

江西武夷山南方铁杉原始林空间结构特征分析

湛 斌^{1,2}, 赵家豪^{1,2}, 陈 斌^{1,2}, 关庆伟^{1,2*}

(1. 南京林业大学 生物与环境学院, 江苏 南京 210037; 2. 南京林业大学 南方现代林业协同创新中心, 江苏 南京 210037)

摘 要:为明晰南方铁杉的龄组多样性、空间结构特征及其演替趋势,以传统林分因子及丰富度指数、Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数、Pielou 均匀度指数 4 个多样性指数为基础,结合混交度、角尺度、大小比数、开敞度 4 个林分空间结构参数对江西武夷山南方铁杉原始林进行综合分析。结果表明,乔木层共包括 62 个树种,南方铁杉重要值高居首位,是乔木层的建群种和优势种;混交度均值为 0.64,属强度混交;南方铁杉在空间结构单元中以优势木为主;角尺度均值为 0.64,为较低程度的聚集分布;开敞度均值为 0.11,生长空间严重不足。通过各样带间的比较,发现南方铁杉在 1 790~1 810 m 海拔范围内结构最为合理,其空间结构特征表现为混交度、大小比数、角尺度均较为稳定,龄组结构特征表现为各龄组比例合理且成熟林龄组株数达到最大。南方铁杉的龄组结构分布连续,在该原始林的林分空间结构中占据有利的生态位,种群更新能力因海拔差异而不同,可以预见,其分布有向中等海拔地区集中的趋势。

关键词:江西武夷山;南方铁杉;原始林;空间结构;演替趋势

中图分类号:S758.53 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2019)04-0192-07

Analysis of the Spatial Structure of *Tsuga chinensis* var. *tchekiangensis* Virgin Forest in Jiangxi Wuyishan National Nature Reserve

ZHAN Bin^{1,2}, ZHAO Jia-hao^{1,2}, CHEN Bin^{1,2}, GUAN Qing-wei^{1,2*}

(1. College of Biology and the Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China;

2. Co-Innovation Center for Sustainable Forestry in Southern China, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China)

Abstract: To investigate the age-group diversity, the spatial structure and the succession trend of *Tsuga chinensis* var. *tchekiangensis* in Jiangxi Wuyishan National Nature Reserve. Four spatial structure indices (i. e. mingling, angle index, neighborhood comparison and opening degree) together with several traditional indices (e. g. species composition, diameter at breast height) and four diversity indexes (i. e. species richness, Simpson index, Shannon-Wiener index and Pielou evenness index) of the forest were measured and analyzed. The results showed that: The forest was composed by 62 tree species and *T. chinensis* var. *tchekiangensis* was the major dominant species, whose importance value was the highest. The forest was highly mixed at whole stand level, manifested by an average mingling degree of 0.64. *T. chinensis* var. *tchekiangensis* composed the majority of dominant trees in the spatial structural units. The horizontal pattern of the stands displayed a low degree of aggregative distribution, with a uniform angle index of 0.64. The growing space for most trees in the forest was severely insufficient, indicated by an average opening degree of only 0.11. By comparing with all the belt transects, it showed that its age-group and spatial structure in the altitude of 1 790—1 810 m was the most reasonable. Its spatial structure characteristics showed that mingling, neighborhood comparison and angle index were more stable, and the structure characteristics of the age

收稿日期:2017-09-19 修回日期:2018-01-11

基金项目:国家科技支撑项目“环境友好型城镇景观林构建技术研究与示范”(2015BAD07B06);江苏高校优势学科建设工程资助项目(PAPD)。

作者简介:湛 斌,男,硕士在读,研究方向:森林结构与多样性。E-mail:zb.hans@163.com

*通信作者:关庆伟,男,教授,研究方向:城市森林生态与经营。E-mail:guanjuan999@163.com

group was reasonable and the number of mature age-group reached the maximum. Age-group structure of *T. chinensis* var. *tchekiangensis* was continuous. It occupied a favorable niche in the stand space structure of the virgin forest and its ability to update was different due to various elevations,so there existed a tendency that its habitat offset to the middle elevation areas.

Key words:Jiangxi Wuyishan National Nature Reserve; *Tsuga chinensis* var. *tchekiangensis*; virgin forest; spatial structure; succession trend

原始林指林龄较大、且未受到明显人类干扰、具有天然结构、功能完整的森林生态系统,因此,原始林一般已经演替为顶级群落,即是一个稳定的、自我维持的、与环境最适应的、质量最高的成熟森林群落^[1]。原始林作为森林生态系统的重要组成部分,与人类生活密切相关的服务功能有保持土壤、供给新鲜空气、调节气候和基因库保存等^[2]。林分空间结构是驱动林分生长的重要因子^[3],且只有在充分考虑林分空间特征的情况下,才能更好地维持和改善其生态条件^[4]。因此,研究原始林的物种组成及其多样性、空间结构特征,对于明晰原始林生态系统的生态过程以及演替趋势具有重要指导意义。南方铁杉(*Tsuga chinensis* var. *tchekiangensis*)作为国家三级重点保护植物,是松科铁杉属的常绿高大乔木,树高可达 30 m,多生于海拔 600~2 100 m 处,为中国特有第三纪残遗植物之一,濒危种,目前在松科起源与迁移等方面具有很高的科研价值^[5]。

江西武夷山国家级自然保护区作为南方铁杉分布范围内保护完整的典型原始林,前人已做了一些研究。郭连金^[6]等应用静态生命表对南方铁杉的种群数量动态进行了研究,结果表明,该地区的南方铁杉种群为衰退型种群,更新困难。祁红艳^[7]等进一步研究发现,其种群更新困难的重要原因是生长缓慢和林下受压早衰等。而袁荣斌^[8]等却应用 GIS 方法,研究发现该地区的南方铁杉种群自然更新良好。由此可见,南方铁杉的更新能力始终受到关注,且争议较大^[9]。森林空间结构是森林生长过程的驱动因子^[3],对森林的演替趋势具有决定性作用。虽然过往的研究已对南方铁杉的种群进行分析,但林分空间结构的相关分析还相对较少。本研究以江西武夷山南方铁杉原始林为对象,以传统林分因子和多样性指数为基础,结合混交度、角尺度、大小比数、开敞度 4 个林分空间结构参数进行综合分析,旨在了解江西武夷山原始林的径阶多样性、空间结构特征及其演替趋势,以期为江西武夷山南方铁杉原始林的保护提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究地概况

研究地位于江西省上饶市铅山县江西武夷山国

家级自然保护区内,地处武夷山脉的西北坡(117°39'30"—117°55'47" E,27°48'11"—28°00'35" N),保护区总面积 16 007 hm²,其中核心区面积 4 835 hm²,缓冲区面积 2 021 hm²,试验区面积 9 151 hm²。主峰黄岗山为华东大陆最高峰,海拔为 2 158 m^[8]。该地属亚热带东部季风区,年平均气温 14.2℃,年平均降水量 2 583 mm,年平均相对湿度 84%,年平均日照时间 964 h。土壤多为山地棕壤,土层平均厚度为 20~40 cm^[10]。该地区的植被垂直分布明显,属中亚热带常绿阔叶林带,在保护区内完整地保存有 1 560 hm² 南方铁杉天然原始森林资源。主要建群种为南方铁杉,伴生种有多脉青冈(*Cyclobalanopsis multinervis*)、闽皖八角(*Illicium minwanense*)等,下层木有雷公鹅耳枥(*Carpinus viminea*)、鹿角杜鹃(*Rhododendron latoucheae*)、白檀(*Symplocos paniculata*)等。草本层主要有莎草(*Cyperus* sp.)、苔草(*Carex* sp.)、荩草(*Arthraxon hispidus*)等^[11]。

1.2 样地设置与调查方法

在对林分全面踏查的基础上,记录样地的群落类型、海拔、坡向、土壤等立地条件因子。调查样地内胸径>1 cm 的所有林木特征值,即树木的相对 XY 坐标、种名、胸径、树高、冠幅等,利用这些特征值计算该林分乔木层的多样性指数及空间结构参数。调查发现各样带均位于山脉西北坡,为原始林,树种组成基本相似,郁闭度较高,林下灌草种类稀少。总体树种组成、各树种密度、平均树高、平均胸径、平均枝下高等调查结果详见表 1。

1.3 林分概况和龄组结构分析

重要值(IV)=(相对多度+相对频度+相对优势度)/3。其中,相对多度=(某物种的个体数/全部物种的个体数)×100%;相对频度=(某物种的频度/全部物种的频度之和)×100%;相对优势度=(某物种的胸高断面面积/全部物种胸高断面面积之和)×100%。

依据国家森林资源清查技术标准,将样地中的南方铁杉进行龄组划分为幼龄林(径级为 0~40 cm)、中龄林(径级为 40~60 cm)和成熟林(径级>60 cm)。

1.4 林分多样性指数和空间结构参数

本研究中的多样性分析中选用的 4 个多样性指数为丰富度指数、Simpson 指数、Shannon-Weiner 指数及 Pielou 均匀度指数^[12-14], 计算公式及指标含

义详见表 2。

本研究空间结构分析中选用的 4 个空间结构参数为混交度^[15] (M_i)、大小比数^[16] (U_i)、角尺度^[17-18] (W_i)、开敞度^[19] (B_i), 计算公式及指标含义详见表 3。

表 1 主要树种组成及其概况 (重要值>2%)

Table 1 Species composition and profiles of main trees (importance value>2%)

树种	株数/(株·hm ⁻²)	平均胸径/cm	平均树高/m	枝下高/m
南方铁杉(<i>Tsuga chinensis</i> var. <i>tchekiangensis</i>)	170	35.97	16.82	7.79
闽皖八角(<i>Illicium minwanense</i>)	291	9.25	7.15	4.37
多脉青冈(<i>Cyclobalanopsis multinervis</i>)	131	21.68	9.96	5.08
鹿角杜鹃(<i>Rhododendron latoucheae</i>)	180	7.45	5.85	2.46
云锦杜鹃(<i>Rhododendron fortunei</i>)	55	14.27	7.69	3.51
微毛柃(<i>Eurya hebeclados</i>)	59	8.55	6.55	3.58
贵定栲叶树(<i>Clethra cavaleriei</i>)	52	8.07	6.43	3.45
青冈(<i>Cyclobalanopsis glauca</i>)	32	23.68	9.89	3.62
老鸱铃(<i>Styrax hemsleyanus</i>)	27	14.11	8.64	4.67
天目紫茎(<i>Stewartia gemmata</i>)	21	19.58	10.97	6.26

表 2 多样性指数说明

Table 2 Description of diversity indexes

多样性指数	公式	备注
丰富度指数	S	S—样地中某一层 次物种的总数
Simpson 指数	$D=1-\sum_{i=1}^S P_i^2$	S—样地中某一层 次物种的总数 P_i —物种 i 的个 体数占总个体数 的比例
Shannon-Weiner 指数	$H=-\sum_{i=1}^S P_i \log_2 P_i$	S—样地中某一层 次物种的总数 P_i —物种 i 的个 体数占总个体数 的比例
Pielou 均匀度指数	$J=H/\ln S$	H —Shannon-Wie- ner 指数 S—样地中某一层 次物种的总数

表 3 空间结构参数说明

Table 3 Description of spatial structure indices

空间结构参数	公式	备注
混交度	$M_i=\frac{1}{4}\sum_{j=1}^4 V_{ij}$	当参照树 i 与 j 株相 邻木非同种时, V_{ij} =1; 反之, V_{ij} =0
大小比数	$U_i=\frac{1}{4}\sum_{j=1}^4 K_{ij}$	当相邻木 j 比参照 树 i 小时, K_{ij} =0; 反 之, K_{ij} =1
角尺度	$W_i=\frac{1}{4}\sum_{j=1}^4 Z_{ij}$	当第 j 个 α 角小于 标准角 α_0 时, Z_{ij} = 1; 反之, Z_{ij} =0
开敞度	$B_{ij}=\frac{1}{4}\sum_{j=1}^4 D_{ij}/H_{ij}$	D_{ij} 为基株到第 j 株 相邻树的距离, H_{ij} 为第 j 株相邻树的 高度

2 结果与分析

2.1 林分基本特征分析

样带位于武夷山脉北段的西北坡, 样地内土层和枯落物层较厚, 裸岩率和含石率较低, 郁闭度较高, 人为干扰程度极低, 乔木、亚乔木层植物丰富度很高, 分为乔木、亚乔木、灌木、草本 4 层。依据前人的调查结果, 发现南方铁杉主要分布在海拔 1 750 m 以上^[6-8], 本研究以海拔 1 750 m 为起始高度, 沿山脉平行方向设置宽度为 20 m 的样带, 8 条样带的基本特征详见表 4, 调查到的胸径>1 cm 的乔木、亚乔木树种共计 62 种 7 180 株, 隶属 25 科 42 属, 林分总密度高达 2 243 株/hm², 林木分布比较密集。

由表 4 可见, 丰富度指数随海拔的升高先降低后升高, 最小值出现在样带 6 所在的海拔位置。Simpson 指数随海拔的升高而逐渐降低。Shannon-Weiner 指数随海拔的升高先降低后升高, 最小值同样出现在样带 6 所在的海拔位置。Pielou 均匀度指数随海拔的升高不断波动, 2 个峰谷值分别出现在样带 4 和样带 6 所在的海拔位置。

乔木层以南方铁杉为优势种, 亚乔木层以闽皖八角(*Illicium minwanense*)和多脉青冈(*Cyclobalanopsis multinervis*)为优势种, 其重要值均>10%。乔木、亚乔木层其他伴生树种有鹿角杜鹃(*Rhododendron latoucheae*)、云锦杜鹃(*Rhododendron fortunei*)和天目紫茎(*Stewartia gemmata*)等。

如表 5 所示, 按相对密度大小排列, 居前 3 位的树种依次是闽皖八角、鹿角杜鹃、南方铁杉。其中闽皖八角所占比例超过 20%。按相对频度大小排列,

表 4 各样带概况及乔木层多样性指数统计
Table 4 Statistics of diversity indexes of main trees in different samples

样带	最低海拔 /m	最高海拔 /m	平均海拔 /m	林分密度 /(株·hm ⁻²)	丰富度 指数	Simpson 指数	Shannon-Weiner 指数	Pielou 均匀度指数
1	1 759.3	1 783.8	1 768.3	1 975	46	0.908	4.155	1.085
2	1 768.1	1 789.7	1 780.1	2 060	44	0.899	4.046	1.069
3	1 777.6	1 811.7	1 792.7	1 840	42	0.889	3.975	1.064
4	1 788.2	1 819.1	1 805.1	1 855	43	0.868	3.687	0.980
5	1 797.3	1 826.5	1 814.9	2 100	34	0.866	3.562	1.010
6	1 804.7	1 834.6	1 821.8	2 680	32	0.867	3.414	0.985
7	1 812.7	1 836.5	1 825.6	2 575	36	0.857	3.594	1.003
8	1 820.2	1 835.3	1 829.0	2 843	44	0.854	3.595	0.950

表 5 主要树种重要值(重要值>2%)
Table 5 Importance value of main trees
(importance value>2%)

树种	相对 频度	相对 密度	相对 显著度	重要 值
南方铁杉(<i>T. chinensis</i> var. <i>tchekiangensis</i>)	10.99	13.79	53.73	26.17
闽皖八角(<i>I. minwanense</i>)	12.58	23.60	6.08	14.09
多脉青冈(<i>C. multinervis</i>)	8.28	10.62	15.04	11.32
鹿角杜鹃(<i>R. latoucheae</i>)	10.03	14.60	2.44	9.02
云锦杜鹃(<i>R. fortunei</i>)	5.25	4.46	2.73	4.15
微毛柃(<i>E. hebeclados</i>)	5.10	4.79	1.05	3.64
贵定桫欏树(<i>C. cavaleriei</i>)	5.73	4.22	0.83	3.59
青冈(<i>C. glauca</i>)	3.50	2.60	4.38	3.49
老鸱铃(<i>S. hemsleyanus</i>)	3.03	2.19	1.31	2.18
天目紫茎(<i>S. gemmata</i>)	2.55	1.70	1.97	2.07

居前 3 位的树种依次是闽皖八角、鹿角杜鹃、南方铁杉。按相对显著度大小排列,居前 3 位的树种依次是南方铁杉、多脉青冈、闽皖八角,其中南方铁杉的占比超过 50 %。综合来看,南方铁杉的重要值高居首位,达 26.17%。

由图 1 发现,南方铁杉总体上分布较不均匀,在幼龄林龄组上分布较多。就不同样带而言,龄组分布差别很大,海拔较低的样带 1、样带 2、样带 3、样带 4 龄级分布特征表现为集中分布在幼龄林龄组以及中龄林龄组中的比例接近,而海拔较高的样带 5、样带 6、样带 7、样带 8 则表现为更多集中在幼龄林龄组上。此外,样带 4 所处的海拔范围内,成熟林龄组株数占比达到极大值。

2.2 混交度及大小比数

由表 6 可见,8 个样带中南方铁杉混交度的总体均值达 0.64,且分布在中度混交、强度混交 2 个等级上的频率高达 76%,零度混交、弱度混交单元比例之和不足 10%,其中零度混交单元比例仅占 1%。

从不同样带的混交度统计结果来看,南方铁杉的混交度随海拔的升高先降低后升高,样带 6 所在的海拔位置,其平均混交度最小,为 0.44。除样带 6

中的南方铁杉在各个混交程度上均有分布外,其他样带中的南方铁杉均不存在零度混交的情况,其中样带 1 中的零度混交和弱度混交均不存在。样带 5、样带 7 中的南方铁杉以中度混交和强度混交为主,占比接近 80%。样带 2、样带 3、样带 4 中的南方铁杉以中度混交、强度混交和极强度混交为主,占比超过 90%。由表 7 进一步分析不同龄组的南方铁杉的混交度可发现,各龄组南方铁杉均以中度混交为主,且中龄林龄组的南方铁杉混交度最大,幼龄林龄组的南方铁杉混交度最小,说明南方铁杉幼树的空间分布过于成片集中,抑制了其他树种的幼树更新和生长。

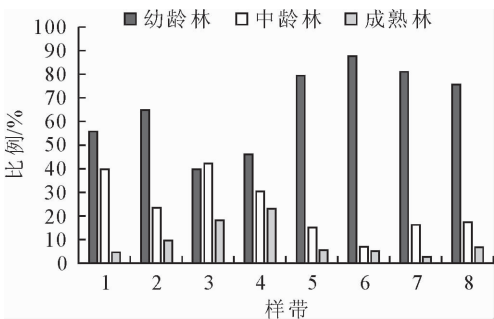


图 1 南方铁杉龄组分布统计

Fig. 1 Age-group distributions of *T. chinensis* var. *tchekiangensis*

鉴于树高和冠幅的测定精度较低,本文基于胸径数据进行大小比数分析。大小比数的大小,对应相邻木大于参照树所占的比例大小。由表 6 可知,8 个样带中南方铁杉的大小比数总体均值为 0.16,总体分布很不均匀,集中分布在优势地位。

分析不同样带的大小比数统计结果可发现,在样带 6 所在的海拔位置,南方铁杉的大小比数达到最大值 0.30。所有样带中南方铁杉的大小比数都最多分布在优势地位上,但是样带 5、样带 6 中南方铁杉的大小比数在优势地位上的占比有所下降。尤其是样带 6 中南方铁杉的大小比数在优势和亚优势地位上的占比已相近。与样带 4、样带 5、样带 6、样带 7、样带 8 中南方铁杉的大小比数分布特征截然

表 6 各样带南方铁杉混交度和大小比数统计

Table 6 Mingling and neighborhood comparison of *T. chinensis* var. *tchekiangensis* in different samples

样带	混交度					均值	大小比数(胸径)					均值
	0	0.25	0.5	0.75	1		0	0.25	0.5	0.75	1	
1	0	0	0.28	0.51	0.21	0.72	0.72	0.19	0.07	0	0.02	0.11
2	0	0.02	0.35	0.47	0.16	0.69	0.76	0.20	0.04	0	0	0.07
3	0	0.02	0.42	0.34	0.22	0.69	0.86	0.10	0.02	0.02	0	0.05
4	0	0.02	0.57	0.27	0.14	0.63	0.77	0.11	0.05	0.05	0.02	0.11
5	0	0.14	0.45	0.34	0.07	0.57	0.48	0.24	0.14	0.07	0.07	0.25
6	0.09	0.23	0.43	0.21	0.04	0.44	0.36	0.28	0.21	0.11	0.04	0.30
7	0	0.11	0.43	0.35	0.11	0.58	0.62	0.19	0.09	0.05	0.05	0.18
8	0	0.17	0.34	0.28	0.21	0.62	0.52	0.21	0.10	0.10	0.07	0.25
均值	0.01	0.09	0.41	0.35	0.15	0.64	0.64	0.19	0.09	0.05	0.03	0.16

表 7 各龄组南方铁杉混交度和大小比数统计

Table 7 Mingling and neighborhood comparison of *T. chinensis* var. *tchekiangensis* in different age-groups

龄组	混交度					均值	大小比数(胸径)					均值
	0	0.25	0.5	0.75	1		0	0.25	0.5	0.75	1	
幼龄林	0.04	0.14	0.43	0.32	0.10	0.58	0.50	0.25	0.15	0.08	0.04	0.24
中龄林	0	0.08	0.37	0.38	0.18	0.67	0.82	0.13	0.05	0.00	0.01	0.06
成熟林	0	0.04	0.48	0.35	0.13	0.64	0.98	0.02	0	0	0	0.01

不同的是,样带 1、样带 2、样带 3 中南方铁杉的大小比数在劣势和极劣势地位上几乎没有分布。由表 7 可见,进一步分析不同龄组南方铁杉的大小比数发现,南方铁杉的大小比数均值随龄组的增大而减小,即优势木占比随龄组的增大而增加。

2.3 角尺度及开敞度

由表 8 可见,8 个样带中南方铁杉角尺度的总体均值为 0.64(0.64>0.517),总体在 $W_i=0.5$ 等级上的分布频率最大,而在 $W_i=0.5$ 等级两侧分布的频率则相差较大,其中 $W_i=0$ 等级与 $W_i=0.25$ 等级上的南方铁杉株数占比仅为 12 %,而 $W_i=0.75$ 等级与 $W_i=1$ 等级上的南方铁杉株数占比为 41%。

从不同样带中南方铁杉的角尺度统计结果来看,其随海拔的升高而上下波动较大,但在样带 4、样带 5、样带 6 所在的海拔位置时相对稳定在 0.62,

与总体角尺度值较为接近。所有样带中均不存在 $W_i=0$ 等级的南方铁杉,且均在 $W_i=0.5$ 等级上出现最大分布,其两侧分布特征也均与总体特征相似。由表 9 可见,进一步分析不同龄组南方铁杉的角尺度可发现,各龄组上的南方铁杉均表现为聚集分布,且其聚集程度随龄组增大而增大。

由表 8 可知,8 个样带中南方铁杉开敞度的总体均值为 0.11,总体表现为生长空间充裕度严重不足或不足这 2 种状态。从不同样带中南方铁杉的开敞度统计来看,低海拔位置的南方铁杉整体上明显比高海拔位置的南方铁杉开敞度要大,且在样带 5 所在的海拔位置第 1 次出现了开敞度的零值和均值的最小值。由表 9 可见,进一步分析不同龄组南方铁杉的开敞度可发现,其开敞度随龄组的增大而略微增大。

表 8 各样带南方铁杉角尺度和开敞度统计

Table 8 Angle index and opening degree of *T. chinensis* var. *tchekiangensis* in different samples

样带	角尺度					均值	开敞度		均值
	0	0.25	0.5	0.75	1		最小值	最大值	
1	0	0.14	0.51	0.16	0.19	0.60	0.02	0.35	0.11
2	0	0.22	0.42	0.18	0.18	0.58	0.03	0.23	0.13
3	0	0.02	0.56	0.08	0.34	0.69	0.03	0.26	0.12
4	0	0.11	0.48	0.21	0.20	0.63	0.03	0.32	0.11
5	0	0.07	0.57	0.18	0.18	0.62	0.01	0.30	0.09
6	0	0.13	0.48	0.15	0.24	0.62	0	0.27	0.10
7	0	0.08	0.49	0.16	0.27	0.66	0.03	0.21	0.10
8	0	0.20	0.28	0.14	0.38	0.67	0	0.22	0.09
均值	0	0.12	0.47	0.16	0.25	0.64	—	—	0.11

表 9 各龄级南方铁杉角尺度和开敞度统计

Table 9 Angle index and opening degree of *T. chinensis* var. *tchekiangensis* in different age-groups

龄组	角尺度					均值	开敞度		均值
	0	0.25	0.5	0.75	1		最小值	最大值	
幼龄林	0.01	0.12	0.50	0.17	0.23	0.63	0	0.348	0.10
中龄林	0.00	0.08	0.51	0.19	0.22	0.64	0	0.266	0.11
成熟林	0	0.17	0.40	0.10	0.33	0.65	0.021	0.317	0.12

3 结论与讨论

通过对江西武夷山南方铁杉原始林的多样性及空间结构特征分析发现:从树种组成上看,南方铁杉树种株数占比较大,其重要值高居首位,说明南方铁杉既是该原始林群落的优势种,更是建群种。从龄组统计分析的结果来看,随着海拔的变化,龄组分布差别很大,海拔位置较低的样带中,南方铁杉种群龄组结构呈金字塔型,而海拔位置较高的样带中南方铁杉种群的幼树极为丰富,更新能力突出。这与丁巧玲^[20]等在湖南南方铁杉群落中的研究结果有一定的相似性,说明南方铁杉在相对较低的海拔位置上出现了一定程度的更新困难。

从各样带的空间结构各参数来看,该林分南方铁杉的总体混交度均值达 0.64,说明总体混交程度较高,属强度混交,各样带南方铁杉的混交度均值随海拔的升高先降低后升高。该林分南方铁杉的总体大小比数均值为 0.16,说明南方铁杉总体在空间结构单元内,绝大多数以优势木为主。强度混交以及较适中的大小比数值,充分说明了该南方铁杉种群林分达到了多树种、异龄的复层结构,该结构为天然林的理想结构。该林分南方铁杉的总体角尺度均值为 0.64,说明南方铁杉总体水平分布格局为较低程度的聚集分布。各样带南方铁杉的角尺度均值随海拔的升高而上下波动较大,但在样带 4、样带 5、样带 6 所在的海拔位置相对稳定在 0.62,与总体角尺度均值较为接近。该林分南方铁杉的总体开敞度均值为 0.11,说明南方铁杉的总体生长空间处于严重不足的状态。根据该林分密度,可计算出平均每木所占的生长面积约为 4.46 m²,充分说明了南方铁杉生长空间不足的现状。从各样带南方铁杉开敞度的统计来看,较低海拔位置的南方铁杉整体上明显比较高海拔位置的南方铁杉开敞度要大。较高海拔位置幼龄组群落下出现的较大角尺度以及极小开敞度充分说明了南方铁杉幼树过于密集分布,生长空间狭小且结构不合理。

从各龄组的空间结构各参数来看,各龄组南方铁杉均以中度混交为主,中龄林龄组的南方铁杉混交度最高,符合群落自然演替规律,该龄组空间结构

处在最合理状态。各龄组南方铁杉的大小比数均值随径级的增大而减小,即说明南方铁杉越成熟优势越显著,而南方铁杉幼龄林的生长会受限于其他树种。各龄组南方铁杉的角尺度均表现为聚集分布,但其聚集程度有随龄组增大而增大的趋势,与张志祥^[21]等在九龙山的相关研究结果并不一致,原因可能是由于纬度、坡向等环境因素差异造成的,具体原因还有待进一步研究。各龄组南方铁杉的开敞度随径级的增大而略微增大,说明南方铁杉的更新能力正常,但南方铁杉幼龄林由于光照及种间竞争等因素受抑制于大径级植株,可能会出现一定程度的更新困难,这与杨清培^[11]等的研究结果相一致。

综上所述,南方铁杉显然在该原始林的林分空间结构中占据有利的生态位,且其龄级结构分布连续,可以预见,在种间竞争中将持续保持优势地位。这与冯祥麟^[22]等在贵阳以及李晓铁^[23]、黄宪刚^[24]等在广西南方铁杉群落中的研究结果有所差异,最重要的原因应该是南方铁杉研究地所处的海拔和经纬度位置差异。此外,海拔 1 790~1 810 m 处南方铁杉的龄组结构最为合理,说明在该海拔范围内有利于南方铁杉正常更新的最佳环境条件。海拔 1 810 m 以上时,虽然幼龄林组分较大,但其演替为中龄林的转化成功率较低,探析其空间结构特征可明显发现该现象是由过小的混交度和开敞度造成的,因此可考虑通过适度的人为干扰,并结合基于林分空间结构分析的择伐方法^[25],对较高海拔的幼龄组群落结构和空间分布格局进行调整,旨在降低对南方铁杉幼树生长的抑制效应,进而促进南方铁杉的种群更新以及幼树的正常生长,同时进一步提高该群落的系统多样性和稳定性^[26],从而更好地保护南方铁杉濒危种群。

参考文献:

[1] 陶晶,温庆忠,华朝朗.原始林研究现状与展望[J].林业调查规划,2016,41(2):38-42.

[2] HILBERT J,WIENSZYK A. Old-growth difinitions and management; a literature review[J]. BC Journal of Ecosystems and Management,2007,8(1):15-31.

[3] PRETZSCH H. Analysis and modeling of spatial stand structures, methodological considerations based on mixed beech-

larch stands in Lower Saxony[J]. Forest Ecology and Management, 1997, 97(3): 237-253.

[4] BASKENT E Z, KELES S. Spatial forest planning: a review [J]. Ecological Modelling, 2005, 188(2): 145-173.

[5] 李林初. 若干铁杉属植物核型的比较研究[J]. 广西植物, 1988, 8(4): 324-328.

[6] 郭连金, 洪森荣, 夏华炎. 武夷山自然保护区濒危植物南方铁杉种群数量动态分析 [J]. 上饶师范学院学报, 2006, 26(6): 74-78.

[7] 祁红艳, 金志农, 杨清培, 等. 江西武夷山南方铁杉生长规律及更新困难的原因解释[J]. 江西农业大学学报, 2014, 36(1): 137-143.

QI H Y, JIN Z N, YANG Q P, *et al.* Growing law and cause of poor regeneration of *Tsuga chinensis* var. *tchekiensis* in Jiangxi Wuyishan National Nature Reserve[J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2014, 36(1): 137-143. (in Chinese)

[8] 袁荣斌, 邹思成, 兰文军, 等. 江西武夷山国家级自然保护区南方铁杉资源调查初报[J]. 江西林业科技, 2012, 39(4): 37-39.

[9] 杨清培, 钟安建, 金志农, 等. 江西武夷山南方铁杉群落分类及更新能力评价[J]. 江西农业大学学报, 2014, 36(6): 1275-1283.

YANG Q P, ZHONG A J, JIN Z N, *et al.* A community classification of natural forest of *Tsuga tchekiensis* and its regeneration capacity[J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2014, 36(6): 1275-1283. (in Chinese)

[10] 刘信中, 方福生. 江西武夷山自然保护区科学考察集[M]. 北京: 中国林业出版社, 2001.

[11] 杨清培, 金志农, 裴利洪, 等. 江西武夷山南方铁杉更新格局及代际关联性分析[J]. 生态学杂志, 2014, 33(4): 939-945.

[12] 马克平. 生物群落多样性的测度方法 I α 多样性的测度方法: 上[J]. 生物多样性, 1994, 2(3): 162-168.

MA K P. A method of biodiversity- α diversity measurement: i [J]. Chinese Biodiversity, 1994, 2(3): 162-168. (in Chinese)

[13] 马克平, 刘玉明. 生物群落多样性的测度方法 I α 多样性的测度方法: 下[J]. 生物多样性, 1994, 2(4): 231-239.

MA K P. A method of biodiversity- α diversity measurement: ii [J]. Chinese Biodiversity, 1994, 2(4): 231-239. (in Chinese)

[14] 马克平, 黄建辉, 于顺利, 等. 北京东灵山地区植物群落多样性的研究 II 丰富度、均匀度和物种多样性指数[J]. 生态学报, 1995, 15(3): 268-277.

MA K P, HUANG J H, YU S L, *et al.* Plant community diversity in Dongling Mountain, Beijing, China II: species richness, evenness and species diversity[J]. Acta Ecologica Sinica, 1995, 15(3): 268-277. (in Chinese)

[15] 汤孟平, 唐守正, 雷相东, 等. 两种混交度的比较分析[J]. 林业资源管理, 2004(4): 25-27.

[16] 惠刚盈, GADOW K V, 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.

[17] 惠刚盈, GADOW K V, 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 G Y, GADOW K V, ALBERT M. The neighbourhood pattern——a new structure parameter for describing distribution of forest tree position[J]. Scientia Silvae Sinicae, 1999, 35(1): 37-42. (in Chinese)

[18] 惠刚盈, GADOW K V, 胡艳波, 等. 林木分布格局类型的角尺度均值分析方法[J]. 生态学报, 2004, 24(6): 1225-1229.

HUI G Y, GADOW K V, HU Y B, *et al.* Characterizing forest spatial distribution pattern with the mean value of uniform angle index [J]. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(6): 1225-1229. (in Chinese)

[19] 罗耀华, 陈庆诚, 张鹏云. 兴隆山阴暗针叶林空间格局及其利用光能的对策[J]. 生态学报, 1984, 4(1): 10-20.

LUO Y H, CHEN Q C, ZHANG P Y. The spatial pattern of coniferous forest in Xinglong Shan Mountain and its strategies in using sun light energy [J]. Acta Ecologica Sinica, 1984, 4(1): 10-20. (in Chinese)

[20] 丁巧玲, 刘忠成, 王蕾, 等. 湖南桃源洞国家级自然保护区南方铁杉种群结构与生存分析[J]. 西北植物学报, 2016, 36(6): 1233-1244.

DING Q L, LIU Z C, WANG L, *et al.* Structure and survival analysis of *Tsuga chinensis* populations in Taoyuandong National Nature Reserve, Hunan Province[J]. Acta Bot. Boreal. - Occident. Sin. , 2016, 36(6): 1233-1244. (in Chinese)

[21] 张志祥, 刘鹏, 刘春生, 等. 珍稀濒危植物南方铁杉种群结构与空间分布格局研究[J]. 浙江林业科技, 2009, 29(1): 7-14.

[22] 冯祥麟, 胡刚, 刘正华. 贵阳高坡南方铁杉群落特征及种群动态调查研究[J]. 贵州林业科技, 2011, 39(2): 26-29.

FENG Y X, HU G, LIU Z H. Research on the community characteristics and population dynamics of *Tsuga chinensis* var. *tchekiensis* on Gaopo in Guiyang City[J]. Guizhou Forestry Science and Technology, 2011, 39(2): 26-29. (in Chinese)

[23] 李晓铁. 猫儿山林区南方铁杉生长调查初报[J]. 广西林业科技, 1992, 21(1): 24-26.

LI X T. Report of growth investigation of *Tsuga chinensis* var. *tchekiensis* in Maor Mountain[J]. Guangxi Forest Science and Technology, 1992, 21(1): 24-26. (in Chinese)

[24] 黄宪刚, 谢强. 猫儿山南方铁杉种群结构和动态的初步研究 [J]. 广西师范大学学报: 自然科学版, 2000, 18(2): 86-90.

HUANG X G, XIE Q. A Preliminary study on the structure and dynamics of the *Tsuga chinensis* population on Maorshan Mountain[J]. Journal of Guangxi Normal University, 2000, 18(2): 86-90. (in Chinese)

[25] 郭怀林, 齐伟. 秦岭中段华北落叶松人工林林分结构优化研究 [J]. 西北林学院学报, 2017, 32(5): 144-149.

GUO H L, QI W. Forest stand structure optimization of *Larix principis-rupprechtii* plantation in the central area of Qinling Mountains[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2017, 32(5): 144-149. (in Chinese)

[26] 姜鹏, 孟京辉, 陆元昌, 等. 马尾松近自然改造初期的混交度与分布格局[J]. 西北林学院学报, 2014, 30(5): 147-150.

JIANG P, MENG J H, LU Y C, *et al.* Minglings and spatial distribution of *Pinus massoniana* plantation in the initial stage of near-nature transformation[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2014, 30(5): 147-150. (in Chinese)