西北林学院学报 2019,34(3):149-153
Journal of Northwest Forestry University

doi:10.3969/j.issn.1001-7461.2019.03.23

八一镇湿地公园林分空间结构分析

尹惠妍,张志伟*,苏卫静,杨 光

(西藏农牧学院 资源与环境学院,西藏 林芝 860000)

摘 要:以西藏林芝市八一镇湿地公园的高山松混交林为对象,从林分空间结构因子聚集指数、角尺度、混交度、大小比数等4个方面对湿地公园的林分空间结构进行研究。八一镇湿地公园森林群落类型主要为高山松针阔混交林,高山松针阔混交林中北京杨、藏川杨、旱柳、高山松等树种的组成很丰富,在研究标准地中不同树种的组成为3高3藏3北1旱。结果表明,八一镇湿地公园的结构较为合理,林分处于相对稳定状态,林分平均角尺度约为0.45,群落呈均匀分布格局;群落的混交度平均约0.412 5,所以呈中度混交状态。大小比数约0.36,有将近30%在该林分空间结构中处于优势地位;聚集指数约0.938 9,所以林木有随机分布趋势。通过适当增加树种多样性,制定相应的补植改造、抚育间伐等措施,可进一步改善湿地公园的林分结构。

关键词:八一镇湿地公园;林分空间结构;混交度;大小比数

中图分类号:S731.2 **文献标志码**:A **文章编号**:1001-7461(2019)03-0149-05

Spatial Structure of Stands of Bayi Township Wetland Park

YIN Hui-yan, ZHANG Zhi-wei*, SU Wei-jing, YANG Guang

(*Resources & Enviroment College, Tibet Agriculture & Animal Husbandry University, Nyingchi* 860000, *Tibet, China*)

Abstract: Taking *Pinus densata* mixed forest in the Wetland Park of Bayi Township, Nyingchi City, Tibet as the research object, this paper studied the forest spatial structure of the wetland park from four aspects: aggregation index, angle scale, mixing degree, and size ratio. The forest community was mainly *P. densata* theropencedrymion. There were abundant species in mixed *P. densata* and broad-leaved alpine pines, such as *Populus szechuanica* var. *tibetica*, *Salix matsudana*, *Populus beijingensis* and so on. In the standard study plot, the tree species composition of *P. densata*, *P. szechuanica* var. *tibetica*, *P. beijingensis*, and *S. matsudana* was 3∶3∶3∶1. The results showed that the average angle scale of the stand was about 0.45, and the community was uniformly distributed. The average mixing degree of the community was about 0.412 5, so it was moderately mixed with strong isolation. The size ratio was about 0.36, and nearly 30% of them were in dominant position in the spatial structure of the stand. The aggregation index was about 0.938 9, so there was no random distribution trend of the forest.

Key words: Bayi Township Wetland Park; stand spatial structure; mixed degree; size ratio

林分空间结构是林分中树木及其属性在空间的分布,可作为林分生长过程的调控因子[1],可直接反映森林结构,对林分未来的发展具有决定性作用[2]。研究林分空间结构状况,可找出林分空间结构中存在的不合理因素,为林分结构的优化调整提供依据[3-4]。曹小玉[5]等曾对福寿林场不同龄组的杉木生态公益林进行林分空间结构的研究,采用固定样地调查与样地复查相结合的方法,利用6个林分空间结构指数,对不同龄组的林分间伐补植前后的林分空间结构进行研究。董灵波[6]等以帽儿山樟子松

收稿日期:2018-09-05 **修回日期**:2018-10-02

基金项目:国家重点研发计划(2017YFC0506801);林学卓越农林人才教育培训计划改革试点项目。

作者简介:尹惠妍,女,讲师,研究方向:林业3S技术应用。E-mail:huiyanyin@163.com

* **通信作者**:张志伟,男,讲师,研究方向:水土保持及荒漠环境演变。E-mail:aiwoweige@163.com

人工林为研究对象,以常用的空间结构参数为出发点,以可视化模拟为手段,以林分空间结构优化为目标,按照森林演替的一般规律构建樟子松人工林的空间结构优化方案,并与林分三维可视化模拟模型进行耦合,建立樟子松人工林三维可视化经营模拟系统。王智勇[7]等利用威布尔分布函数(weibull)和角尺度、混交度、大小比 3 个林分空间结构参数对落叶松天然次生林的水平结构及空间结构进行综合分析。八一镇湿地公园位于新老城区中间位置,人类活动影响较大,随着城市规模的不断扩张,人们对湿地公园游憩效益方面的需求不断增强,有必要对湿地公园的森林空间结构及其结构优化进行分析。本研究通过分析八一镇湿地公园林分空间结构特征,了解现有林分的现状,以期为该湿地公园的林分更新抚育以及结构优化提供基础信息。

1 研究区概况

研究区在西藏自治区林芝市巴宜区八一镇境内,巴宜区是西藏林芝地区的下辖县,位于 29°21′—30°15′N,93°27′—95°17′E,地处西藏东南部、雅鲁藏布江北岸、尼洋曲下游,雅鲁藏布江与尼洋河流经境内并在此相汇。境内平均海拔约 3 000 m,素有“西藏江南”之美誉。

该区域受印度洋暖湿气流的影响,境内属温带湿润季风气候,适宜的气候条件孕育了该地区丰富的植物资源,植物资源呈垂直分带,从亚热带到寒带都有生长,素有“绿色宝库”之称。调查地位于别日神山东南方向,林分类型是针叶与落叶阔叶混交林,以高山松(*Pinus densata*)为优势树种,乔木层其他树种有:藏川杨(*Populus szechuanica* var. *tibetica*)、旱柳(*Salix matsudana*)、雪松(*Cedrus deodara*)等。下层的灌木有:宽翅蔷薇(*Rosa platyacantha*)、川滇高山栎(*Quercus aquifolioides*)、忍冬属(*Lonicera*)、小檗属(*Berberis*)、栒子属(*Cotoneaster*)等植被。

2 研究方法

2.1 标准地调查方法

于 2016 年 10 月进行野外调查,选择有代表性的地块(表 1),设置标准地 1 块,标准地大小设置为 30 m×30 m,标准地按照一般林业野外调查要求设置,记录标准地经纬度、海拔、地貌类型、土壤、群落类型、郁闭度、优势树种等林分调查因子[8]。采用相邻网格法,把标准地划分为 4 个 15 m×15 m 的小样方,在样方内依照 S 形的路线方式进行每木检尺,所调查林木起测径阶>5 cm,记录树木的相对 x、y 坐标(以每个小样方的西南角为坐标原点),利用参照树的特征值计算林分空间结构参数[9-10]。该标准地地理位置 94°21′49″E,29°38′44″N,海拔约 2 957 m。本研究以标准地内每一株调查木为参照树,与其周围 4 株最近相邻木共同组成一个林分空间结构单元。

表 1 标准地基本情况

Table 1 The basic situation of sampling plot

树种组成	株数	株数比例/%	胸径/cm			树高/m		
			最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值
藏川杨	26	24.53	25.6	6.8	15.68	19.6	5.8	12.90
北京杨	32	30.19	24.5	6.2	14.56	18.6	6.9	11.94
高山松	36	33.96	26.2	5.1	13.84	17.7	5.3	11.82
旱　柳	12	11.32	22.6	8.5	14.11	16.8	6.2	11.18

2.2 林分直径分布

在对标准地进行每木检尺的基础上,依 2 cm 径阶整化对标准地内的树木胸径进行统计,使用 Excel2010 进行数据处理,借助 SPSS19.0 进行数据分析,绘制林木直径分布图,依据林分直径分布图分析林分内树木的年龄特征及其竞争状况。

2.3 林分空间结构参数计算

常用的林分空间分布格局指数包括聚集指数、角尺度、混交度、大小比数等[11]。

聚集指数是林分内最近邻单株距离的平均值与随机分布状态下的期望平均距离之比。其公式为:

$$R=\frac{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}r_i}{\frac{1}{2}\sqrt{\frac{F}{N}}} \tag{1}$$

式中:R 为聚集指数,$R\in[0,2.149\ 1]$;r_i 为第 i 株树木到其最近邻木的距离;N 为标准地内树木株数;F 表示标准地面积。

角尺度(W_i)是描述林木水平分布格局的空间结构参数,对于生长于同一空间的林木间,任意 2 株相邻木与参照树的夹角有 2 个,选择较小角 α,与标准角 α_0($\alpha_0=72°$)进行比较。则角尺度的定义为 α 角小于标准角的个数占 4 个邻接夹角的比例[12-13]。

其公式为：

$$W_i=\frac{1}{4}\sum_{j=1}^{4}z_{ij} \tag{2}$$

式中：当第 j 个 α 角＜标准角 α_0 时，$z_{ij}=1$，否则 $z_{ij}=0$。角尺度有 5 种可能取值，每种取值对应一种林木分布方式，$W_i=0$，表示林木分布很均匀，$W_i=0.25$，此时林木为均匀分布；$W_i=0.5$，说明林分内林木为随机分布；$W_i=0.75$，表示林分内林木分布不均匀；$W_i=1$，说明林木分布很不均匀，为团状分布。

树种混交度表示混交林中不同树种的混交程度及空间隔离程度。其公式为：

$$\overline{M}=\frac{1}{N}\sum_{j=1}^{N}V_{ij} \tag{3}$$

式中：M_i 表示对象木 i 所处的空间结构单元树种多样性混交度，n 为对象木 i 的 n 株最近木中不同树种个数，n 为最近 i 邻木株数（本研究 $n=4$）。当对象木 i 与第 j 株最近邻木属不同树种时，$V_{ij}=1$；否则，$V_{ij}=0$[14]。

大小比数（U_i）是描述参照树 i 与周围 n 株最近相邻木的大小关系的量化指标。它被定义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[15]。公式为：

$$\overline{V}=\frac{1}{N}\sum_{j=1}^{N}K_{ij} \tag{4}$$

式中：若相邻木 j 比参照树 i 小，$K_{ij}=0$；否则，$K_{ij}=1$。

3　结果与分析

3.1　林分基本特征

从表 1 中可以看出，该标准地的主要乔木树种有高山松、藏川杨、北京杨以及旱柳 4 种乔木树种，林分郁闭度约在 0.7 以上，林分密度约为 1 177 株·hm^{-2}，高山松为优势树种，伴生树种主要有藏川杨、北京杨以及旱柳，在所研究标准地中不同树种的组成为 3 高 3 藏 3 北 1 旱，林下灌木有宽翅蔷薇、川滇高山栎等。按照标准地内的树种组成，该研究标准地为针阔混交林。根据标准地调查，该研究标准地的平均胸径为 14.54 cm，胸径范围为 5.1～26.20 cm，标准地平均树高为 12.05 m，树高变化范围为 5.3～19.6 m。综合各项指标分析表明，在标准地林分结构中高山松种群个体分布范围最广，蓄积量比例最大，占据着上层空间，林木生长状况尚好。

3.2　林分直径分布规律

林木直径分布规律见图 1，从图 1 中可以看出，该标准地内林木径阶的最小值为 6 cm，最大的径阶为 26 cm。其中 14、16 cm 径阶的林木株数所占比例最大，株数比例分别为 41.51%、20.75%。＜14 cm径阶的林木株数比例高于 16 cm 径阶之后的林木株数，＜14 cm 径阶的林木株数比例约为 25.47%，而＞16 cm 径阶的林木株数约为 12.26%。林木直径分布规律属于截尾正态分布，且偏度为 0.713（偏度值＞0，亦称正偏或左偏），峰度值为 2.138。这表明，林分内幼、中龄林比重较大，八一镇湿地公园多为人工林，林分多为人工培植或更新形成，图 1 的直径分布规律符合该研究区域的林分特征。

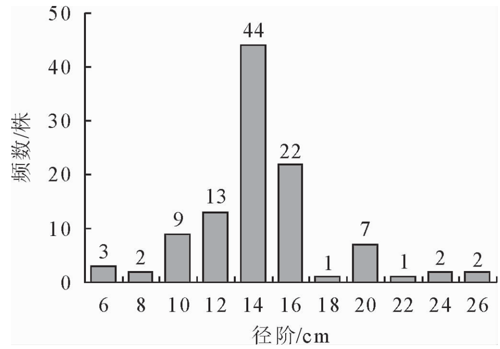

图 1　林分直径分布

Fig. 1　Forest diameter distribution chart

3.3　林分空间结构分析

3.3.1　林木分布格局　经分析，本林分的聚集指数 R 为 0.9389，聚集指数 R 的置信区间＝[0.873 511，1.137 479]，当聚集指数 R 小于置信区间下限时有聚集分布的趋势，当 聚集指数 R 大于置信区间上限时表明林木有均匀分布的趋势，否则为随机分布。故林分具有随机分布趋势。标准地内树木的分布格局见图 2。

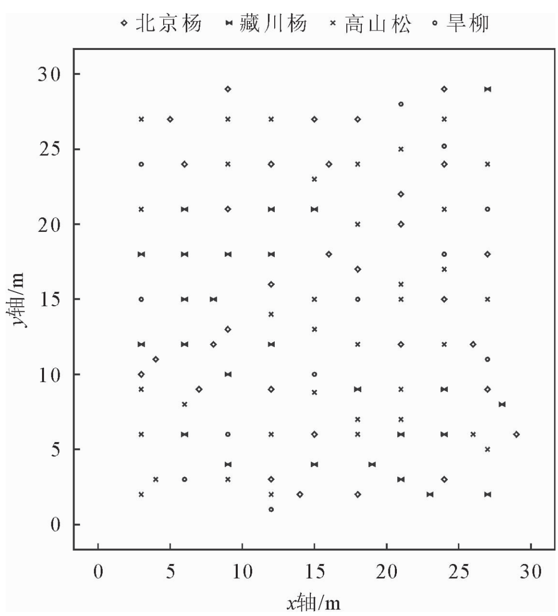

图 2　标准地林木分布

Fig. 2　Tree distribution chart of the sample plot

3.3.2 林木角尺度分析 角尺度反映目标树与周围相邻木的空间分布格局，若角尺度 $W_i=0$，则表明目标树周围的相邻木分布特别均匀；若角尺度 $W_i=1$，此时表明目标树周围的相邻木分布很不均匀。从表 2 中可以看出，各树种的角尺度在 5 个取值上都有分布，以全林分为总体各树种随机分布的林木株数较多，所占比例约为 36%；很不均匀分布的林木比例最小，所占比例约为 7%。惠刚盈[16]等用 3 倍标准差原理提出了林木分布格局类型的角尺度均值评判标准，当 $0.475 \leqslant W_i \leqslant 0.517$ 时，林分为随机分布，若 $W_i<0.475$，林分为均匀分布，若 $W_i>0.517$，林分团状分布。藏川杨与旱柳在标准地内的分布为随机分布，高山松与北京杨为均匀分布，从整个标准地角度来看，标准地的空间分布格局为均匀分布。该湿地公园大部分为人工林，林木分布较为规律，经过林木个体间的竞争以及人工更新等作用，部分林木的分布呈现随机分布的趋势。

表 2 各树种角尺度频率分布

Table 2 Species angle dimension frequency distribution

树种	角尺度 W_i					
	0	0.25	0.5	0.75	1	均值
高山松	0.15	0.26	0.32	0.19	0.08	0.45
藏川杨	0.09	0.17	0.47	0.23	0.04	0.49
北京杨	0.12	0.31	0.37	0.13	0.07	0.43
旱　柳	0.09	0.27	0.39	0.12	0.13	0.48
全林分	0.12	0.28	0.36	0.17	0.07	0.45

3.3.3 树种混交度分析 树种多样性混交度(M_i)是描述林分中不同树种混交程度的重要指标，同时用来指示同一林分中不同树种的空间隔离程度。在此将 M_i 的取值划分为 5 个区间：零度混交 $M_i=0$、弱度混交 $M_i \in (0,0.25]$、中度混交 $M_i \in (0.25,0.50]$、强度混交 $M_i \in (0.50,0.75]$、极强度混交 $M_i \in (0.75,1.00]$。湿地公园不同树种多样性混交度频度分布及均值见表 3。

表 3 各树种混交度频率分布

Table 3 The frequency distribution of mingling degree of each tree species

树种	混交度(M_i)					
	0	(0,0.25]	(0.25,0.50]	(0.50,0.75]	(0.75,1.00]	均值
全林分	0.145	0.203	0.402	0.132	0.118	0.412 5
北京杨	0.001	0.285	0.428	0.143	0.143	0.317 8
藏川杨	0	0.325	0.333	0.221	0.121	0.276
高山松	0	0.406	0.238	0.327	0.029	0.358
旱　柳	0.063	0.353	0.225	0.239	0.12	0.208

由表 3 中全林分的混交度统计情况可知，处于中度混交和强度混交 2 个状态的林木比例达 60%，以中度混交为主，强度混交与极强度混交林木比例较低。林分整体的平均混交度为 0.415，各树种混交程度中等，属于中度混交范围。

3.3.4 林木大小分化程度与生长空间分析 大小比数(U_i)用来反映参照树与周围 n 株相邻木的大小关系的量化指标，本研究采用胸径大小比数。以胸径为分析指标的大小比数体现了各树木之间的竞争状态，同时反映了研究区域内参照树与相邻木之间的竞争关系[17-20]。大小比数 U 有 5 种不同的取值，每个取值代表不同的大小关系，即 0(优势)、0.25(亚优势)、0.5(中庸)、0.75(劣势)及 1.00(极劣势)，U 越大表明参照树生长越不占优势。湿地公园不同树种多样性大小比数分布及均值见表 4。

由表 4 可知，高山松树种群落中有 54%的林木比例为优势状态，全部的高山松为中庸甚至更优的生长状态。藏川杨群落中各林木的大小比数分布与高山松相似，高山松是该研究标准地的优势树种，所以高山松的林木大部分为优势状态，藏川杨为该研究区域的乡土树种，该研究区域的气候及立地条件更适合藏川杨的生长，所以这 2 种树种的生长状态多处于优势状态。北京杨的大小比数分布较为均匀，其中处于亚优势生长状态的树种比例最高，约 1/10 的树种为极劣势生长状态。从旱柳群落中林木的大小比数来看，没有树木处于优势生长状态，处于劣势的林木比重最大，另有 10%的林木为极劣势生长状态，这说明旱柳在该林分内处于被压状态。林分整体的大小比数在各取值均有分布，且 84%的林木处于中庸及以上生长状态，有 10%的林木处于极劣势生长状态。

表 4 各树种大小比数频率分布

Table 4 The frequency distribution of neighborhood comparison of each tree species

树种	大小比数(U_i)					
	0	0.25	0.50	0.75	1.00	均值
全林分	0.24	0.34	0.26	0.06	0.1	0.36
北京杨	0.3	0.35	0.3	0	0.05	0.29
藏川杨	0.5	0.33	0.17	0	0	0.17
高山松	0.54	0.28	0.18	0	0	0.16
旱　柳	0	0.16	0.18	0.56	0.1	0.65

4　结论与讨论

从树种组成上看，林分乔木层中共有 4 个树种，高山松为优势树种，伴生树种主要有藏川杨、北京杨以及旱柳，在所研究标准地中不同树种的组成为 3 高 3 藏 3 北 1 旱，林下灌木有宽翅蔷薇、川滇高山栎等，物种丰富度较高。湿地公园林分内幼、中龄林所占比例较大，湿地公园多为人工林，林分多为人工培植或更新形成。林木径阶分布连续，林分直径分布呈现出截尾正态分布规律。

从林木空间结构各参数来看，林分的聚集指数为 0.938 9，林分内林木具有随机分布的趋势；林分平均混交度约 0.412 5，处于中度混交状态；林分平均角尺度约 0.45，属于均匀分布；胸径大小比数为 0.36，林木大多处于亚优势或中庸状态，其中藏川杨与高山松的林木处于优势生长状态的均超过 50%。

从群落演替趋势看，群落目前暂时为进展演替阶段，且该研究区域位于人类活动范围内，受到人为活动影像较大，可归纳为外因生态演替，种间竞争将主要是藏川杨与高山松之间的竞争。湿地公园的结构较为合理，林分处于相对稳定状态，整体上群落处于初级演替阶段的属性特征。

空间结构参数配合传统林分结构特征因子分析林分结构能更加全面地反映林分结构特征，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。本研究对于林分空间结构的分析，主要以常见的林分空间结构指数为主，通过各指数的数值范围，对林分空间结构进行分析。另外在水平方向分析了该林分的树种组成，林分直径分布规律等内容。针对该研究范围，可采用相应的抚育间伐措施，通过伐去劣势木或对密集分布的林木进行伐密留疏，为生长状态较好的树木留出更多的生长空间。伐掉个体较小的林木，增强其余林木的生长能力，充分利用林分空间，使林分空间结构更加合理。另外，可适当增强林分的树种多样性，以增加林分的树种混交度，增强林分的稳定性。

林分空间结构包括水平结构与垂直结构，在未来的科研试验中，可通过分析林下的灌木、草本等的生长及空间分布对林分的影响，增加林分垂直结构的研究。或可以结合林分结构中的年龄结构、树高结构、树种结构等非空间结构因素，以分析林分非空间结构调整对林分空间结构的影响。

参考文献：

[1] 惠刚盈，胡艳波，赵中华. 结构化森林经营研究进展[J]. 林业科学研究，2018，31(1)：85-93.
HUI G Y，HU Y B，ZHAO Z H. Research progress of structure-based forest management[J]. Forest Research，2018，31(1)：85-93.(in Chinese)

[2] 刘帅. 天然次生林林分结构分析及多目标智能优化研究[D]. 长沙：中南林业科技大学，2017.

[3] 刘思聪. 天然林林分空间结构探究[D]. 南宁：广西大学，2017.

[4] 董灵波，刘兆刚，马妍，等. 天然林林分空间结构综合指数的研究[J]. 北京林业大学学报，2013，35(1)：16-22.
DONG L B，LIU Z G，MA Y，*et al*. A new composite index of stand spatial structure for natural forest[J]. Journal of Beijing Forestry University，2013，35(1)：16-22.(in Chinese)

[5] 曹小玉，李际平，封尧，等. 杉木生态公益林林分空间结构分析及评价[J]. 林业科学，2015，51(7)：37-48.
CAO X Y，LI J P，FENG Y，*et al*. Analysis and evaluation of the stand spatial structure of cunninghamia lanceolata ecological forest[J]. Scientla Silvae Sinicae，2015，51(7)：37-48.(in Chinese)

[6] 董灵波，刘兆刚. 樟子松人工林空间结构优化及可视化模拟[J]. 林业科学，2012，48(10)：77-85.
DONG L B，LIU Z G. Visual management simulation for *Pinus sylvestris* var. *mongolica* plantation based on optimized spatial structure[J]. Scientla Silvae Sinicae，2012，48(10)：77-85.(in Chinese)

[7] 王智勇，董希斌，张甜，等. 大兴安岭落叶松天然次生林林分结构特征[J]. 东北林业大学学报，2018，46(4)：6-11，28.
WANG Z Y，DONG X B，ZHANG T，*et al*. Forest structure characteristics of *Larix* natural secondary forest in Daxing'an Mountains[J]. Journal of Northeast Forestry University，2018，46(4)：6-11，28.(in Chinese)

[8] 惠刚盈. 结构化森林经营原理[M]. 北京：中国林业出版社，2016.

[9] 郝月兰. 基于林分空间结构优化的采伐木确定方法研究[D]. 北京：中国林业科学研究院，2012.

[10] 汤孟平. 森林空间结构分析与优化经营模型研究[D]. 北京：北京林业大学，2003.

[11] 吕延杰，杨华，张青，等. 云冷杉天然林林分空间结构对胸径生长量的影响[J]. 北京林业大学学报，2017，39(9)：41-47.
LYU Y J，YANG H，ZHANG Q，*et al*. Effects of spatial structure on DBH increment of natural spruce-fir forest[J]. Journal of Beijing Forestry University，2017，39(9)：41-47.(in Chinese)

[12] 朱光玉，徐奇刚，吕勇. 湖南栎类天然次生林林分空间结构对灌木物种多样性的影响[J]. 生态学报，2018，38(15)：1-7.
ZHU G Y，XU Q G，LYU Y. Effects of stand spatial structure on species diversity of shrubs in *Quercus* spp. natural secondary forest in Hunan Province[J]. Acta Ecologica Sinica，2018，38(15)：1-7.(in Chinese)

[13] 朱俐娜，彭祚登. 基于 Voronoi 图的北京公园常见林分空间结构分析[J]. 西北林学院学报，2015，30(5)：176-180.
ZHU L N，PENG Z D. Common stand spatial structure in Beijing parks based on Voronoi diagram method[J]. Journal of Northwest Forestry University，2015，30(5)：176-180.(in Chinese)

（下转第 179 页）

比较研究[J]. 内蒙古林学院学报,1996,18(4):32-36.

[6] 刘镇波. 木材显微图像特征参数提取与树种判别方法研究[D]. 哈尔滨:东北林业大学,2004.

[7] 李兵兵. 塞罕坝落叶松人工林与白桦次生林林分生长规律及其与地形因子关系研究[D]. 保定:河北农业大学,2012.

[8] 黄龙生,李永宁,霍艳玲,等. 冀北山地杨桦次生林种群的空间分布格局[J]. 东北林业大学学报,2014,42(11):57-61.
HUANG L S, LI Y N, HUO Y L, *et al*. Spatial distribution pattern of population in secondary poplar-birch forest in the mountainous area of north Hebei[J]. Journal of Northeast Forestry University,2014,42(11):57-61. (in Chinese)

[9] 承德环保. 河北茅荆坝国家级自然保护区[DB/OL]. 2013-08-21. http://www. cdhb. gov. cn/NewPages/YaoWenShiDian. aspx? contentID=13256&classID=27.

[10] 王嘉楠. 人工林杨树木材性质及其变异规律的研究[D]. 合肥:安徽农业大学,2002.

[11] 唐爽,孙照斌,马长明. 冀北山区不同坡向白桦木材解剖特性径向变异研究[J]. 西南林业大学学报:自然科学,2018,38(3):157-165.
TANG S, SUN Z B, MA C M. Radial variation of anatomical properties of *Betula platyphylla* wood in different slope directions of northern Hebei Province[J]. Journal of Southwest Forestry University: Natural Science Edition, 2018, 38(3): 157-165. (in Chinese)

[12] 刘主凰,王水英,林金国,等. 不同海拔人工林毛竹纤维形态和化学成分的差异[J]. 西北林学院学报,2011,26(2):196-199.
LIU Z H, WANG S Y, LIN J G, *et al*. Difference in fiber morphology and chemical composition of *Phyllostachys heterocycla* cv. *pubescens* from plantation of different altitude[J]. Journal of Northwest Forestry University,2011,26(2):196-199. (in Chinese)

[13] 郭东强. 邓恩桉种源木材纤维特性变异研究[D]. 南宁:广西大学,2012.

[14] 徐有明. 木材学[M]. 北京:中国林业出版社,2006:232-234.

[15] 李坚,栾树杰. 生物木材学[M]. 哈尔滨:东北林业大学出版社,1994.

[16] CARRILLO I, AGUAYO M G, VALENZUELA S, *et al*. Variations in wood anatomy and fiber biometry of eucalyptus globules genotypes with different wood density[J]. Wood Research,2015,60(1):1-10.

[17] 武恒,查朝生,王传贵,等. 人工林杨树 12 个无性系木材纤维形态特征及变异[J]. 东北林业大学学报,2011,39(2):8-10,27.
WU H, ZHA C S, WANG C G, *et al*. Morphological features of wood fiber and its variation for twelve clones of poplar plantations[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2011,39(2):8-10,27. (in Chinese)

[18] 杨进,宁莉萍,刘敏,等. 桢楠木材构造特征及其径向变异研究[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2018,46(2):1-7.
YANG J, NING L P, LIU M, *et al*. Wood characteristics and radial variations of phoebe zhennan[J]. Journal of Northwest A&F University: Natural Science Edition, 2018, 46(2): 1-7. (in Chinese)

[19] 李权,林金国,齐文玉,等. 酸枣人工林木材基本密度和纤维形态径向变异研究[J]. 西北林学院学报,2017,32(2):276-279.
LI Q, LIN J G, QIN W Y, *et al*. Radial variation of basic density and fiber morphology for choerospondias axillaris wood from plantation[J]. Journal of Northwest Forestry University,2017,32(2):276-279. (in Chinese)

[20] 邹明宏. 枫杨生长规律与材性变异及不同环境下材性的比较研究[D]. 武汉:华中农业大学,2003.

[21] 刘福涛. 立地对马占相思人工林生长和材性的影响[D]. 福州:福建农林大学,2007.

(上接第 153 页)

[14] 邓送求,闫家锋,关庆伟. 宝华山紫楠风景林林分空间结构分析[J]. 东北林业大学学报,2010,38(4):29-32.
DENG S Q, YAN J F, GUAN Q W. Spatial structure of scenic forest of phoebe sheareri in Baohuashan, Jiangsu Province[J]. Journal of Northeast Forestry University,2010,38(4):29-32. (in Chinese)

[15] 游晓庆. 闽楠天然次生林林分空间结构及种间关联性研究[D]. 南昌:江西农业大学,2016.

[16] 惠刚盈,GADOW K V,胡燕波,等. 林木分布格局类型的角尺度均值分析方法[J]. 生态学报,2004,4(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,2004,4(6):1225-1229. (in Chinese)

[17] 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)

[18] 项佳,杨素萍,刘健,等. 福建三明市金丝湾森林公园米槠林林分空间结构分析[J]. 西北林学院学报,2017,32(5):230-236.
XIANG J, YANG S P, LIU J, *et al*. Spatial structure analysis of castanopsis carlesii stand in *Jinsiwan* forest park of Sanming, Fujian[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2017,32(5):230-236. (in Chinese)

[19] 张祥宇,包倪雯,刘丽婷,等. 桉树人工林林分结构特征及调控技术研究[J]. 西北林学院学报,2017,32(4):45-51.
ZHANG X Y, BAO N W, LIU L T, *et al*. Structural characteristics and control techniques of eucalyptus stand[J]. Journal of Northwest Forestry University,2017,32(4):45-51. (in Chinese)

[20] 王琴香,沈海龙,和春庭,等. 红松人工林和相邻次生林林下红松天然更新种群格局分析[J]. 森林工程,2018,34(2):16-20.
WANG Q X, SHEN H L, HE C T, *et al*. Analysis of natural regeneration pattern of *Pinus koraiensis* seedlings regenerated in *Pinus koraiensis* plantation and its adjacent *Quercus mongolica* natural forest[J]. Forest Engineering,2018,34(2):16-20. (in Chinese)