

网络出版时间:2013-07-18 16:05

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20130718.1605.033.html>

栎树混交林空间结构与群落稳定性研究

马洪婧, 陈信力, 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】 **【目的】**了解不同演替时期落叶阔叶林空间结构和稳定性的差异以及两者之间的关系。**【方法】**利用混交度、角尺度和大小比数 3 个空间结构参数及稳定度指数方法, 分析侧柏栎树混交林(PQM)、栎树混交林(PM)和黄连木栎树混交林(QPM)3 种处于不同演替时期的森林群落的空间结构和群落稳定性特征。**【结果】**1) PQM、PM 和 QPM 3 种森林群落的混交度分别为 0.506, 0.790 和 0.678, PM 属于极强度混交, PQM 和 QPM 属于强度混交; 角尺度分别为 0.459, 0.522 和 0.447, PM 属于团状分布, PQM 和 QPM 属于均匀分布; 大小比数分别为 0.430, 0.501 和 0.507, 3 种群落的生长都处于优势状态。2) PQM、PM 和 QPM 3 种群落的稳定性指数分别为 -0.219, 0.352, -0.134, 以 PM 最高。**【结论】**1) 随着演替的进行, 林木的混交程度和水平分布格局呈现先上升后下降的趋势, 并以侧柏栎树混交林最低; 林木的大小分化程度呈增大趋势。2) 栎树混交林的稳定性最强, 侧柏栎树混交林的稳定性最弱, 稳定性最高的群落并没有出现在顶级群落。

【关键词】 混交度; 角尺度; 大小比数; 群落稳定性

【中图分类号】 S718.54

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2013)08-0072-07

Spatial structure and stability of *Pinus* and *Quercus* mixed forest

MA Hong-jing, CHEN Xin-li, SHI Long-yan, GUAN Qing-wei

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

Abstract: **【Objective】** This study aimed to identify the relationship between spatial structure and stability of *Pinus* and *Quercus* mixed forest. **【Method】** The spatial structure and stability of communities in 3 different successional stages, including *Platycladus orientalis* and *Quercus variabilis* mixed forest, *P. orientalis* mixed forest and *Q. variabilis* and *P. orientalis* mixed forest was analyzed using stability index and 3 spatial structure parameters: mingling degree, uniform angle index and neighborhood comparison. **【Result】** The mingling degrees of three communities, *P. orientalis* and *Q. variabilis* mixed forest, *P. orientalis* mixed forest and *Q. variabilis* and *P. orientalis* mixed forest, were 0.506, 0.790 and 0.678, respectively. *P. orientalis* and *Q. variabilis* mixed forest was pole strong mixed while others were strong mixed. The angle indexes of 3 communities were 0.459, 0.522, 0.447, respectively. *P. orientalis* and *Q. variabilis* mixed forest was cluster distribution, and others were uniform distribution. The neighborhood comparisons of three communities were 0.430, 0.501 and 0.507, respectively. All of the communities were dominant. The stability degree indexes of 3 communities were -0.219, 0.352 and -0.134, respectively. Among them the value of the *P. orientalis* mixed forest was the highest. **【Conclusion】** 1) With the processing of succession, the mingling degrees and patterns of horizontal distribution raised first and decreased afterwards and

* [收稿日期] 2012-10-13

[基金项目] 国家林业公益性行业科研专项(201104075)

[作者简介] 马洪婧(1988—), 女, 山东潍坊人, 硕士, 主要从事森林生态系统结构与稳定性研究。E-mail: mythyou06@126.com

[通信作者] 关庆伟(1964—), 男, 辽宁沈阳人, 教授, 博士, 主要从事森林可持续经营理论与技术研究。

E-mail: guan-japan999@163.com

P. orientalis and *Q. variabilis* mixed forest was the lowest. 2) The *P. orientalis* mixed forest had the highest forest stability while the *P. orientalis* and *Q. variabilis* mixed forest had the lowest, indicating that the highest forest community stability did not occur in the climax community.

Key words: mingling degree; angle index; neighborhood comparison; community stability

随着人类对森林结构和功能研究的不断深入,人们逐渐认识到森林的功能不仅是提供木材,更重要的是维持整个生态系统的健康和稳定。因此,现在森林经营的目标主要是培育健康的森林,强调创建和维护最佳的森林空间结构^[1]。林分的空间结构决定了树木之间的竞争势及其空间生态位,在很大程度上决定了林分的稳定性、发展的可能性和经营空间的大小^[2]。森林的空间结构反映了森林群落内物种的空间关系,对于描述林分及其状态的改变有特别重要意义。近年来,许多学者广泛地将混交度、角尺度和大小比数等空间分析方法运用到森林经营的实践中^[2]。

一般而言,不同演替时期群落的空间结构有很大差异。随着群落向顶级群落演替,群落内所有优势树种的集群度会逐步稳定在随机分布的状态^[3]。目前对于演替过程中群落结构已进行了很多研究,主要集中在空间格局的变化上,而对于演替过程中群落的空间结构变化研究很少。如龚直文等^[4]运用空间点格局分析方法,研究了长白山林区各个森林演替阶段的空间格局和空间关联性;李刚等^[5]以 χ^2 统计量、联结系数、Person 相关系数和多物种关联指数为参数,探讨了黄土高原子午岭林区乔木的种间连接性。

本研究以江苏盱眙 3 种具有代表性的森林群落类型(侧柏栎树混交林、栎树混交林、黄连木栎树混交林)为对象,利用描述林分空间结构的角尺度、混交度和大小比数 3 个结构参数及稳定度指数方法,分析了森林群落的结构特征和稳定性,旨在揭示不同演替时期森林群落空间结构和稳定性的变化差异以及两者之间的关系,以期能正确认识群落恢复演替过程中不同群落间相互作用的特性,为保护和合理经营该地区的森林提供依据。

1 研究区概况

研究区位于江苏省淮安市盱眙林场穆店分场和水冲港分场,地理坐标为 $118^{\circ}11' \sim 118^{\circ}54' \text{E}$, $32^{\circ}43' \sim 33^{\circ}13' \text{N}$,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°C ,土壤类型以火山岩

发育而成的粗骨褐土和淋溶褐土为主。

该地区火山岩山地典型森林群落有栎类林,含有榆、朴的落叶阔叶林等,其中含栎树的落叶阔叶混交林为该地区的顶级群落^[6-7]。根据群落的年龄、自然地理特点及均匀一致性,选取次生演替序列 3 个群落:1)侧柏栎树混交林(PQM),乔木层高 8~12 m,25 年生;2)栎树混交林(PM),乔木层高 14~16 m,45 年生;3)黄连木栎树混交林(QPM),乔木层高 19~22 m,60 年生,属于稳定的亚热带顶级落叶阔叶林。

2 研究方法

2.1 样地调查、边缘效应的校正及结构单元的确定

在野外踏查的基础上,用典型样地法取样,每个典型森林群落选择典型样地 3 块,在每块样地内布设 $20 \text{ m} \times 20 \text{ m}$ 的典型样地。每块样地内沿对角线设 $5 \text{ m} \times 5 \text{ m}$ 的灌木样方 5 个, $2 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ 的草本样方 5 个。

调查内容:1)生境。地形地貌、人为干扰状况、土壤、坡向、坡位等生境概况。2)群落学特征。物种的组成、高度、盖度、频度等。3)乔木。根据胸径(D),将乔木划分为大树($D \geq 10.0 \text{ cm}$)、幼树($1 \text{ cm} < D < 10.0 \text{ cm}$)和幼苗($D \leq 1 \text{ cm}$)^[8],大树和幼树在 $20 \text{ m} \times 20 \text{ m}$ 样地中调查,所有乔木进行每木检尺,记录每个物种的物种名、高度、胸径和冠幅;幼苗在灌木样方中调查。4)灌木。在灌木样方中分别测定各灌木及乔木幼苗的多度、盖度、高度和频度。5)草本。分种计数个体数量、盖度、高度和频度。各样地的基本情况见表 1。

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。周红敏等^[9]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、强度和极强度,这 5 种结构关系过渡阶段完整,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^[10-12]。因此,本研究以样地内每株调查木为目的空间结构单元,采用 8 邻域平移式法对样地边缘木进行校正。

表 1 不同森林群落调查样地的基本情况

Table 1 Basic situation of different forest communities

样地类型 Type	郁闭度 Canopy density	林分密度/ (株·hm ⁻²) Stand density	平均胸径/cm Average diameter at breast height	平均树高/m Average height	林龄/年 Age	优势种 Dominant species
侧柏栎树混交林 PQM	0.8	2 275	13.07	11.52	25	侧柏、栓皮栎、黄檀 <i>Biota orientalis</i> , <i>Quercus variabilis</i> <i>Blume</i> , <i>Dalbergia hupeana</i>
栎树混交林 PM	0.9	575	20.99	15.05	45	麻栎、栓皮栎、槲栎 <i>Quercus acutissima</i> , <i>Q. variabilis</i> <i>Blume</i> , <i>Quercus aliena</i>
黄连木栎树混交林 QPM	0.9	950	18.81	20.06	60	栓皮栎、黄连木、板栗 <i>Q. variabilis</i> <i>Blume</i> , <i>Pistacia</i> <i>chinensis</i> , <i>Castanea mollissima</i>

2.2 林分空间结构的分析方法

选择混交度(M_i)、角尺度(W_i)和大小比数(U_i) 3 个描述林分空间结构的参数^[12-15],进行林分空间结构的分析。各参数计算公式如下:

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

式中: n_i 为对象木 i 的 n 株最近邻木中不同树木的株数; n 为最邻近木株数(本研究中 $n=4$);当对象木 i 与第 j 株最近邻木分属不同树种时, $V_{ij}=1$;当对象木 i 与第 j 株最近邻木为相同树种时, $V_{ij}=0$ 。

$$W_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n Z_{ij} \quad (2)$$

式中:将对象木 i 与第 j 株最近相邻木的夹角设为 α 角,当第 j 个 α 角 < 标准角 α_0 ($\alpha_0=72^\circ$) 时, $Z_{ij}=1$;反之 $Z_{ij}=0$ 。

$$U_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n K_{ij} \quad (3)$$

式中: U_i 是大于对象木 i 的相邻木占所考察全部最近相邻木的比例,若相邻木 j 比对象木 i 小,则 $K_{ij}=0$;反之 $K_{ij}=1$ 。

2.3 稳定度指标体系的建立

本研究在选取评价指标时,参考有关文献^[11, 16]并考虑群落的抵抗力、恢复力和持久性对稳定性的影响,共选取 14 项相关指标:幼苗数量 X_1 (株/样方)、物种数 X_2 (个/样方)、林分密度 X_3 (株/m²)、平均胸径 X_4 (cm/样方)、平均树高 X_5 (m/株)、郁闭度 X_6 、土壤体积质量 X_7 、土壤厚度 X_8 、乔木层 Marglef 丰富度指数 X_9 、灌木层 Marglef 丰富度指数 X_{10} 、草本层 Marglef 丰富度指数 X_{11} 、乔木 Shannon-Wiener 指数 X_{12} 、灌木层 Shannon-Wiener 指数 X_{13} 、草本层 Shannon-Wiener 指数 X_{14} 。

一般采用稳定度指数来表述群落的稳定性,因

指标的量纲不同,需要对原始数据进行标准化处理^[11]。参考相关文献^[16],对以上 14 项指标进行分类,在所有的指标中,除 X_3 和 X_6 外,其他指标都与稳定性呈正相关,因此对 X_3 和 X_6 取其倒数处理,纳入稳定性指标体系。稳定度指数的计算公式为:

$$H_j = \sum_{i=1}^{14} K_{ij} P_i \quad (4)$$

式中: K_{ij} 为第 i 个指标在第 j 个样地的观测值标准化处理后的数据; P_i 为第 i 个指标的权重系数, $P_i = \frac{S_i}{\sum_{i=1}^{14} S_i}$,其中 S_i 表示第 i 个指标的标准差。

3 结果与分析

3.1 不同森林群落林分的空间结构

3.1.1 林分的空间配置 根据 M_i 的定义和公式, M_i 值越大,树种组成的结构多样性越好;其可分为零度、弱度、中度、强度和极强度 5 种。不同演替阶段 3 种林分类型各 M_i 出现的频率见图 1。根据计算,侧柏栎树混交林(PQM)、栎树混交林(PM)和黄连木栎树混交林(QPM)的平均 M_i 依次为 0.506, 0.790 和 0.678,栎树混交林的 M_i 最大,属于极强度混交,其他 2 种均属于强度混交。这表明 3 种林分各类树种之间的隔离程度都很小,林分稳定性强。从图 1 可以看出,只有侧柏栎树混交林出现了零度混交($M_i=0$),并且没有出现极强度混交($M_i=1.0$),弱度混交($M_i=0.25$)的林木占 30.8%,中度混交($M_i=0.5$)的林木占 29.7%。栎树混交林没有零度和弱度混交,强度($M_i=0.75$)和极强度混交的林木所占比例高达 82.6%。黄连木栎树混交林除无零度混交外,其他的混交程度都存在,其中强度混交的林木最多,占 63.2%;其次是中度混交,占

28.9%;弱度和极强度混交的林木比例都比较少,分别为 2.6%和 5.3%。

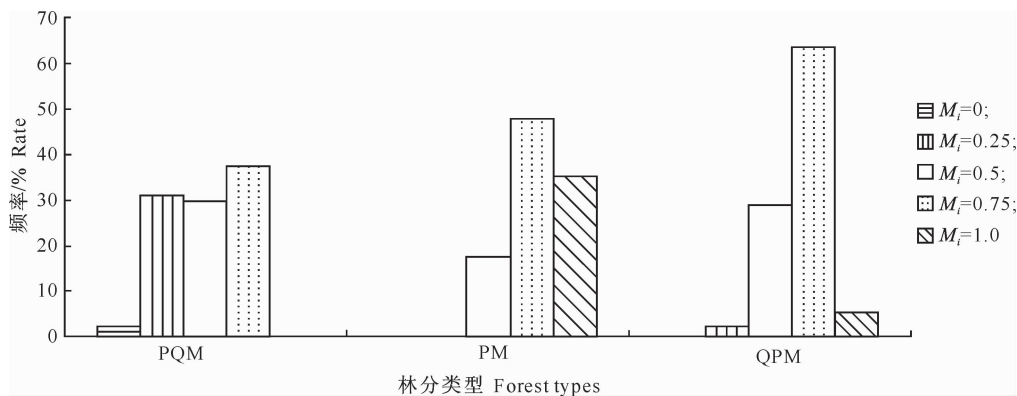


图 1 不同森林群落林分类型混交度的比较

Fig. 1 Comparison of mingling degrees among different stand types

3.1.2 林木的空间分布格局 W_i 可以描述相邻树木围绕参照树的均匀性,可分为绝对均匀、均匀、随机、不均匀、绝对不均匀 5 种, W_i 的取值与参照树周围相邻木分布的均匀程度成反比。就整个群落而言,研究表明,随机分布的平均 W_i 取值范围为 $[0.475, 0.517]$, 平均 W_i 小于 0.475 的分布为均匀分布,平均 W_i 大于 0.517 的为团状分布。不同演替阶段 3 种林分类型 W_i 的出现频率如图 2 所示。根据计算,侧柏栎树混交林(PQM)、栎树混交林(PM)和黄连木栎树混交林(QPM)的平均 W_i 分别是 0.459, 0.522 和 0.447, 栎树混交林的 W_i 最大,属于团状分布,侧柏栎树混交林和黄连木栎树混交

林都属于均匀分布。根据研究,一个发育成熟的顶级森林群落,其优势树种总体呈随机分布^[18]。而本研究中 3 种群落都不是随机分布,但栎树混交林最接近随机分布。由图 2 可知,3 种群落中都没有出现绝对均匀($W_i=0$)的单元,只有栎树混交林群落中出现了绝对不均匀($W_i=1$)的结构单元,占 13.1%。3 种林分类型都是随机分布($W_i=0.5$)的单元所占比例最大,分别是 50.5%, 60.9% 和 57.9%;其次是均匀分布($W_i=0.25$),所占比例分别为 33.1%, 21.7% 和 31.6%。侧柏栎树混交林与黄连木栎树混交林的 W_i 分布类似。

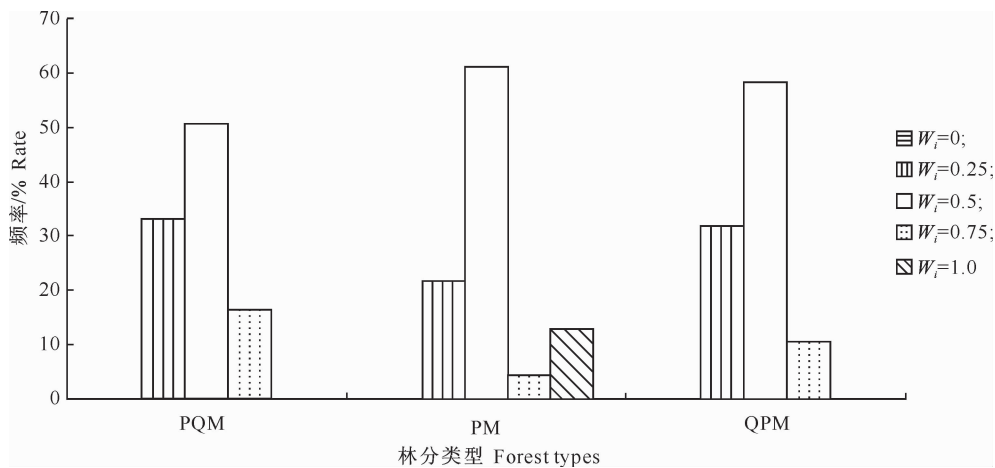


图 2 不同森林群落林分类型角尺度的比较

Fig. 2 Comparison of angle indexes among different stand types

3.1.3 林木大小的分化程度 U_i 是用以反映参照树与相邻木大小关系的量化指标,根据比较的指标不同,可分为胸径 U_i 、树高 U_i 、冠幅 U_i ,考虑到测定树高和冠幅的精确性较低,本研究采用胸径 U_i 。3 种不同林分类型 U_i 出现的频率如图 3 所示。根据计算,侧柏栎树混交林(PQM)、栎树混交林(PM)和

黄连木栎树混交林(QPM)的 U_i 分别是 0.430, 0.501 和 0.507,即随着演替的进行,林木之间的分化程度越来越高。3 种林分类型的不同 U_i 的频率分布比较均匀,说明 3 种林分分化程度差异不大。3 种林分类型都是处于优势地位($U_i=0$)的林木所占比例最大,分别为 25.3%, 21.7% 和 23.7%。

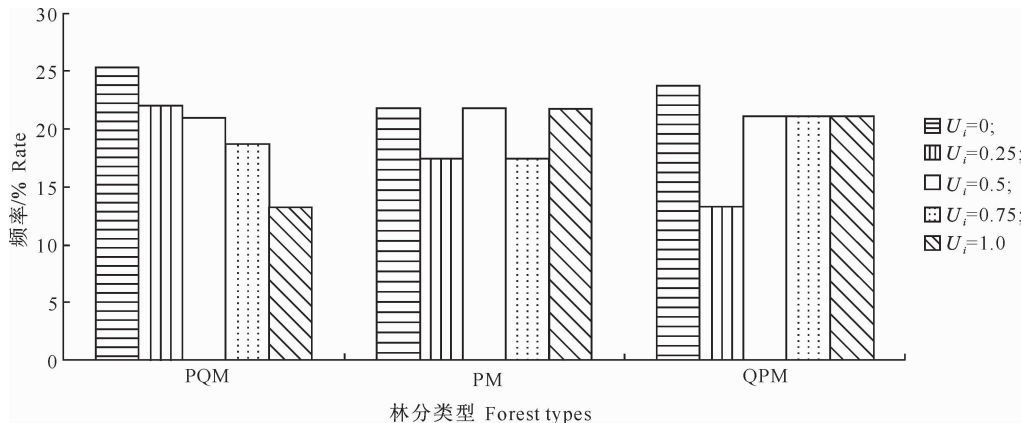


图 3 不同森林群落林分类型大小比数的比较

Fig. 3 Comparison of neighborhood comparisons among different stand types

就侧柏栎树混交林而言,群落中在胸径上处于优势($U_i=0$)和亚优势地位($U_i=0.25$)的个体所占比例分别为 25.3%和 22.0%,处于中庸地位($U_i=0.5$)的个体占 20.9%,处于劣势地位($U_i=0.75$)和极劣势地位($U_i=1$)的个体约占 31.8%。相对于侧柏栎树混交林,栎树混交林的分布更为均匀,处于优势、中庸和极劣势地位的林木均占 21.7%,而处于

亚优势和劣势地位的林木均占 17.4%。在黄连木栎树混交林中,处于中庸、劣势和极劣势地位的林木各占 21.1%,处于亚优势和优势地位的林木共占 36.7%。

3.2 不同森林群落林分的稳定性

对不同森林群落林分类型中的 14 个指标进行标准化处理,得到的结果见表 2。

表 2 不同森林群落林分类型中 14 个指标的标准化处理结果及稳定性的比较

Table 2 Plant communities standardized treatment results of 14 index and stabilities of different communities

指标 Indicator	权重系数 Availability factor	侧柏栎树混交林 PQM	栎树混交林 PM	黄连木栎树混交林 QPM
X_1	0.330	0.458	-0.153	-0.305
X_2	0.170	-0.234	0.163	0.071
X_3	0.154	-0.183	0.193	-0.010
X_4	0.102	-0.139	0.103	0.036
X_5	0.110	-0.125	-0.017	0.142
X_6	0.002	0.003	-0.001	-0.001
X_7	0.003	0.004	-0.001	-0.003
X_8	0.063	0.071	0.010	-0.081
X_9	0.021	-0.027	0.024	0.004
X_{10}	0.016	-0.016	-0.005	0.021
X_{11}	0.008	-0.006	0.011	-0.006
X_{12}	0.008	-0.011	0.007	0.003
X_{13}	0.004	-0.005	0.003	0.002
X_{14}	0.011	-0.009	0.015	-0.007
稳定度指数 Stability degree index		-0.219	0.352	-0.134

由表 2 的权重系数可知, X_1 (幼苗数量)、 X_2 (物种数)、 X_3 (林分密度)、 X_4 (平均胸径)、 X_5 (平均树高)是影响群落稳定性的主要因素,其中 X_1 (幼苗数量)的影响最大,幼苗数量代表了群落恢复能力的大小,林分密度在一定程度上代表了群落抵抗能力的大小,物种数、平均胸径、平均树高代表了群落持久性。由表 2 的评价结果可知,3 种群落的稳定性由高到低依次为栎树混交林>黄连木栎树混交林>侧柏栎树混交林。

根据 3 个森林群落稳定度指数的平均值($\bar{X}$)和标准差(S),可以计算出标准误 $S_{\bar{x}}=S/\sqrt{N}$ (N 为样方数)。根据当地群落的发育状况,以 95%的可靠性将稳定度指数划分为 4 个区间:稳定度指数 $\geq \bar{X}+2S_{\bar{x}}$,稳定性强;稳定度指数 $\geq \bar{X} \sim < \bar{X}+2S_{\bar{x}}$,稳定性较强;稳定度指数 $\geq \bar{X}-2S_{\bar{x}} \sim < \bar{X}$,稳定性中;稳定度指数 $< \bar{X}-2S_{\bar{x}}$,稳定性差。经计算可知,栎树混交林的稳定性为强,而黄连木栎树混交林和侧柏栎树混交林的稳定性为中。

4 讨 论

以往的研究表明,演替顶级群落生态位分化最为剧烈,混交程度也最高^[17]。但本研究结果与之不同,以并非顶级群落的栎树混交林的混交程度最高。这可能是因为从侧柏栎树混交林到栎树混交林,伴随着群落环境的进一步稳定,如细土物质的沉积和土壤有机质含量的提高,使得土壤肥力增强,更多的物种开始侵入群落,而原来的优势种侧柏由于环境的变化而处于衰退阶段,群落结构处于急剧变化中,物种更新剧烈,导致栎树混交林群落的混交程度最高。

已有研究表明,随着演替的进行,种群的空间格局由聚集分布过渡为随机分布,这主要是因为幼树向大树转化的过程中,种群继续呈扩散趋势^[18-19]。随着种群内部竞争的加剧,空间生态位随机分配,聚集强度明显减小,种群近乎于随机分布。但本研究结果与之不同,其中栎树混交林的分布格局最接近随机分布,而侧柏栎树混交林和黄连木栎树混交林都是均匀分布。这可能是因为从栎树混交林到黄连木栎树混交林,新侵入物种已完成种群的充分增长和对空间的占据,其他物种也通过生态位分化尽可能地占领了空间并实现了种群增长,这时种群的总体聚集程度下降。

本研究中,随着演替的进行,林木胸径、树高逐渐增大,分化程度逐渐提高,对照木的优势地位逐渐增强,这与以往的研究结果^[20]不同。这可能是随着演替的进行,优势树种的株数显著减少,林下更新和小径木减少,而非优势种的其他树种数量增多,林木之间的竞争加剧。大量研究表明,树种隔离程度越高,林分的结构越稳定^[19],群落的空间分布格局由聚集向随机转变,其群落或种群的结构越稳定^[21-22],本研究证实了这一观点。栎树混交林的 M_i 最大; W_i 为团状分布,最接近随机分布;稳定性也最高。

5 结 论

本研究利用反映空间结构参数的 M_i 、 W_i 和 U_i 及稳定度指数,对处于不同演替阶段的侧柏栎树混交林、栎树混交林和黄连木栎树混交林的空间结构和稳定性进行了研究。结果表明,侧柏栎树混交林、栎树混交林和黄连木栎树混交林 3 种群落的 M_i 分别是 0.506,0.790 和 0.678,栎树混交林处于极强度混交状态,而侧柏栎树混交林和黄连木栎树混交林处于强度混交状态;3 种森林群落的 W_i 分别是

0.459,0.522 和 0.447,栎树混交林属于团状分布,侧柏栎树混交林和黄连木栎树混交林属于均匀分布;3 种森林群落的 U_i 分别是 0.430,0.501 和 0.507,3 种群落的生长都处于优势状态;3 种群落的稳定性依次为栎树混交林>黄连木栎树混交林>侧柏栎树混交林。

[参考文献]

- [1] Farrell E P, Andersson F. European forest ecosystems: Building the future on the legacy of the past [J]. *Forest Ecol Manage.* 2000, 132: 5-20.
- [2] 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)
- [3] 张家诚, 陈力, 郭泉水, 等. 演替顶级阶段森林群落优势树种分布的变动趋势研究 [J]. *植物生态学报*, 1999, 23(3): 256-268.
Zhang J C, Chen L, Guo Q S, et al. Research on the change trend of dominant tree population distribution patterns during development process of climax forest communities [J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 1999, 23(3): 256-268. (in Chinese)
- [4] 龚直文, 亢新刚, 顾丽, 等. 长白山云冷杉针阔混交林演替过程空间格局变化 [J]. *东北林业大学学报*, 2010, 38(1): 44-46, 53.
Gong Z W, Kang X G, Gu L, et al. Spatial pattern dynamics of forest succession in spruce-fir mixed stand in Changbai Mountain, Northeast China [J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 2010, 38(1): 44-46, 53. (in Chinese)
- [5] 李刚, 朱志红, 王孝安, 等. 子午岭乔木群落演替过程中种间联结性分析 [J]. *东北林业大学学报*, 2008, 36(11): 25-28.
Li G, Zhu Z H, Wang X A, et al. Analysis of inerspecific association for forest successional series of arbors in Ziwu Moution [J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 2008, 36(11): 25-28. (in Chinese)
- [6] 郑万钧. 中国树木志 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1985.
Zheng W J. *Flora of China* [M]. Beijing: China Forestry Press, 1985. (in Chinese)
- [7] 黄宝龙. 江苏植被 [M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1998.
Huang B L. *Vegetation of Jiangsu* [M]. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Press, 1998. (in Chinese)
- [8] 郭其强, 张文辉, 曹旭平. 基于模糊综合评判的森林群落稳定性评价体系模型构建: 以黄龙山主要森林群落为例 [J]. *林业科学*, 2009, 45(10): 20-24.
Guo Q Q, Zhang W H, Cao X P, et al. Establishment of an evaluation model of the forest community stability based on fuzzy synthetic evaluation: A case study of main forest communities in Huanglong mountains [J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2009, 45(10): 20-24. (in Chinese)
- [9] 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 Silvae Sinicae*, 2009, 45(2): 1-5. (in Chinese)
- [10] 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.
Zheng 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)
- [11] 闫东峰, 李纪亮, 何瑞珍, 等. 宝天曼栎类天然次生林群落稳定性研究 [J]. *西北林学院学报*, 2006, 21(5): 69-73.
Yan D F, Li J L, He R Z, et al. Community stability of Oak natural secondary forest in Baotianman nature reserve [J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2006, 21(5): 69-73. (in Chinese)
- [12] 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.
Tang M P, Tang S Z, Lei X D, et al. Comparison analysis on two minglings [J]. *Forest Resources Management*, 2004(4): 25-27. (in Chinese)
- [13] 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 position [J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 1999, 35(1): 37-42. (in Chinese)
- [14] 安慧君. 阔叶红松林空间结构研究 [D]. 北京: 北京林业大学, 2003.
An H J. Study on the spatial structure of the broad-leaved Korean pine forest [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2003. (in Chinese)
- [15] 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.
Hui G Y, Gadow K V, Albert M. A new parameter for stand spatial structure neighborhood comparison [J]. *Forest Research*, 1999, 12(1): 1-6. (in Chinese)
- [16] 巩 文. 洮河林区云、冷杉林分类型的多样性及稳定性 [J]. *中南林学院学报*, 2003, 23(2): 71-75.
- Gong W. A study of forest-type diversity and stability of spruce and fir on taohe forest range [J]. *Journal of Central South Forestry University*, 2003, 23(2): 71-75. (in Chinese)
- [17] 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)
- [18] 任青山. 天然次生林主要种群生态位结构的研究 [J]. *东北林业大学学报*, 1998, 26(2): 5-10.
Ren Q S. Study of Niche structure of dominant population in natural secondary forests [J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 1998, 26(2): 5-10. (in Chinese)
- [19] 杜道林, 刘玉成, 李 睿. 缙云山亚热带栲树林优势种群间联结性研究 [J]. *植物生态学报*, 1995, 19(2): 149-157.
Du D L, Liu Y C, Li R. Studies on the inerspecific association of dominant species in a subtropical catanopsis fargesii forest of Jinyun Mountain [J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 1995, 19(2): 149-157. (in Chinese)
- [20] 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)
- [21] 伊力塔, 韩海荣, 程小琴, 等. 灵空山林区辽东栎种群空间分布格局 [J]. *生态学报*, 2008, 28(7): 3254-3261.
Yi L T, Han H R, Cheng X Q, et al. Spatial distribution patterns of *Quercus liaotungensis* population in Lingkong Mountains [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(7): 3254-3261. (in Chinese)
- [22] 赵中华, 惠刚盈, 袁士云, 等. 小陇山锐齿栎天然林的树种多样性和结构特征 [J]. *林业科学*, 2008, 44(5): 605-610.
Zhao Z H, Hui G Y, Yuan S Y, et al. Tree species diversity and structure characteristics of *Quercus aliena* var. *acuteserrata* natural forest on Xiaolongshan [J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2008, 44(5): 605-610. (in Chinese)