

太岳山油松天然林林木的空间格局

张笑菁¹, 赵秀海^{1,*}, 康峰峰¹, 王娟¹, 贺自书², 马钦彦¹, 卢文敏¹, 药占文²

(1. 北京林业大学森林培育与保护教育部重点实验室, 北京 100083; 2. 山西省太岳林局灵空山林场, 山西 046500)

摘要:油松(*Pinus tabulaeformis*)耐低温、干旱和贫瘠,是我国北方温性针叶林中分布最广的森林群落,也是我国北方广大地区最主要的造林树种之一。太岳林区在山西省素称“油松之乡”,麻池背的油松天然林从封禁以来,在其生长过程中未受到干扰破坏,形成了独特的油松天然林生态系统顶级群落。2007年7月,在太岳林区灵空山林场的麻池背,设置了一块面积为4hm²的油松天然林样地,逐一测量并记录了样地内所有胸径大于1cm乔木树种的胸径(DBH),树高,冠幅(南北,东西)和枝下高,并对其挂牌标记,鉴定种名,确定坐标位置。用扩散系数 C ,平均拥挤度 m^* 和聚块性指数 m^*/m 及Morisita指数 I_g 对样地内林木的空间格局进行了判断,主要研究了油松林木空间格局随取样尺度、林木径级变化的动态以及油松上层木,下层木和枯立木的空间格局,另外还分析了主要伴生树种辽东栎(*Quercus liaotungensis*)以及其他所有阔叶树种的空间格局。研究结果表明:样地内胸径大于1cm的乔木树种共35种,3561株,油松2583株,占总个体数的72.50%,其中活立木2482株,枯立木101株;辽东栎319株,占总个体数的9.07%,为油松的主要伴生树种;其余各树种的个体数占总个体数的比例均不到4%。林分中构成中上层林的树种是油松,树高10m以上的乔木树种中,油松以外的其他树种只占了3.99%;10m以下的乔木树种和灌木组成了下层林木。油松的径级分布呈峰型,中径级个体多,主要集中在28—36cm,小径级与大径级则相对较少。在5m×5m,10m×10m,20m×20m三个尺度下,油松林木均为集群格局,且尺度变化对聚集程度影响不明显;同时对不同径级油松林木分布格局研究显示,除最大径级($d > 44$ cm)外,其余各径级基本都为集群格局,而最大径级为随机格局,表明随着生长发育,油松林木空间格局由集群格局逐渐向随机格局转变;油松上层木、下层木和枯立木均为集群格局;主要伴生树种辽东栎以及其他所有阔叶树种皆为集群格局。

关键词:油松;空间格局;尺度;径级

Spatial pattern of the trees in a natural *Pinus tabulaeformis* forest in Taiyue Mountain

ZHANG Xiaojing¹, ZHAO Xiuhai^{1,*}, Kang Fengfeng¹, Wang Juan¹, HE Zishu², MA Qinyan¹, Lu Wenmin¹, YAO Zhanwen²

¹ The Key Laboratory for Silviculture and Conservation of Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

² Ling Kongshan Mountain Forest Farm Taiyue Forest Bureau, Shanxi 046500, China

Abstract: *Pinus tabulaeformis* is the dominant species in the most widely distributed temperate coniferous forest community in northern China. The species is resistant to low temperatures, dry conditions and poor soil nutrient status. It is also one of the most important tree species for afforestation in large parts of northern China. Taiyue Forest Area is famous for its *Pinus tabulaeformis* in Shanxi Province, where it is known as the “township of *Pinus tabulaeformis*”. Since the closing of the hillsides to facilitate afforestation without disturbance for a long time the forest in Ma Chibei area formed a unique natural *Pinus tabulaeformis* climax community. In order to study the community spatial distribution pattern, a 400m² (20m×20m) plot of natural *Pinus tabulaeformis* was established in the Ma Chibei area on the Ling Kongshan Forest Farm of the Taiyue Forest Area in July 2007. All trees in the plot with a diameter at breast height (DBH) of 1cm or more were tagged, mapped, measured and identified as to their species. The measurements included the DBH, total tree height, two crown

基金项目:北京市教委项目(200702);财政部公益性行业科研专项(200904022);林业公益性行业专项(200804006/rhh-02);国家林业局山西太岳山森林生态站经费资助

收稿日期:2009-11-06; **修订日期:**2010-04-08

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhaoxh@bjfu.edu.cn

diameters (East-Westerly and North-Southerly direction) and height to the lowest live branch. The spatial distribution pattern of the trees in the plot was evaluated using four indices: the Coefficient of Dispersion (C), the Index of Mean Crowding (m^*), the Index of Patchiness (m^*/m) and Morisita's Index (I_g). The study focused on the sensitivity of the spatial pattern of *Pinus tabulaeformis* by changing the sampling scale and diameter range, and on the spatial pattern of the dominant, the overtopped and the dead standing trees of *Pinus tabulaeformis*. In addition, the spatial patterns of *Quercus liaotungensis* and other broad-leaved trees were evaluated using the four indexes. A total of 3561 trees with a $DBH \geq 1$ cm were recorded in the plot, which includes 35 species, of which 2583 individuals or 72.50 percent were *Pinus tabulaeformis* (2482 live and 101 dead standing); 319 were *Quercus liaotungensis*, the main associated tree species of *Pinus tabulaeformis*. The other 33 tree species together made up 18.4 percent of the total number, none of them was represented by more than 4 percent. In the structure composition of storey, *Pinus tabulaeformis* lies in upper-middle level, all other trees except *Pinus tabulaeformis* only account for 4 percent of the total number of the trees with a height ≥ 10 m; Lower level storey is made of trees less than 10 m and shrubs. The DBH distribution of *Pinus tabulaeformis* in the plot is unimodal and shows a maximum frequency in the diameter range 28—36 cm. *Pinus tabulaeformis* shows a clumped spatial distribution at three different sampling scales ($5\text{ m} \times 5\text{ m}$, $10\text{ m} \times 10\text{ m}$, $20\text{ m} \times 20\text{ m}$). The change of scale had no obvious effect on the degree of spatial aggregation. However, the biggest *Pinus tabulaeformis* ($d > 44\text{ cm}$) were randomly distributed. Thus, during the development of *Pinus tabulaeformis*, the spatial pattern gradually changed from clumped to random. The dominant, the overtopped and the dead standing trees of *Pinus tabulaeformis* as well as *Quercus liaotungensis* and other broad-leaved trees all showed a clumped distribution.

Key Words: *Pinus tabulaeformis*; spatial pattern; sampling scale; diameter class

种群空间格局是指种群个体在水平空间的配置状况或分布状态,也是种群生物学特性、种内种间关系及环境条件综合作用的结果,还是种群基本数量特征之一^[1-2]。对种群空间格局的研究和阐明有助于深化对群落结构的认识,正确描述林木的空间格局对判定林木分布规律,掌握其过程演化及预测其变化趋势亦具有重要意义^[3]。以往对这方面的研究很多^[4-10]。油松(*Pinus tabulaeformis*)为我国特有树种,耐低温、干旱和瘠薄,是我国温性针叶林中分布最广的森林群落,也是我国北方广大地区最主要的造林树种之一^[11]。太岳山林区在山西省素称“油松之乡”,灵空山一带的油松天然林是其精华所在^[12]。对天然油松种群空间格局特征进行研究,阐述油松林的结构和功能,从而为可持续经营管理、抚育培养等提供一定的理论依据。

1 研究区自然概况

研究地点位于山西省沁源县太岳林区灵空山林场,该地区地理坐标为东经 $112^{\circ}01'—112^{\circ}15'$,北纬 $36^{\circ}31'—36^{\circ}43'$ 。属暖温带大陆性季风气候,四季分明。年均气温 6.2°C , $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温 2542°C ,年降水量 662 mm ,无霜期 $110—125\text{ d}$ 。地势西高东低,海拔 $1150—2088\text{ m}$ (平均值为 1760 m),地貌属大起伏喀斯特侵蚀高中山,土壤为石灰岩母岩上发育的淋溶褐土,中厚土层, pH 值 6.7 。该地区为暖温带半干旱油松、辽东栎(*Quercus liaotungensis*)混交林区,经营面积 4931 hm^2 ,主要乔木树种有油松、辽东栎、白桦(*Betula platyphylla*)、棘皮桦(*Betula dahurica*)、核桃楸(*Juglans mandshurica*)、山杨(*Populus davidiana*)等。

2 研究方法

2.1 样地设置与调查

2007 年 7 月—2008 年 7 月,在灵空山麻池背设立 4 hm^2 的油松次生林固定样地($200\text{ m} \times 200\text{ m}$),样地位于东经 $112^{\circ}04'18''$,北纬 $36^{\circ}39'8''$,海拔 $1550—1560\text{ m}$,北坡,坡度 10° 。利用全站仪将样地划分为 $20\text{ m} \times 20\text{ m}$ 的样方,用 PVC 管做桩并标记。调查时将样地划分为 $10\text{ m} \times 10\text{ m}$ 的小样方,将样方内的所有胸径(DBH)大于 1 cm 的乔木挂牌编号,并记录种名、胸径、树高、冠幅(东西、南北冠幅)、枝下高及其所处坐标。

2.2 径级划分和尺度选择

本文按划分径级和不划分径级 2 种方式分析油松林木空间格局。不划分径级目的是为了研究尺度对油松空间格局的影响,划分径级的主要目的是想判断不同发育阶段油松的格局变化。这里采用 8cm 为 1 个径阶,4—12cm 为第 1 径级(上限排外),将 $d > 44\text{cm}$ 设为最后 1 个径级,一共划分了 6 个径级。以已有的样方为基础,将样地分别划分为 $5\text{m} \times 5\text{m}$, $10\text{m} \times 10\text{m}$, $20\text{m} \times 20\text{m}$ 三个取样尺度进行格局分析,样方数分别为 1600, 400, 100。

2.3 空间格局测定方法

本文采用扩散系数 $C^{[13]}$, 平均拥挤度 m^* 和聚块性 $m^*/m^{[1]}$ 及 Morisita 指数 $I_s^{[14]}$ 作为空间格局指标,其中:扩散系数 C 采用 t 检验是否呈随机格局, Morisita 指数 I_s 的随机格局偏离度用 F 检验。

3 结果与分析

3.1 林分树种组成和径级分布

样地实际调查乔木树种共 35 种, 3561 株, 主要树种情况如表 1 所示, 油松占 72.50%, 具有绝对优势, 辽东栎成为其主要伴生树种。除表格所列树种外, 样地内还有山杏 (*Armeniaca sibirica*), 山杨 (*Populus davidiana*), 榆树 (*Ulmus pumila*), 五角枫 (*Acer truncatum*), 蒙椴 (*Tilia mongolica*), 赤杨 (*Alnus japonica*) 等其他树种。林分中构成中上层林的树种是油松, 树高 10m 以上的乔木树种中, 油松以外的其他树种只占到了 3.99%。10m 以下的乔木树种和灌木组成了下层林木。从油松径级分布图(图 1) 可以看到, 其径级结构为峰型^[15](中径级个体储备型), 类似于正态分布, 个体主要集中在中径级, 28—36cm 径级的株数最多, 为 648 株, 占油松总株数的 26%, 小径级与大径级则相对较少。另外计算所得每个径级的平均树高, 依次为 7.42、12.35、17.04、18.29、18.70、18.65m, 可以看出随胸径的增加, 树高生长由快到慢, 表明油松的高生长主要集中在胸径生长到 24—28cm 之前, 之后则变慢。

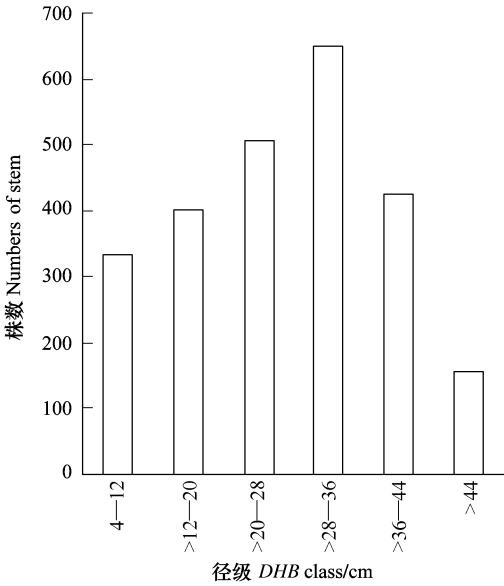


图 1 油松的径级分布图

Fig. 1 DBH distribution of *Pinus tabulaeformis*

表 1 样地主要树种情况

Table 1 The general condition of the main trees in the plot

主要树种 Main tree species	活立木 Living standing /株	枯立木 Dead standing /株	平均胸径 Average DBH /cm	平均树高 Average height /m	合计 Total /株	所占比例 Proportion /%	密度 Density /(株/hm ²)
油松	2482	101	26.60	15.60	2583	72.50	645.75
辽东栎	319	4	7.55	5.70	323	9.07	80.75
山楂	129	1	5.32	4.00	130	3.65	32.5
茶条槭	79	8	5.05	4.94	87	2.44	21.75
白桦	73	6	11.29	7.91	79	2.21	19.75
青楷槭	55	0	6.09	5.43	55	1.54	13.75
胡桃楸	44	0	9.48	7.27	44	1.24	11

3.2 不分径级油松林木的空间格局

根据调查时记录整理的数据, 统计了 $5\text{m} \times 5\text{m}$, $10\text{m} \times 10\text{m}$, $20\text{m} \times 20\text{m}$ 小样方内油松的分布株数。表 2 中

给出了所有 10m × 10m, 20m × 20m 小样方内油松的株数, 根据调查时记录的坐标, 做出了油松在样地内的分布点图(图 2)。分 3 个尺度, 计算了油松的扩散系数 C , 平均拥挤度 m^* , 聚块性指数 m^*/m 和 Morisita 指数, 结果如表 3 所示, 扩散系数和 Morisita 指数均判定为集群格局, 随着尺度的增大, 扩散系数和平均拥挤度明显增加, 聚块性指数和 Morisita 指数减小, 但变化不显著, 综合 3 种指标, 油松聚集强度随尺度的大小变化不明显, 3 个尺度下均为集群格局。前人研究表明, 对于个体呈随机格局的种群, 样方面积的变化只会改变样方平均值的大小, 而当个体呈集群格局时, 样方大小有可能对结果产生显著影响, 如果样方远大于种群分布斑块的大小, 测定结果会是一个均匀分布的格局, 样方面积太小, 取样资料会得出一个随机空间格局^[16]。此处样方的面积大小对其结果产生的影响不是特别明显。但是, 3 个尺度下均判定其为集群格局的研究结果符合以往的研究结论, 即绝大多数自然种群都服从聚集分布而不服从随机格局^[4, 10, 16-17]。

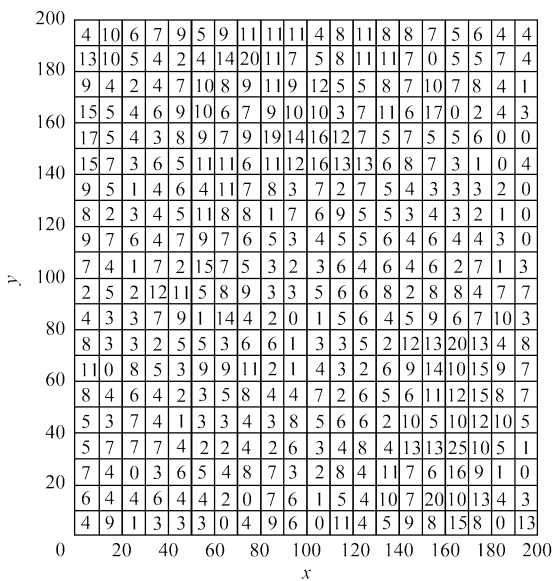


表 2 样地内油松在所有小样方中的分布

Table 2 Distribution of *Pinus tabulaeformis* of every sample in the plot

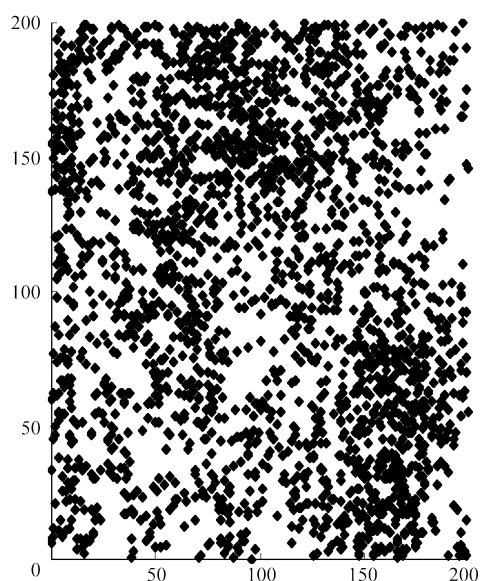


图 2 油松在样地内的点分布图

Fig. 2 Point distribution pattern of *Pinus tabulaeformis* in the plot

表 3 油松林木在不同尺度下的空间格局变化

Table 3 Change of spatial pattern of *Pinus tabulaeformis* with different sampling scales

样方边长 Block size /m	样方数 Number of the block	扩散系数 Coefficient of dispersion			平均拥挤度 Mean crowding	聚块性指数 Index of patchiness	Morisita 指数 Morisita's index		
		C	t	格局 Pattern	m^*	m^*/m	I_δ	F	格局 pattern
5	1600	1.48	13.57	c	2.03	1.31	1.31	1.48	c
10	400	2.56	22.02	c	7.72	1.25	1.25	2.56	c
20	100	6.17	36.35	c	29.96	1.21	1.21	6.17	c

注: r 随机格局; c 集群格局; 表中 $F_{0.05}$ 根据马钦彦^[18]提供的公式计算, 当 f_1 大于 500 时提供的公式, 可以得出 $F_{0.05}(1599, \infty) = 1.06$, $F_{0.05}(399, \infty) = 1.12$, $F_{0.05}(99, \infty) = 1.24$; 查 t 分布表得出 $t_{0.05}(\infty) = 1.96$, $t_{0.05}(120) = 1.98$

3.3 不同径级油松林木的空间格局

根据前面叙述的方法划分径级, 计算各径级林木的扩散系数 C , 平均拥挤度 m^* , 聚块性指数 m^*/m 和 Morisita 指数(表 4)。结果显示, 除最大径级($d > 44\text{cm}$)林木为随机格局外, 其它径级林木空间分布格局基本均为集群格局, 扩散系数 C , 平均拥挤度, 聚块性指数, Morisita 指数都随径级的增大而减小, 随径级的增大, 林分聚集分布的程度降低, 由集群格局逐渐向随机格局转变, 在最大径级时达到随机格局。前人的研究中, 不同发育阶段的种群, 其空间格局的形成取决于自身的生物、生态学特性, 同时与群落环境密切相关, 其中影响幼

树阶段空间格局的因素主要有母树、种子雨、发芽条件、同种个体的密度、不同种之间的竞争和动物的影响等^[19]。在这里其原因主要由于油松种子自然脱落以后通常会散落在母树周围呈现聚集生长,随着幼苗的逐渐长大,对资源和空间的需求增大,发生种内竞争,产生自疏现象,因此集群格局的趋势减弱,逐渐趋于随机格局。以往研究表明,随着种群发育,个体对环境要求的提高加剧了种内和种间的竞争,从而导致部分个体死亡,种群密度下降,故种群由聚集分布趋于随机格局^[7,10,20],本研究的结果支持了这一结论。

表 4 油松各径级林木在不同尺度下的空间格局变化
Table 4 Change of spatial pattern of *Pinus tabulaeformis* of each class size with three different sampling scales

样方边长 Block size /m	径级 Class size /cm	样方数 Number of the block	扩散系数 Coefficient of dispersion			平均拥挤度 Mean crowding m^*	聚块性指数 Index of patchiness m^*/m	Morisita 指数 Morisita's index		
			C	t	格局 Pattern			I_δ	F	格局 Pattern
5	4—12	1600	1.55	15.54	c	0.76	3.61	3.75	1.55	c
	>12—20	1600	1.46	12.97	c	0.71	2.84	2.78	1.46	c
	>20—28	1600	1.35	9.86	c	0.67	2.09	2.06	1.35	c
	>28—36	1600	1.26	7.38	c	0.66	1.65	1.62	1.26	c
	>36—44	1600	1.00	0.13	r	0.27	1.00	0.98	1.00	r
	>44	1600	1.01	0.16	r	0.11	1.10	0.96	1.01	r
10	4—12	400	2.71	24.22	c	2.54	3.06	3.06	2.71	c
	>12—20	400	2.29	18.19	c	2.27	2.32	2.31	2.29	c
	>20—28	400	2.10	15.59	c	2.35	1.88	1.88	2.10	c
	>28—36	400	1.80	11.27	c	2.42	1.49	1.49	1.80	c
	>36—44	400	1.21	3.00	c	1.28	1.20	1.20	1.21	c
	>44	400	1.11	1.67	r	0.5	1.28	1.29	1.11	r
20	4—12	100	6.83	41.05	c	9.47	2.60	2.59	6.83	c
	>12—20	100	5.02	28.29	c	8.22	1.96	1.95	5.02	c
	>20—28	100	4.68	25.87	c	8.83	1.71	1.71	4.68	c
	>28—36	100	2.75	12.35	c	8.53	1.26	1.26	2.75	c
	>36—44	100	1.46	3.26	c	4.78	1.11	1.11	1.46	c
	>44	100	1.20	1.44	r	1.75	1.13	1.13	1.20	r

3.4 油松上层木、下层木和枯立木的空间格局

本次研究根据平均树高,以林木的树高为标准分别选取了林分总株数中 10% 的油松上层木和 10% 的油松下层木,研究了其空间格局(表 5),结果显示:优势木和被压木均为集群格局。优势木和被压木出现集群格局是由于局部的环境条件,土壤,水分,阳光等明显的优于或劣于周围的环境而导致,在森林抚育上,一般根据优势木确定立地指数,因此根据此优势木和被压木的分布可以给林分的抚育间伐提出指导和建议。

表 5 油松上层木、下层木和枯立木的空间格局
Table 5 Spatial pattern of the dominant, overtopped and dead standing trrees of *Pinus tabulaeformis*

类型 Type	样方边长 Block size /m	样方数 Number of the block	扩散系数 Coefficient of dispersion			平均拥挤度 Mean crowding m^*	聚块性指数 Index of patchiness m^*/m	Morisita 指数 Morisita's index		
			C	t	格局 Pattern			I_δ	F	格局 Pattern
上层木 Dominant	5	1600	1.44	3.12	c	0.60	3.75	3.85	1.44	c
	10	400	2.94	13.61	c	2.57	4.08	4.10	2.94	c
	20	100	8.32	51.53	c	9.82	3.93	3.91	8.32	c
下层木 Overtopped	5	1600	1.38	10.99	c	0.69	2.23	3.49	1.38	c
	10	400	2.30	18.29	c	1.46	9.13	3.07	2.30	c
	20	100	4.82	26.88	c	6.32	2.53	2.52	4.82	c
枯立木 Dead standing	10	400	1.57	4.02	c	0.85	3.04	3.12	1.57	c
	20	100	1.78	5.47	c	2.96	1.36	1.36	1.78	c

根据调查时所记录的情况,枯立木一共有 101 株,比较符合发育成熟的油松林。由于枯立木株数只有 101 株,因此只在 $10\text{m} \times 10\text{m}$, $20\text{m} \times 20\text{m}$ 两个尺度下分析了其空间格局,结果如表 5 示,扩散系数 C 和 Morisita 指数的判定结果均为集群格局,主要原因是林分密度过大,林木对资源竞争激烈,一些竞争力差的植株死亡,或者局部林地条件差,比如土壤养分,水分,光照等达不到油松生长所需要的条件而导致的死亡。

3.5 辽东栎 (*Quercus liaotungensis*) 林木和其他阔叶树种的空间格局

辽东栎占乔木总数的 9.07%, 是油松林中的主要伴生树种,平均胸径 7.55cm,分析表明(表 6),辽东栎和其他阔叶树种在 3 个尺度下均为集群格局,随尺度的增加,扩散系数 C 和平均拥挤度增大,聚块性指数和 Morisita 指数减小。聚集的发生除了上面提到的原因外,跟种间的相互作用也有关系。

表 6 辽东栎和其他阔叶树种的空间格局

Table 6 Spatial pattern of *Quercus liaotungensis* and other broad-leaved trees with three different sampling scales

类型 Type	样方边长 Block size /m	样方数 Number of the block	扩散系数 Coefficient of dispersion			平均拥挤度 Mean crowding m^*	聚块性 指数 Index of patchiness m^*/m	Morisita 指数 Morisita's index		
			C	t	格局 Pattern			I_δ	F	格局 Pattern
辽东栎	5	1600	2.45	40.89	c	1.65	8.25	8.09	2.45	c
<i>Quercus</i>	10	400	5.69	66.21	c	5.50	6.79	6.77	5.69	c
<i>liaotungensis</i>	20	100	15.3	102.24	c	17.52	5.44	5.48	15.3	c
其他阔 叶树种	5	1600	1.96	27.02	c	1.37	3.34	3.27	1.96	c
Other broad-	10	400	3.24	31.69	c	3.89	2.36	2.34	3.24	c
leaved	20	100	5.17	29.34	c	10.78	1.63	1.63	5.17	c

4 结论

4.1 样地内树种组成比较简单,与张赟^[10] 内蒙古黑里河的油松林相似,也是主要以油松为优势种的纯林。但其径级分布呈峰型,两头少,中间多,林下的油松幼苗非常少,油松平均胸径 26.6cm,平均树高 15.6cm,中径级林木较多,属于发育较成熟,稳定的林分。

4.2 3 个尺度下,太岳山油松天然林中油松林木都为集群格局,且随着尺度的增大,聚集强度变化不明显,以往的研究中所得的结果是,大多数自然种群服从集群格局^[4-5,10,16-17],其中也包括了针叶树种^[10,16-17]。在自然情况下这是树木生长、存活以及竞争等的适宜微环境条件分异的结果,这是种内和种间竞争以及种群与生境相互作用的结果,反映了种群的一种适应机制^[7,10,21]。随着油松径级的增加,聚集的趋势减弱,形成随机格局,说明不同发育阶段的油松格局不同,幼年时期聚集生长,成年以后逐渐扩散。前人的研究中,不同发育阶段的种群格局变化也有很多得到了这样的结果^[7,10,20,22]。油松的这种格局变化主要是与其种子扩散机制有关,油松种子自然脱落以后,通常不会扩散很远,而是散落在母株周围,这样幼树聚集生长,随着幼树生长,进而产生了种间竞争,种群的聚集强度减弱,如果种群扩散强,分布类型就可能发生改变,由集群格局逐步形成随机格局,扩散弱,则种群仍表现为集群格局,幼年集群生长还有利于其抵抗自然灾害以及病虫害的侵袭,另外油松具喜光特性,大树形成的林隙也成为集群生长的原因。

4.3 样地内油松的优势木,被压木都为集群格局,可能是局部的小环境异质性,导致了优势木和被压木的集群格局,在森林经营的过程中,可以采用抚育和间伐等措施,调整林分的各类生态因子间的关系。另外,枯立木所占的比例较小,林分整体健康状况良好,人为破坏较少。

4.4 样地内主要伴生树种辽东栎为集群格局,其他所有阔叶树种也为集群格局,其原因与种子的散布方式、生物学特性、种间关系以及地形的差异性有关。

References:

- [1] Wu C Z, Hong W, Wu J L, Huang Y. Spatial distribution pattern of the endangered and rare plant *Tsuga longibracteata*. Journal of Plant

- Resources and Environment, 2000, 9(1):31-34.
- [2] Zhang J T. Methods in Quantitative Vegetation Ecology. Beijing: China Science and Technology Press, 1995:1-370.
- [3] Hui G Y, Li L, Zhao Z H, Dang P X. The comparison of methods in analysis of the tree spatial distribution pattern. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(11): 4717-4728.
- [4] Manabe T, Yamamoto S I. Spatial distribution of *Eurya japonica* in an old-growth evergreen broad-leaved forest, SW Japan. Journal of Vegetation Science, 1997, 8: 761-772.
- [5] Manabe T, Nishimura N, Miura M, Yamamoto S. Population structure and spatial patterns for trees in a temperate old-growth evergreen broad-leaved forest in Japan. Plant Ecology 2000, 151:181-197.
- [6] Li X K, Su Z M, Xiang W S, Ning S J, Tang R Q, Ou Z L, Li R T. Study on the Structure and Spatial Pattern of the endangered Plant Population of *Abies yuanbaoshanensis*. Acta Ecologica Sinica, 2002, 22(2):2246-2253.
- [7] Li M H, He F H, Liu Y, Pan C D. Spatial distribution pattern of tree individuals in the Schrenk spruce forest, northwest China. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(5):1000-1006.
- [8] Zhang C Y, Zhao X H. Spatial points pattern analysis using random square-quadrats method Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(7): 3108-3115.
- [9] Zhang C Y, Zhao X H, Xia F C. Spatial distribution of tree species and environmental interpretations of secondary forest in Changbai Mountains. Scientia Sinica, 2008, 44(8):1-8.
- [10] Zhang Y, Zhang C Y, Zhao X H. Spatial Distribution Pattern of Main Tree Species in *Pinus tabulaeformis* Forest of Heilihe in Inner-Mongolia. Acta Bot. Boreal.-Occident. Sin., 2009, 9(1):0167-0173.
- [11] Luo T X, Li W H, Zhao S D. Productivity distribution patterns and modeling of *Pinus tabulaeformis* in China. Chinese Journal of Applied Ecology, 1999, 10(3):257-261.
- [12] Chen G C, Hao S C, Li Y, Zhang H D, Pian T H. Study on Natural Forest Stand Structure of *Pinus tabulaeformis* in Machibei. Shanxi Forestry Science and Technology, 2004, 4:10-13.
- [13] David F N, Moore P G. Notes on contagious distribution in plant populations. Annals of Botany, 1954, 18:47-53.
- [14] MORISITA, M. Composition of the I_g Index. Researches in Population Ecology, 1971, 13: 1-27.
- [15] Ye W H, Cao H L, Huang Z L, Lian J Y, Wang Z G, Li L, Wei S G, Wang Z M. Community structure of a 20 hm² lower subtropical evergreen broad-leaved forest plot in Dinghushan, China. Journal of Plant Ecology, 2008, 32(2):274-286.
- [16] Zheng Y R. The applicability of various methods in analysis of *Picea Mongolica* population spatial distribution pattern. Acta Phytocologica Sinica, 1997, 21(5): 480-484.
- [17] Taylor A H, Qin Z S and Liu J. Structure and dynamics of subalpine forests in the Wang Lang Natural Reserve, Sichuan, China. Plant Ecology, 1996, 124(1):25-38.
- [18] Ma Q Y. Analysis of the negative binomial distribution and test of population pattern, Journal of Beijing Forestry University, 2009, 31(3):1-5.
- [19] Wang W, Liu C R, Ma K P, Yu S L. Population structure and dynamics of *Quercus liaotungensis* in two broad-leaved deciduous forests in Dongling Mountain, Northern China. Acta Botanica Sinica, 1999, 41(4):425-432.
- [20] Xu X H, Yu M J, Hu Z H, Li M H, Zhang F G. The structure and dynamics of *Castanopsis eyrei* population in Gutian Mountain Natural Reserve in Zhejiang, East China. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(3): 645-653.
- [21] Nishimura N, Hara T, Miura M, Manabe T, Yamamoto S. Tree competition and species coexistence in a warm-temperate old-growth evergreen broad-leaved forest in Japan. Plant Ecology, 2002, 164:235-248.
- [22] Song P, H W, Wu C Z, Feng L, Fan H L, Zhu H, Lin Y M, Zhang Q. Population structure and its dynamic of rare and endangered plant *Alsophila spinulos*. Chinese Journal of Applied Ecology, 2005, 16(3):413-418.

参考文献:

- [1] 吴承祯, 洪伟, 吴继林, 黄毅. 珍稀濒危植物长苞铁杉的空间格局. 植物资源与环境学报, 2009(1):31-34.
- [2] 张金屯. 植被数量生态学方法. 北京: 中国科学技术出版社, 1995: 1-370.
- [3] 惠刚盈, 李丽, 赵中华, 党普兴. 林木空间分布格局分析方法. 生态学报, 2007, 27(11): 4717-4728.
- [6] 李先琨, 苏宗明, 向悟生, 宁世江, 唐润琴, 欧祖兰, 李瑞棠. 濒危植物元宝山冷杉种群结构与分布格局. 生态学报, 2002, 22(12): 2246-2253.
- [7] 李明辉, 何风华, 刘云, 潘存德. 天山云杉种群空间格局与动态. 生态学报, 2005, 25(5): 1000-1006.
- [8] 张春雨, 赵秀海. 随机区块法在空间点格局分析中的应用. 生态学报, 2008, 28(7): 3108-3115.
- [9] 张春雨, 赵秀海, 夏富才. 长白山次生林树种空间分布及环境解释. 林业科学, 2008, 44(8): 1-8.
- [10] 张赞, 张春雨, 赵秀海. 内蒙古黑里河天然油松林主要树种的空间分布格局. 西北植物学报, 2009, 29(1): 0167-0173.
- [11] 罗天祥, 李文华, 赵士洞. 中国油松生产力与格局与模拟. 应用生态学报, 1999, 10(3): 257-261.
- [12] 陈光彩, 郝士成, 李怡, 张宏达, 骈铁虎. 麻池背油松天然林分生长结构的研究. 山西林业科技, 2004, 4:10-13.
- [15] 叶万辉, 曹洪麟, 黄忠良, 练娟瑜, 王志高, 李林, 魏识广, 王章明. 鼎湖山亚热带常绿阔叶林 20 公顷样地群落特征研究. 植物生态学报, 2008, 32(2): 274-286.
- [16] 郑元润. 不同方法在沙地云杉种群空间格局分析中的适用性研究. 植物生态学报, 1997, 21(5):480-484.
- [18] 马钦彦. 负二项式分布及种群格局检验分析. 北京林业大学学报, 2009, 31(3): 1-5.
- [19] 王巍, 刘灿然, 马克平, 于顺利. 东灵山两个落叶阔叶林中辽东栎种群结构和动态. 植物学报, 1999, 41(4): 425-432.
- [20] 徐学红, 于明坚, 胡正华, 李铭红, 张方钢. 浙江古田山自然保护区甜槠种群结构与动态. 生态学报, 2005, 25(3): 645-653.
- [22] 宋萍, 洪伟, 吴承祯, 封磊, 范海兰, 朱慧, 林勇明, 张琼. 珍稀濒危植物桫欏种群结构与动态研究. 应用生态学报, 2005, 16(3): 413-418.