

北亚热带栎树混交林空间结构特征分析

马洪婧,袁发银,刘中亮,史珑燕,关庆伟*

(南京林业大学 森林资源与环境学院,江苏 南京 210037)

摘要:运用传统林分结构因子配合混交度、角尺度、大小比数和开敞度4个林分空间结构参数,对江苏盱眙森林群落的空间结构特征进行了分析。结果表明:1)调查林分物种多样性丰富,栓皮栎、槲栎、麻栎在株数和断面积占有明显优势,是乔木层的优势种,树高>18 m为主林层,但优势种的生长优势不明显;2)林分平均混交度为0.62,处于强度混交状态;林分平均角尺度为0.48,属随机分布;林分平均大小比数为0.49,有49%的林木处于优势状态;林分平均开敞度为0.451,林木生长空间充足;3)栓皮栎由于生长优势不明显,在演替过程中优势度会有所下降,黄连木、槲栎会成为该地区的优势树种。

关键词:栎树混交林;空间结构;混交度;角尺度;大小比数;开敞度

中图分类号:S718.54 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2013)01-0151-06

Spatial Structure of *Quercus* Mixed Forest in Northern Subtropical Region

MA Hong-jing, YUAN Fa-yin, LIU Zhong-liang, SHI Long-yan, GUAN Qing-wei*

(College of Forest Resources and Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing, Jiangsu 210037, China)

Abstract: In order to understand the stand structure of mixed forest in northern subtropical region, the spatial structure of forest community in Xuyi, Jiangsu Province was analyzed by using traditional stand structure indices and four spatial structure indices of mingling, angle index, neighborhood comparison and opening degree. The results were reported as follows. 1) The species diversity of the mixed forest was rich, *Quercus variabilis*, *Q. aliena* and *Q. acutissima* had the obvious superiorities in the number of trees and basal areas, being the dominant species of the trees layer, the tree heights of these species was higher than the main storey (18 m) of the forest, while the growth vigor however, was not good. 2) The degree of average mingling of the stand was 0.62, belonging to strong mixed state. The angle index was 0.48, which was within the random distribution. The neighborhood comparison ratio was 0.49, and 49% of the trees in the stand were dominant ones. The average opening degree was 0.451, which displayed that the growth space of most trees in the forest was sufficient. 3) The growth advantage of *Q. variabilis* was not significant, which would decline in the succession process, *Pistacia chinensis* and *Q. aliena* would become the dominant species.

Key words: *Quercus* mixed forest; spatial structure; mingling degree; angel index; neighborhood comparison; open degree

群落的结构决定了群落的功能,了解群落的结构是森林经营的重要前提,通过对群落结构的研究,可以为森林的调整和制定经营决策提供理论支

持^[4]。分析群落结构的基础是对其准确的描述,传统森林群落结构的因子包括树种组成、胸径、树高等^[5],这些因子在一定程度上反映了森林群落的结构

收稿日期:2012-04-16 修回日期:2012-05-16

基金项目:国家林业公益性行业科研专项“提高城市森林固碳能力的关键技术研究示范”(201104075)。

作者简介:马洪婧,女,硕士,研究生,研究方向:森林生态系统结构、功能与稳定性。E-mail:mythyou06@126.com

* 通信作者:关庆伟,男,博士,教授,主要研究方向:森林的可持续经营理论与技术。E-mail:guanjanpan999@yahoo.com.cn

构特征,但对于群落的空间关系没有涉及,而群落的空间结构信息在很大程度上决定了树木之间的竞争优势和生态位^[1],不同的林木空间分布格局对森林生态环境的保护也不相同^[22],因此空间结构对于描述林分及其状态的改变具有特别重要的意义^[2-6],它决定了林分的稳定性、发展的可能性和经营空间的大小^[3]。林分空间结构可用混交度、角尺度大小比数和开敞度来描述。

栎林是是我国分布较广的树种,北起内蒙古自治区大兴安岭,西至青海省,南至广西壮族自治区,东达黑龙江,在全国 27 个省(市、自治区)都有分布,是我国重要的造林树种^[20]。它不仅是亚热带常绿阔叶林的主要建群种,也是温带落叶阔叶林的优势种之一。目前对于不同温度带上栎林空间结构的研究主要集中在温带地区,热带和亚热带地区的研究较少。闫东峰^[7]等运用空间结构参数研究了暖温带宝天曼国家级自然保护区栎类天然林不同龄级的林分空间结构特征;赵中华^[8]等研究了暖温带小陇山锐齿栎天然林空间特征;吴海龙^[9]等运用统计软件 R 研究了暖温带栎林的空间结构;袁士云^[10]等研究了处于北亚热带和暖温带过渡带的小陇山次生林的空间结构和多样性;黄庆丰^[11]等研究了中亚热带麻栎混交林的空间结构特征和多样性。

北亚热带典型的森林群落有栎林、枫香林、含有榆、朴的落叶阔叶林、含有黄檀、豆梨的落叶阔叶林、刺槐林,栎林是江苏盱眙丘陵台地分布广泛的植被类型^[21],该地区林龄在 50 a 以上,封山育林 40 多年,群落结构比较完整,研究其空间结构具有重要的理论价值和实践意义。应用传统林分结构因子配合混交度、角尺度、大小比数和开敞度等 4 个林分空间结构参数对该地区的栎树混交林进行了分析,旨在了解其空间结构的现状和特征,以期为森林的科学经营提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究地概况

研究地位于江苏省淮安市盱眙林场穆店分场和水冲港分场,地处北亚热带与暖温带过渡区域,属季风性湿润气候。四季分明,年平均降水量 1 005.4 mm,年均气温 14.7℃,土壤类型以火山岩发育而成的粗骨褐土和淋融褐土为主,现有植被为以麻栎(*Quercus acutissima*)、槲栎(*Quercus aliena*)、栓皮栎(*Quercus variabilis*)、黄连木(*Pistacia chinensis*)以及朴树(*Celtis sinensis*)等为主的针阔混交林和落叶阔叶混交林^[12]。

调查样地所处位置坡度 5~7°,立地条件较差,

土层和枯落物层较薄,裸岩率和含石率均较高。样地内以栓皮栎、黄连木等为优势种,乔木层其他树种主要有:朴树、茶条槭(*Acer ginnala*)、黄连木等。下木层植物有榔榆(*Ulmus parvifolia*)、乌桕(*Sapium sebiferum*)、野山楂(*Crataegus cuneatae*)、拓树(*Cudrania tricuspidata*)、卫矛(*Euonymus alatus*)、蛇莓(*Duchesnea indica*)、野蔷薇(*Rosa multiflora*)、络石(*Caulis trachelospermi*)、麦冬(*Ophiopogon japonicus*)、鹅肠草(*Stellaria media*)等。

1.2 调查方法及边缘效应校正及结构单元确定

根据《中国植被》和《江苏森林》记载,该地区的典型森林群落有栎类林、含有榆、朴的落叶阔叶林等,其中栎林和黄连木栎树混交林为该地区的顶级群落。根据二类森林资源清查数据、林分踏查和经营历史调查,选择立地条件相近的侧柏栎树混交林、栎树混交林和栎树黄连木混交林 3 种典型森林群落,每个森林群落选择典型样地 3 块,在每块大小设置为 25 m×25 m,记录标准地群落类型、海拔、坡向、坡度、土壤等立地条件因子。调查样地内所有大于起测径阶(5 cm)的林木特征值,即树木的相对 *x*、*y* 坐标、胸径、树高、冠幅等,利用这些特征值计算林分空间结构参数。

样地边界木的处理方法主要有距离缓冲区法、8 邻域对称式法、8 邻域平移式法和第 4 邻体距离判定法。周红敏^[13]等研究表明,距离缓冲区法、8 邻域平移式法和第 4 邻体距离判定法优于 8 邻域对称式法。研究表明在 1 株参照树与其 4 株相邻木组成的结构单元中,4 株最近相邻木与参照树构成的结构关系有 5 种,即零度、弱度、中度、强度、极强度,过渡阶段完整,生物学意义明显,空间结构信息比较完整,且这种结构单元的可释性和可操作性都比较强,较适宜于描述林分的空间结构^[2,10,14]。因此,笔者以样地内每 1 棵调查木为目的树、选取其周围 4 株最近相邻木共同组成一个林分空间结构单元,采用 8 邻域平移式法对样地边缘木进行校正。

1.3 林分空间结构参数的计算

采用树种多样性混交度(M_i)衡量对象木与最近邻木之间、最近邻木相互之间的树种空间隔离程度。

$$M_i = \frac{n_i}{n^2} \sum_{j=1}^n V_{ij} \tag{1}$$

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_i 为对象木 *i* 的 *n* 株最近邻木中不同树种个数, n 为最近邻木株数(本研究 $n=4$)。当对象木 *i* 与第 *j* 株最近邻木属不同树种时: $V_{ij}=1$;当对象木 *i* 与第 *j* 株最近邻木属相同树种时: $V_{ij}=0$ ^[15]。

角尺度(W_i)是描述 n 株最近相邻木围绕参照树 i 的均匀性。通过将参照树及其相邻木构成的交角(α_i)与均匀分布时的期望夹角($n=4$ 时,标准夹角 $\alpha_0=72^\circ$)的比较来分析林木的分布状况。它被定义为 α 角 \leq 标准角 α_0 的个数占所考察的最近相邻木的比例(α 角:从参照树出发,任意 2 株最近相邻木所构成的 2 夹角中的较小角)^[16]。

$$W_i=\frac{1}{n}\sum_{j=1}^nZ_{ij}$$

(2)

式中:当第 j 个 α 角 \leq 标准角 α_0 时, $Z_{ij}=1$; 否则 $Z_{ij}=0$ 。研究表明,当 $n=4$ 时,样地平均角尺度 $W<0.475$ 时为均匀分布; $0.475\leq W\leq 0.517$ 时为随机分布; $W>0.517$ 时为团状分布^[17]。

大小比数(U_i)是描述 n 株最近相邻木与参照树 i 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^[18]。

$$U_i=\frac{1}{n}\sum_{j=1}^nK_{ij}$$

(3)

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

开敞度用来描述林木个体生长空间大小^[19]。将开敞度定义为林内任意一株参照树到最近 n 株相邻木水平距离与它们各自高度比值之均值。

$$B_i=\frac{1}{n}\sum_{j=1}^nD_{ij}/H_{ij}$$

(4)

式中: B_i 为第 i 基株的开敞度, D_{ij} 为基株到第 j 株相邻树的距离, H_{ij} 为第 j 株相邻木的高度, n 为相邻木株数。

2 结果与分析

2.1 林分基本特征分析

在所调查的样地内,林分密度约为 488 株/hm²,物种丰富度较高,乔木层共有 12 个树种,按株数居前 5 位的树种依次是栓皮栎、板栗(*Castanea mollissima*)、麻栎、槲栎和牛鼻栓(*Fortunearia sinensis*),按断面积居前 5 位的树种依次是栓皮栎、麻栎、槲栎、板栗和黄连木,其中栓皮栎、槲栎、麻栎所占株数比例以及断面积比例之和分别达到 52.4%、65%。由此可知栓皮栎、麻栎和槲栎是该群落的主要优势树种。从不同树种的平均树高构成可知,约 55%的林木树高 >18 m,故树高 >18 m 是该群落的主林层。从树种组成上看,全部树种均为阔叶树,因此该群落类型为落叶阔叶混交林。从断面积比例构成看,林分的树种组成式为 3 栓皮栎+2 麻栎-槲栎-板栗-黄连木(表 1)。

表 1 混交林林分概况

Table 1 Situation of mixed forest

树种	株数		断面积		胸径/cm			树高/m		
	/(株·hm ⁻²)	/%	/(m ² ·hm ⁻²)	/%	D_{\max}	D_{\min}	\bar{D}	H_{\max}	H_{\min}	\bar{H}
麻栎	88	18.0	0.237	24.7	78.4	6.4	26.9	38.2	4.4	22.5
栓皮栎	104	21.3	0.291	30.3	39.3	16.3	28.3	36.7	22.6	28.6
朴树	16	3.3	0.011	1.1	8.3	6.0	7.2	6.8	4.5	5.7
槲栎	64	13.1	0.095	10.0	25.2	6.1	17.0	33.0	5.6	18.5
牛鼻栓	32	6.6	0.019	2.0	6.6	5.5	6.0	3.8	6.0	4.7
黄连木	40	8.2	0.072	7.5	26.5	8.7	18.0	22.0	5.5	14.3
毛栎	8	1.6	0.006	0.6	7.2	7.2	7.2	4.6	4.6	4.6
茶树槭	8	1.6	0.004	0.4	5.1	5.1	5.1	4.0	4.0	4.0
桃树	8	1.6	0.014	1.5	17.5	17.5	17.5	13.0	13.0	13.0
黄檀	16	3.3	0.032	3.3	19.4	20.9	20.2	23.0	24.5	23.8
板栗	96	19.7	0.093	9.7	41.8	5.7	14.5	24.0	4.0	6.5
化香	8	1.6	0.028	2.9	34.8	34.8	3.5	31.0	31.0	31.0
全林分	488	100.0	0.960	100.0	78.4	5.1	19.6	38.2	4.0	17.9

注:毛栎(*Swida walteri*),茶树槭(*Acer tataricum*),桃树(*Prunus Dersica*),黄檀(*Dalbergia hupeana*),化香(*Platycarya Stroblacea*)。

2.2 林木树种空间隔离程度及个体空间分布格局分析

树种多样性混交度(M_i)是描述群落中树种混交程度的重要指标,用来说明树种的空间隔离程度,在此将 M_i 的取值划分为 5 个区间:0、(0,0.25]、(0.25,0.50]、(0.50,0.75]、(0.75,1],对应于混交度的定性描述分别为零度混交、弱度混交、中度混交、强度混交和极强度混交。调查的林分不同树种多样性混交度频度分布及均值列表 2。

从表 2 可知,调查林分的平均混交度为 0.62,且分布在中度、强度混交 2 个等级上的频率高达 89%,弱度混交和零度混交单元比例仅占 8%,混交程度很高,属强度混交范畴。从不同树种频度统计及混交度均值来看,以麻栎为参照树的结构单元强度混交为主,所占比例为 73%;栓皮栎和板栗主要分布在强度、中度和弱度混交的频率上;槲栎的分布比较均匀,除没有零度混交外,其他的各个混交强度都有分布;所有树种中均没有零度混交,这也说明

整个林分的混交度很高;林分中每个参考树种的混交度比较均匀,分布范围在 0.50~0.75 之间。栓皮栎、麻栎和槲栎作为群落中的优势树种,其中度混交程度以上的单元所占比例均在 85% 以上;并且全林分中只有麻栎和槲栎有极强度混交单元,其平均混交度达 0.73 和 0.66,处于强度混交状态,这主要是由于麻栎、槲栎数量不多但群落中树种种类较多,此 2 个树种大多与其他种相伴。

对于每个空间结构单元而言,取 4 株最近相邻木时,最优标准角为 $72^{\circ[16]}$,角尺度 W_i 的 5 种取值 0、0.25、0.5、0.75 和 1,对应的定性描述分别为绝对均匀、均匀、随机、不均匀或很不均匀,其值越大参照树周围的相邻木分布越不均匀。就整个群落而言,研究表明随机分布的平均角尺度取值范围是 $[0.475,0.517]$,平均角尺度 <0.475 的分布为均匀

分布, >0.517 为团状分布。根据这些原则计算并判断林木个体的空间分布格局(表 2)。

调查样地中没有很不均匀的空间结构单元,均匀和很均匀的空间结构单元比例较小,分别为为 10% 和 5%,不均匀和随机分布的比例较大,其中随机的空间结构单元比例最大,高达 59%。该林分平均角尺度为 0.48,属于随机分布(表 2)。从不同树种的空间结构单元来看,以栓皮栎、槲栎和板栗为参照树的单元角尺度频度分布及其均值与整个林分的分布规律较为相似,且在整个样地中这 3 个树种株数所占比例为 54.1%,因此以栓皮栎、槲栎和板栗为参照树的单元林木分布格局在很大程度上决定了整个林分林木的分布格局。在以麻栎和黄檀为参照树的单元中,没有出现均匀和很均匀结构单元,其角尺度均值均小于 0.475,属于均匀分布。

表 2 混交林混交度和角尺度统计
Table 2 Mingling and neighborhood pattern of mixed forest

树种	混交度					角尺度						
	零度混交	弱度混交	中度混交	强度混交	极强度混交	均值	很不均匀	不均匀	随机	均匀	很均匀	均值
麻栎	0.00	0.00	0.18	0.73	0.09	0.73	0.00	0.45	0.55	0.00	0.00	0.39
栓皮栎	0.00	0.08	0.54	0.38	0.00	0.58	0.00	0.31	0.38	0.23	0.08	0.52
朴树	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.50	0.50	0.00	0.63
槲栎	0.00	0.13	0.25	0.50	0.13	0.66	0.00	0.13	0.75	0.00	0.13	0.53
牛鼻栓	0.00	0.00	0.50	0.50	0.00	0.63	0.00	0.25	0.75	0.00	0.00	0.44
黄连木	0.00	0.00	0.40	0.60	0.00	0.65	0.00	0.40	0.40	0.00	0.20	0.50
毛栎	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.75	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.25
茶树槭	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.75	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.75
桃树	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.75	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.50
黄檀	0.00	0.00	0.50	0.50	0.00	0.63	0.00	0.50	0.50	0.00	0.00	0.38
板栗	0.00	0.25	0.33	0.42	0.00	0.54	0.00	0.08	0.83	0.08	0.00	0.50
化香	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.50
全林分	0.00	0.08	0.38	0.51	0.03	0.62	0.00	0.26	0.59	0.10	0.05	0.48

2.3 林木大小分化程度与生长空间分析

大小比数(U_i)用以反映参照树与相邻木的大小关系的量化指标,根据比较的指标不同可分为胸径大小比数、树高大小比数、冠幅大小比数,考虑到测定树高和冠幅的精确性较低,本文采用胸径大小比数。 U_i 有 5 种取值,即 0、0.25、0.5、0.75 和 1,对应于参照树所处生长状态的定性描述分别为优势、亚优势、中庸、劣势或极劣势, U_i 越大代表相邻木大于参照树所占比例越大,参照树生长越不占优势。但大小比数仅考虑了基株与相邻木的大小,笔者认为参照树与相邻木相同条件下,相邻木对参照树的干扰程度会因两者距离不同而不同,故在此引入开敞度指标以弥补大小比数的不足,用来描述参照树个体生长空间大小^[19]。笔者通过对实地调查的包含 100 余个树种的 1 200 株林木的生物学特征进行分析,认为开敞度可划分 5 个区间:(0,0.2]、(0.2,

0.3]、(0.3,0.4]、(0.4,0.5]、(0.5,+∞),对应参照树生长空间充裕度分别为:严重不足、不足、基本充足、充足、很充足。表 3 描述了调查样地内各树种大小比数频度分布与均值以及开敞度的特征。

从表 3 知,全林分的大小比数均值为 0.49,群落中在胸径上处于优势和亚优势地位的个体分别为 11%、21%,处于极劣势和劣势的个体均为 20%,而处于中庸状态的个体约为 28%,胸径大小比数频度分布呈现出均匀分布特征。而整个林分的平均开敞度为 0.451,平均林木生长空间处于充足状态,根据表 1 中林分密度可推出平均每株林木所占的生长面积约为 20.49 m²,进一步表明了林木生长空间充足,林分密度比较合理。但开敞度变化幅度较大,全林分中参照树开敞度最小为 0.111,属于以朴树为参照树的某个结构单元;最大 1.079,属于以麻栎为参照树的某个结构单元。说明了不同树种以及相同

树种不同个体林分生长空间分配的不均匀性。

从优势树种来看,麻栎种群有 18%的个体在胸径上处于优势地位,36%的个体处于中庸状态,处于极劣势和劣势地位的比例高达 45%,同样的优势种栓皮栎处于极劣势和劣势状态的比例达 76%,优势树种生长均不占优势。麻栎和栓皮栎的平均开敞度分别为为 0.548 和 0.434,生长空间充足,林木生长受相邻木的干扰较小。另一方面,生长处于优势的

树种有朴树、茶条槭和黄连木等阔叶树,但是朴树和黄连木的开敞度分别为 0.122 和 0.301,生长空间严重不足,容易形成更多的劣势木和中庸木。板栗种群中优势木所占比例最大,但由于中小径级的个体较少,更新层中亦无板栗分布。因此,经过一定时期的演替,现存的板栗老化枯死或者发生病虫害而死亡后,板栗种群将从此林分内消失,该群落将演替成落叶阔叶混交林,达到或接近该地区的顶级群落状态。

表 3 混交林大小比数和开敞度统计

Table 3 Neighborhood comparison and opening degree of mixed forest

树种	大小比数						开敞度		
	极劣势	劣势	中庸	亚优势	优势	均值	最大	最小	均值
麻栎	0.27	0.18	0.36	0.09	0.09	0.39	1.079	0.361	0.548
栓皮栎	0.38	0.38	0.15	0.08	0.00	0.23	0.946	0.145	0.434
朴树	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.133	0.111	0.122
槲栎	0.13	0.13	0.50	0.13	0.13	0.50	0.497	0.348	0.431
牛鼻栓	0.00	0.00	0.50	0.25	0.25	0.69	1.029	0.608	0.815
黄连木	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.50	0.496	0.219	0.301
毛栎	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.25	0.663	0.663	0.663
茶条槭	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.891	0.891	0.891
桃树	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.50	0.589	0.589	0.589
黄檀	0.00	0.50	0.50	0.00	0.00	0.38	0.564	0.401	0.483
板栗	0.08	0.08	0.17	0.17	0.50	0.73	0.865	0.139	0.344
化香	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.158	0.158	0.158
全林分	0.20	0.20	0.28	0.11	0.21	0.49	1.079	0.111	0.451

3 结论与讨论

通过对江苏盱眙栎树混交林的空间结构分析发现:该地区的混交林分布基本合理,林分处于相对稳定状态;从树种组成上看,林分乔木层中共分布有 12 个树种,物种丰富度较高;栓皮栎、麻栎和槲栎为该地区的优势树种,树高>18 m 为主林层,全部树种均为阔叶树,因此该群落类型为落叶阔叶混交林;虽然优势种的生长空间充足,生长优势却并不明显,非优势种的生长空间不足,但生长优势明显。根据调查发现,该地区坡度比较大,裸岩率很高,植被生长条件较差,这可能是优势种生长优势不明显的主要原因。

从空间结构各参数来看,林分平均混交度为 0.62,强度和极强度结构单元比例占 54%,树种混交程度很高。平均角尺度为 0.48,属于随机分布;优势种栓皮栎、槲栎为参照树的单元角尺度频度分布及其均值与整个林分的分布规律较为相似,且这 2 种种所占比例很高,因此以栓皮栎、槲栎为参照树的单元林木分布格局在很大程度上决定了整个林分林木的分布格局。林木的胸径大小比数频率分布呈现出均匀分布特征,优势树种栓皮栎、麻栎种群在空间结构单元中优势度不明显;林分平均开敞度为 0.451,生长空间充足,但不同的树种生长空间差异很大。

从群落的演替趋势上来看,该地区的森林处于演

替中后期,处于相对稳定状态。在垂直结构上,栓皮栎占据主林层有利的生态位,但由于生长优势不明显,在演替的过程中其优势度会逐渐下降。黄连木、槲栎径级分布连续,小径级个体较多,生长空间基本充足,可能会发展成为该地区的优势树种。板栗的胸径优势较明显,在一定时期内仍将保持其优势地位。但由于生长空间不足,在生长的过程中会受到其他树种的制约。其他种群因个体数量少,径级分布不连续,更新较为困难,应通过适当的抚育择伐措施,改善群落内生长空间分配不均匀性,促进林分的正常发育,提高的群落生物多样性,从而使组成林分的树木个体和整个林分群落体均朝健康方向发育。

参考文献:

[1] 胡艳波,惠刚盈,戚继忠,等. 吉林蛟河天然红松阔叶林的空间结构分析[J]. 林业科学研究,2003,16(5): 523-530.
HU Y B, HUI G Y, QI J Z, *et al.* Analysis of the spatial structure of natural korean pine broad leaved forest[J]. Forest Research, 2003, 16(5): 523-530. (in Chinese)
[2] VODAK M C, ROBERTS P L, WELLMAN J D, *et al.* Scenic impacts of eastern hardwood managenent[J]. Forest Science, 1985, 31(2): 289 -301.
[3] 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, 14(1): 23-27.
HUI G Y, HU Y B. Measuring species spatial isolation in mixed forests [J]. Forest Research, 2001, 14(1): 23-27. (in

Chinese)

[4] 亢新刚,胡武力,董景林,等. 过伐林区检查法经营针阔混交林分结构动态[J]. 北京林业大学学报,2003,25(6):1-5.
KANG X G,HU L W,DONG J L,*et al.* Forest structure dynamics of coniferous-broad leaved mixed forests by management of control method in over-logged forest region[J]. Journal of Beijing Forestry University,2003,25(6):1-5. (in Chinese)

[5] 胡艳波,惠刚盈. 优化林分空间结构的森林经营方法探讨[J]. 林业科学研究,2006,19(1): 1-3.
HU Y B,HUI G Y. A discussion on forest management method optimizing forest spatial structure[J]. Forest Research, 2006,19(1): 1-3. (in Chinese)

[6] 倪静,宋西德,张永,等. 永寿县刺槐人工林空间结构研究[J]. 西北林学院学报,2010,25(3): 24-27.
NI J,SONG X D,ZHANG Y,*et al.* Forest stand spatial structure of *Robinia pseudoacacia* planation in Yongshou County [J]. Journal of Northwest Forestry University,2010,25(3): 24-27. (in Chinese)

[7] 闫东峰,吴明作,杨喜田. 宝天曼国家级自然保护区栎类天然林林分空间结构特征[J]. 东北林业大学学报,2011,39(9):52-53,77.
YAN D F,WU M Z,YANG T X. Spatial structure characteristic of *Quercus* natural forests in Baotianman National Nature Reserve[J]. Journal of Northeast Forestry University,2011,39(9):52-53,77. (in Chinese)

[8] 赵中华,惠刚盈,袁士云,等. 小陇山锐齿栎天然林空间结构特征[J]. 林业科学,2009,45(3):1-6.
ZHANG Z H,HUI G Y,YUAN S Y,*et al.* Spatial structure characteristic of *Quercus aliena* var. *acuteserrata* Natural Forest in Xiaolongshan[J]. Scientia Silvne Slnicae,2009,45(3):1-6. (in Chinese)

[9] 吴海龙,张艳,余新晓,等. 基于统计软件 R 的典型栎类林空间结构研究[J]. 水土保持研究,2011,18(4):175-178.
WU H L,ZHANG Y,YU X X,*et al.* Study on the typical *Quercus* forest spatial structure based on statistical software R in Beijing Mountainous Areas[J]. Research of Soil and Water Conservation,2011,18(4):175-178. (in Chinese)

[10] 袁士云,张宋智,刘文桢,等. 小陇山辽东栎次生林的结构特征和物种多样性[J]. 林业科学,2010,46(5):27-34.
YUAN S Y,ZHANG S Z,LIU W Z,*et al.* Tree species diversity and structure characteristic of secondary forests of *Quercus liaotungensis* on Xiaolongshan[J]. Scientia Silvne Slnicae, 2010,46(5):27-34. (in Chinese)

[11] 黄庆丰,陈龙勇,郝焰平,等. 麻栎混交林空间结构与物种多样性研究[J]. 长江流域资源与环境,2010,19(9):1010-1014.
HUANG Q F,CHEN L Y,HAO Y P,*et al.* Analysis of the stand spatial structure and species diversity of *Quercus acutissima* mixed forest [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin,2010,19(9):1010-1014. (in Chinese)

[12] 江津凡,万福绪. 防火带不同树种枝叶迟水率研究[J]. 南京林业大学学报,2011,35(5):151-154.
JIANG J F,WAN F X. Study on leaves and branches moisture of eight different tree species for fire-prevention forest belts in Xuyi county,China[J]. Journal of Nanjing Forestry University,2011,35(5):151-154. (in Chinese)

[13] 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.
ZHOU H M,HUI G Y,ZHAO Z H,*et al.* Treatment methods of plot boundary trees in spatial forest structure analysis [J]. Scientia Silvne Slnicae,2009,45(2):1-5. (in Chinese)

[14] 郑丽凤,周新年,江希钿,等. 松阔混交林林分空间结构分析[J]. 热带亚热带植物学报,2006,14(4):275-280.
ZHEN L F,ZHOU X N,JIANG X D,*et al.* Analysis of the stand spatial structure of *Pinus massoniana*-broadleaved mixed forest[J]. Journal of Tropical and Subtropical Botany, 2006,14(4):275-280. (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.
MENG T P,TANG S Z,LEI X D,*et al.* Comparison analysis on two minglings [J]. Forest Resources Management,2004(4):25-27. (in Chinese)

[16] 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 neighborhood pattern — a new structure parameter for describing distribution of forest tree postion[J]. Scientia Silvne Slnicae,1999,35(1):37-42. (in Chinese)

[17] 安慧君. 阔叶红松林空间结构研究[D]. 北京:北京林业大学,2003.

[18] 惠刚盈,KLAUSVON 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,1999,12(1):1-6.
HUI G Y,KLAUSVON G,MATTHIAS A. A new parameter for stand spatial structure neighborhood comparison[J]. Forest Research,1999,12(1):1-6. (in Chinese)

[19] 郝云庆,王金锡,王启和,等. 柳杉纯林改造后林分空间结构变化预测[J]. 林业科学,2006,42(8):8-15.
HAO Y Q,WANG J Y,WANG Q H,*et al.* Preview of spatial sructure of *Cryptomeria fortunei* plantation after stand improvement[J]. Scientia Silvne Slnicae,2006,42(8):8-15. (in Chinese)

[20] 郑万钧. 中国树木志[M]. 北京:中国林业出版社,1985.

[21] 黄宝龙. 江苏植被[M]. 南京:江苏科学技术出版社,1998.

[22] 阴三军,高光芹,石艳芳,等. 宝天曼天然林空间格局分析[J]. 西北林学院学报,2011,26(4):80-84.
YIN S J,GAO G Q,SHI Y F,*et al.* Spatial structure analysis of Baotianman Nature Forest[J]. Journal of Northwest Forestry University,2011,26(4):80-84. (in Chinese)