>,因此,为了进一步促进浙江楠林分向随机分布格局发展,可将林分结构单元聚集体( $W = 1$  或  $W = 0.75$ )及均匀体( $W = 0$  或  $W = 0.25$ )中的非珍贵相邻木作为潜在的调整目标<sup>[27]</sup>。

由大小比数概念可知, $U$  的值越小,表明参照树胸径大于相邻木胸径的株数越多,结构单元中参照树越占优势。研究区浙江楠天然林分优势木较少,林分内树种间个体大小分化严重( $U$  在 0.00~1.00 之间),优势树种和绝对劣势树种并存,存在较强的种间竞争压力,其中枫香、香樟、女贞和



南酸枣大小比  $U$  均处于 0.00~0.25, 表明其在群落中处于优势及亚优势生长状况, 而作为数量最多的浙江楠种群处于亚优势向中庸过渡生长状态。为提高浙江楠在群落中的竞争能力, 应将其结构单元中胸径大于浙江楠树种 ( $U=1$  或  $U=0.75$ ) 的相邻木(如枫香、香樟、女贞等)作为潜在调整目标<sup>[28-29]</sup>。

研究区林分属弱度向中度混交过渡 ( $M=0.45$ )。优势树种浙江楠 ( $M=0.34$ ) 与亚优势树种苦槠 ( $M=0.44$ ) 的空间隔离程度较差, 面临较激烈的种内竞争, 因其在林分中占据较大株数比例, 从而较大程度的影响并降低林分混交度。为提高林分的树种多样性结构稳定性, 将林分中  $M=0$  或 0.25 的同种聚集的结构单元的相邻木作为潜在的调整目标<sup>[30]</sup>。从各样地看, 3 号样地均匀分布达 35%、零度混交和弱度混交达 77%, 5 号样地处于生长劣势林木达 58%, 需要重点进行结构优化调整, 同时也应考虑区域、气候、人口等因素对林分结构的影响<sup>[31-32]</sup>, 以维持和提高浙江楠林分的稳定性。导致这种现象的原因与浙江楠天然林分布在村庄附近, 其存在的性质类似于乡村风水林, 长期以来人们有意识的保护珍贵树种浙江楠而对其它树种进行疏伐、间伐等干扰措施有关。特别是 3 号和 5 号样地所处位置靠村庄更近, 地势比较平坦, 人类活动比较频繁, 对其干扰程度较大所致。

因此, 在对祁门浙江楠未来天然林的管理过程中, 可按照林分平均角尺度与林分内各林木的角尺度、混角度、大小比数等参数制定以角尺度和混交度为主要调整目标的结构优化方案, 在综合考虑树种组成、直径结构、3 个空间结构参数的基础上, 尽可能留存角尺度 0.50 的林木, 促进其逐步向近自然的混交林群落演替。本文研究结果对优化祁门县浙江楠种群结构和人工干扰更新方案的实施具有十分重要现实意义。

## 4 结论

安徽省祁门浙江楠天然林中物种较少, 该林分主要是以浙江楠为优势种, 苦槠、香樟和枫香为亚优势种所构成的群落。浙江楠及其林分树种的径级 ( $DBH \geq 5\text{cm}$ ) 分布表现为近似正态分布。林分中林木总体上呈现随机分布格局, 且参照树周围均为他种和单种聚集的现象较少, 但树种间

个体大小分化严重, 存在较强的种内和种间竞争。随着自然演替的发展, 浙江楠种群处于亚优势向中庸过渡生长状态, 其与林分中其他树种间混交程度较低, 空间隔离较差, 需进行人工调整。针对现有林况, 可采取合理补植与择伐林木, 适当调整苦槠、枫香、香樟等树种的空间分布格局, 改善林分混交状态与郁闭度, 为浙江楠幼苗幼树提供良好生长条件, 促进其林分自然更新及浙江楠树种大径材定向培育, 维持合理的林木径级分布。通过自然更新和人工干预措施提高林木空间的随机分布, 促使其群落加速更新演替成顶级群落。

## 参考文献:

- [1] 朱锦迪, 韦新良, 汤孟平, 等. 林分树种组成多样性指数的构建[J]. 浙江农林大学学报, 2022, 39(2): 262-271.
- [2] 王梅, 达光文, 王英成, 等. 祁连山青海云杉天然林分径级结构空间分布格局分析[J]. 林业资源管理, 2013(6): 127-132.
- [3] 惠刚盈, 胡艳波, 刘瑞红. 森林观察研究中的林分空间优势度分析方法[J]. 温带林业研究, 2019, 2(1): 1-6.
- [4] AGUIRRE O, HUI G Y, GADOW K V, et al. An analysis of spatial forest structure using neighborhood-based variables[J]. Forest Ecology and Management, 2003, 183(1/2/3): 37-145.
- [5] 惠刚盈. 基于相邻木关系的林分空间结构参数应用研究[J]. 北京林业大学学报, 2013, 35(4): 1-9.
- [6] 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(1): 39-44.
- [7] POMMERENING A. Evaluating structural indices by reversing forest structural analysis[J]. Forest Ecology and Management, 2006, 224(3): 266-277.
- [8] PARROTT L, LANGE H. Use of interactive forest growth simulation to characterise spatial stand structure[J]. Forest Ecology and Management, 2004, 194(1): 29-47.
- [9] 张连金, 王天罡, 封焕英, 等. 京西油松混交林枯立木空间结构特征[J]. 生态学杂志, 2019, 38(4): 937-944.
- [10] 何见, 肖正利, 陈卫军, 等. 天然次生阔叶混交林空间结构特征分析: 以湖北省远安县为例[J]. 中南林业科技大学学报, 2020, 40(8): 7-16.
- [11] 于永福. 中国野生植物保护工作的里程碑: 《国家重点保护野生植物名录(第一批)》出台[J]. 植物杂志, 1999(5): 3.
- [12] 陆云峰, 裴男才, 朱亚军, 等. 浙危植物浙江楠群落结构及叶片性状多样性[J]. 应用生态学报, 2018,



- 29(7):2101-2110.
- [13] 吴显坤,谢春平,汤庚国,等.祁门浙江楠种群结构与数量动态研究[J].四川农业大学学报,2015,33(3):258-264.
- [14] 李因刚,柳新红,马俊伟,等.浙江楠种群表型变异[J].植物生态学报,2014,38(12):1315-1324.
- [15] 李因刚,柳新红,马俊伟,等.追施氮肥对浙江楠容器苗生长和叶片养分状况的影响[J].南京林业大学学报(自然科学版),2016,40(1):33-38.
- [16] 王良衍,应震,赵绮,等.浙江楠纯林与异龄混交林群落结构比较[J].福建林业科技,2015,42(1):50-54.
- [17] 谢春平,吴显坤,薛晓明,等.浙江楠适生区与气候环境关系的分析[J].四川农业大学学报,2020,38(3):264-271.
- [18] 胡艳波,惠刚盈.一种新的基于混交度的林木种群分布格局测度方法[J].北京林业大学学报,2015,37(1):9-14.
- [19] 惠刚盈,KLAUS V G, MATTHIAS A.一个新的林分空间结构参数:大小比数[J].林业科学研究,1999(1):4-9.
- [20] 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.
- [21] 胡云云,亢新刚,赵俊卉.长白山地区天然林林木年龄与胸径的变动关系[J].东北林业大学学报,2009,37(11):38-42.
- [22] 雷相东,唐守正.林分结构多样性指标研究综述[J].林业科学,2002(3):140-146.
- [23] 向博文,曾思齐,甘世书,等.湖南次生栎林空间结构优化[J].中南林业科技大学学报,2019,39(8):33-40.
- [24] 范胜煌,许鲁东,吴联杯,等.云中山天然南岭栲林分空间结构分析[J].林业勘察设计,2017,37(1):23-27.
- [25] 曹小玉,李际平,胡园杰,等.杉木生态林林分间伐空间结构优化模型[J].生态学杂志,2017,36(4):1134-1141.
- [26] 张亚昊,佃袁勇,黄光体,等.不同演替阶段马尾松林林分空间结构对物种多样性的影响[J].生态学杂志,2021,40(8):2357-2365.
- [27] 赵中华,惠刚盈.21世纪以来我国首创的森林经营方法[J].北京林业大学学报,2019,41(12):50-57.
- [28] 赵中华,惠刚盈,胡艳波,等.基于大小比数的林分空间优势度表达方法及其应用[J].北京林业大学学报,2014,36(1):78-82.
- [29] POMMERENING A, WANG H X, ZHAO Z H. Global woodland structure from local interactions; new nearest-neighbour functions for understanding the ontogenesis of global forest structure[J]. Forest Ecosystems, 2020, 7(2):290-300.
- [30] 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].林业科学研究,2001(1):23-27.
- [31] ZHANG M M, FAN S H, YAN X R, et al. Relationships between stand spatial structure characteristics and influencing factors of bamboo and broad-leaved mixed forest[J]. Journal of Forest Research, 2020, 25(2):83-91.
- [32] PRESTON R A, GEORGE R P, JEFFREY S W, et al. Spatial dispersion of trees in an old-growth temperate hardwood forest over 60 years of succession[J]. Forest Ecology and Management, 2003, 180(1):475-491.

## Tree Species Composition and Spatial Structure Characteristics of Natural *Phoebe chekiangensis* Forest in Qimen County

CHEN Li<sup>1</sup>, QIN Haolong<sup>2</sup>, LIU Chenggong<sup>3</sup>, FANG Zhen<sup>4</sup>, PAN Jian<sup>1</sup>, YIN Chenchen<sup>1</sup>, WAN Zhibing<sup>1</sup>

(1.College of Life and Environment Sciences, Huangshan University, Huangshan 245041, China;

2.College of Forestry, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China;

3.Research Institute of Forestry Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China;

4.Chanwan Forest Industry Quarry in Anhui Qimen, Huangshan 2456002, China)

**Abstract:** The natural *Phoebe chekiangensis* forest in Qimen County, Anhui Province being taken as the research object, this study aims to analyze the spatial distribution pattern and tree species composition, so as to provide theoretical basis for the optimization and adjustment of stand space structure. Ten survey plots with each

area of 20 m × 25 m were set up and measured per wood. The spatial structure indexes—uniform angle index ( $W$ ), mingling ( $M$ ) and dominance ( $U$ ), tree species composition and diameter (DBH), were analyzed. The results indicated that the main distribution type of natural *P. chekiangensis* forest were approximately normal distribution curve. *P. chekiangensis*, as dominant species, and *Castanopsis sclerophylla*, *Liquidambar formosana*, and *Cinnamomum camphor* as subdominant species, together with other arbor species formed the community mainly composed of *P. chekiangensis*; The natural stand of *P. chekiangensis* was mainly medium mingling (0.45), and was in a state of moderate growth; The differentiation of individual size was serious in the stand, and there was strong interspecific competition; The dominant species of *P. chekiangensis* had poor spatial isolation and faced intense intraspecific competition. The number of individuals in the random distribution pattern accounted for 48%; The average size ratio was 0.43. The population status of *P. chekiangensis* in Qimen County was relatively stable and the regeneration was good; In practice, according to the above results and the status of each tree species, the population composition and spatial structure of *P. chekiangensis* could be optimized by human interference measures such as selective cutting and replanting, so as to promote the regeneration and succession of the community into the top community.

**Keywords:** *Phoebe chekiangensis*; natural forest; stand composition; spatial structure; Qimen County

(责任编辑 李维卫)

(上接第 171 页)

**Abstract ID:** 1673-8020(2023)02-0165-EA

## Influencing Factors of Visitors' Purchase Intention of Ceramic Cultural and Creative Products of Jingdezhen Based on Bayesian Network

DAI Li<sup>1</sup>, LIU Yu<sup>2</sup>, HE Xiaoqian<sup>3</sup>

(1. School of Earth Sciences, East China University of Technology, Nanchang 330013, China;

2. Institute of Literature and Culture, Jiangxi Academy of Social Sciences, Nanchang 330077, China;

3. School of Economics and Management, East China University of Technology, Nanchang 330013, China)

**Abstract:** By using the Bayesian network, the influencing factors of visitors' purchase intention of ceramic cultural and creative from products multiple dimensions were analyzed with the data obtained through the visitor questionnaire. The results are as follows. Most of visitors are willing to buy ceramic cultural and creative products, and product factors have the greatest impact on purchase intention. The age of visitors is the most important factor affecting purchase intention, and income level also has an important impact. When the probability of high purchase intention is set to 100%, product factors and consumption context factors have a crucial impact on purchase intention. The design of ceramic cultural and creative products should take into account the dual needs of aesthetics and practicality. In order to enhance the purchase intention of visitors. Designers should strengthen the “uniqueness” of cultural and creative products and the “interest” of product content for the new generation of groups. Operators need to stimulate the positive emotions of visitors from the aspects of service attitude, commodity display and shopping environment, so as to enhance the purchase intention of visitors.

**Keywords:** ceramic cultural and creative products; purchase intention; influence factors; Bayesian network

(责任编辑 李秀芳)