

# 赤峰市黑里河天然油松林空间分布格局研究

奇 凯, 张春雨, 侯继华, 吴 蕾, 邹 璐, 赵秀海

(北京林业大学 省部共建森林培育与保护教育部重点实验室, 北京 100083)

**摘 要:**在黑里河自然保护区内设立面积为  $1.96 \text{ hm}^2$  的固定样地, 用样方法对油松林物种组成及其分布进行调查分析。为了对天然油松林的格局分布状况进行更深入、更明确的认识, 运用均匀度、点格局、角尺度 3 种格局研究方法对样地中的主要树种的空间格局进行了分析。结果表明: 乔木层中油松是优势树种。主要伴生树种有糠椴、蒙古栎、色木槭和白桦。各主要伴生树种均为集群分布。油松种群在  $1\sim 65 \text{ m}$  的尺度上呈聚集分布, 当尺度大于  $65 \text{ m}$  时呈随机分布。油松幼树和小树为聚集分布, 油松大树为随机分布。3 种分析方法分析结果一致。3 种方法在格局检验上各有优势。研究可为以后的种群格局研究在方法选择上提供参考。

**关键词:**天然油松林; 空间格局; 均匀度; 点格局; 角尺度

中图分类号: S718.542; S791.254

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2010)04-0239-04

## Spatial Pattern of *Pinus tabulaeformis* Forest

QI Kai, ZHANG Chun-yu, HOU Ji-hua, WU Lei, ZOU Lu, ZHAO Xiu-hai

(Key Laboratory for Silviculture and Conservation of Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** A *Pinus tabulaeformis* forest which was established in Heilihe natural reserve with the area of  $1.96 \text{ hm}^2$  in Inner Mongolia was investigated by sampling methods. The objective of the study was to obtain a better understanding of the structure of *Pinus Tabulaeformis* Forest. Spatial patterns of main tree species were analyzed by uniform index analysis, point pattern analysis and angle index analysis. *Pinus tabulaeformis* was dominant species in arbor layer. The main concomitance species were *Tilia mandshurca*, *Quercus mongolica*, *Acer mono* and *Betula platyphylla*. Main concomitance species showed a concentrated distribution in the forest. *Pinus tabulaeformis* showed an aggregated distribution at scale of  $1\sim 65 \text{ m}$  and random distribution at scale of  $65\sim 70 \text{ m}$ . The saplings and the small trees of *Pinus tabulaeformis* showed an aggregate distribution, but the big trees showed a random distribution. Every method has its own superiority. This study will supply theoretic foundation for the future research.

**Key words:** *Pinus tabulaeformis* forest; spatial pattern; uniform index; point pattern; angle index

空间格局是物种与环境长期相互作用的结果, 格局的形成与物种的生物学特征、种内种间竞争以及群落内环境变化密切相关<sup>[1-2]</sup>。不同发育阶段的同种植物也可能有不同的空间格局<sup>[3]</sup>。格局分析有助于揭示该格局形成的生态学过程、种群利用环境资源的状况以及种群的生物学内涵<sup>[4]</sup>。

油松(*Pinus tabulaeformis*)是我国特有种, 具有耐低温、干旱和瘠薄的生态学特性, 是优良的造林树种, 在保持水土、涵养水分、净化大气、保护生物多样性以及林业生产等方面发挥了极其重要的作用。黑

里河自然保护区位于内蒙古赤峰市宁城县的西南部, 这里的天然油松林是我国北方现今保存面积最大、长势最好的天然油松林。为了对天然油松林的格局分布状况进行更深入、更明确的认识, 本次研究通过 3 种不同的格局检验方法对黑里河天然油松林的种群分布结构进行分析研究, 不仅判断出研究地种群及群落的分布格局状态, 同时比较了 3 种检验方法的优缺点及可靠性, 为以后对天然油松进行各项抚育采伐利用提供相应的理论基础, 而且也以后对种群格局的分析方法的选择上提供了参考依据。

## 1 研究地区概况

研究地点位于内蒙古黑里河国家自然保护区,保护区面积 27 638 hm<sup>2</sup>,海拔为 770~1 836 m,地势西高东低,北坡相对较缓。该区属于温带大陆性季风气候,其特征为夏季短而炎热,雨热同季,冬季漫长而严寒。年降水量为 500~750 mm,冬季积雪在 190 mm 左右,年平均气温为 4.8℃,无霜期约 110 d,年日照时数 2 800~2 900 h。土壤为棕壤土,地带性土壤的水平 and 垂直分布明显。保护区内油松林面积达 4 667 hm<sup>2</sup>,是该地区最主要的植物群系,具有重要的保护价值<sup>[5]</sup>。

## 2 研究方法

### 2.1 样地调查

样地于 2007 年 5 月建立,为标准的永久性样地,样地面积 1.96 hm<sup>2</sup>(140 m×140 m)。用 Topcon 全站仪设定了样地的坐标基轴,再用全站仪将整个样地划分为 20 m×20 m 的样方。2007 年 7 月,以 20 m×20 m 样方为单位,将其进一步划分为 16 个 5 m×5 m 的小样方。将样地内的所有高度大于 1.3 m、胸径大于 1 cm 的乔木用铝合金号牌编号,并记录种名、胸径、树高、冠幅(东西冠幅长、南北冠幅长)及其所处坐标。坐标测定方法为测量植株到其所在 5 m×5 m 小样方 4 个边的垂距,之后转换为样地内的坐标。

### 2.2 空间结构分析

2.2.1 均匀度 在一定地段上,植物个体的总独占圆面积与地段总面积的  $\pi/4$  倍之比称做均匀度(当样地形状不是长方形时也使用这个定义)<sup>[6]</sup>。

设  $a$  为植物个体的总独占圆面积,  $A$  为样地总面积,令  $L=4a/\pi A$  为均匀度,则:  $a=\pi AL/a$

设  $\bar{\omega}=\sum_i d_i^2/n$  为植物体最近邻体的距离平方的平均数,则:  $a=\pi/4n\bar{\omega}$

$$\bar{\omega}=4a/\pi n=(4/\pi n)(\pi AL/4)=AL/n$$

当格局为随机格局时,根据 Pielou 的证明, $\bar{\omega}$  有密度函数:  $f(\bar{\omega})=\frac{(n\lambda)\bar{\omega}^{n-1}e^{-n\bar{\omega}}}{\Gamma(n)}$

$2n\lambda\bar{\omega}$  服从  $X^2$  分布,  $\lambda$  为每单位半径圆内的平均个体数,即  $\lambda=\pi n/A$ , 则有  $2n\lambda\bar{\omega}=2n(\pi n/A)(AL/n)=2\pi nL$  服从自由度为  $2n$  的  $X^2$  分布。则  $L\sim x^2(2n)/2\pi n$ , 且有  $E(L)=1/\pi$ ,  $L$  的方差  $D(L)=D(x^2(2n))/4\pi^2 n^2=4n/4\pi^2 n^2=1/n\pi^2$ , 设  $x^2(2n)$  的 95% 置信区间为  $[X_1, X_2]$ , 则当  $L<X_1/2\pi n$  时,格局判定为集聚格局;当  $L>X_2/2\pi n$  时,格局判定为均匀格

局;当  $X_1/2\pi n<L<X_2/2\pi n$  时,格局判定为随机格局。

应用均匀度理论检验格局类型是通过 arcview 软件来进行运算。

2.2.2 点格局 本文按照张金屯<sup>[7]</sup>介绍的公式进行计算:

$$K(t)=\left(\frac{A}{n_2}\right)\sum_{i=1}^n\sum_{j=1}^n\frac{1}{W_{ij}}I_t(u_{ij}) \quad (i\neq j)$$

式中:  $u_{ij}$ ——点  $i$  和点  $j$  之间的距离,当  $u_{ij}\leq t$  时,  $I_t(u_{ij})=1$ ,当  $u_{ij}>t$  时,  $I_t(u_{ij})=0$ ;  $W_{ij}$  为以点  $i$  为圆心;  $u_{ij}$ ——半径的圆周长在面积  $A$  中的比例。

实际上  $K(t)/\pi$  平方根在表现格局关系时更有用,因为在随机分布下,其可使方差保持稳定,同时它与  $t$  有线性关系,我们用  $H(t)$  表示  $K(t)/\pi$ ,  $H(t)=\sqrt{K(t)/\pi}$ ,将  $H(t)$  的值减去  $t$ , 得到  $H(t)$  的值:  $H(t)=\sqrt{K(t)/\pi}-t$

在随机分布下,  $H(t)$  在所有的尺度  $t$  下均应等于 0, 若  $H(t)>0$ , 则在尺度  $t$  下种群为集群分布, 若  $H(t)<0$ , 则为均匀分布<sup>[8]</sup>。

本文通过 10 000 次 Monte Carlo 随机模拟计算 99% 的置信区间,  $H(t)$  位于上包迹线之上时为聚集分布, 上下包迹线之间时为随机分布, 下包迹线之下时为均匀分布。空间尺度为样地最短边长的一半(70 m), 步长取 1 m。点格局分析采用 ADE-4 软件包进行。

2.2.3 角尺度 从参照树出发,任意两个最近相邻木的夹角有两个,令小角为  $\alpha$ ,角尺度被定义为  $\alpha$  角小于标准角  $\alpha_0$  的个数占所考察的最近 4 株相邻木的比例。  $W_i=0$  表示 4 株最近相邻木在参照树周围分布是特别均匀的状态,  $W_i=0.5$  表示 4 株最近相邻木在参照树周围分布是特别随机的状态,  $W_i=1$  则表示 4 株最近相邻木在参照树周围分布是特别不均匀的或聚集的状态。角尺度既可用分布图,也可用分布的均值表达,角尺度分布图对称表示林木分布为随机即位于中间类型(随机)两侧的频率相等;若左侧大于右侧则为均匀;若右侧大于左侧则为团状。更为精细的分析可以角尺度均值  $\bar{W}$  的置信区间为准:随机分布时  $\bar{W}$  取值范围为  $[0.475, 0.517]$ ;  $\bar{W}>0.517$  时为团状分布;  $\bar{W}<0.475$  时为均匀分布。 $\bar{W}$  用公式表示为<sup>[9]</sup>:

$$\bar{W}=\frac{1}{N}\sum_i W_i, W_i=\frac{1}{4}\sum_{j=1}^4 Z_{ij}, Z_{ij}=\begin{cases} 1, & \text{当第 } j \text{ 个 } \alpha \text{ 角小于标准角 } \alpha_0 \\ 0, & \text{否则} \end{cases}$$

利用空间结构分析程序——Winkelmass, 计算样地内林分的空间结构参数,角尺度为 3 个参数之一。

3 结果与分析

调查显示,黑里河天然油松林群落中,乔木树种共计 6 812 株,油松 4 177 株,平均胸径 6.58 cm。乔木优势种是油松(*Pinus tabulaeformis*),主要伴生种有糠椴(*Tilia mandshurca*),蒙古栎(*Quercus mongolica*),色木槭(*Acermono*)和白桦(*Betul platyphylla*)。林分中的油松、蒙古栎、糠椴、色木槭等主要树种的平均胸径在 5 cm 左右,处于幼年的阶段,从最大胸径来看,各树种均有比较老龄的单木。灌木层的优势种有毛榛子(*Corylus mandshurica*)、山楂叶悬钩子(*Rubus crataegi foli-*

*us*)、三裂绣线菊(*Spiraea trilobata*)、胡枝子属(*Lespedeza*)和忍冬属(*Lonicera*)等植物。草本层中常见的植物有羊胡子苔草(*Carex callitrichos*)、银背风毛菊(*Saussureanivea*)、马蔺(*Iris lactea*)、玉竹(*Polygonatum odoratum*)、大油芒(*Spodiopogon sibiricus*)和小红菊(*Dendranthema chanetii*)等。

本次研究中,在判断油松种群不同生长阶段个体的空间分布格局时,根据种群生长状况也便于统计分析将其分为 3 级:幼树( $1\text{cm}\leqslant\text{DBH}\leqslant 10\text{cm}$ ,3 551 株)、小树( $10\text{ cm}<\text{DBH}\leqslant 30\text{ cm}$ ,298 株)和大树( $\text{DBH}>30\text{ cm}$ ,328 株)。

表 1 油松林主要树种的均匀度分析结果

物种	均匀度	下限	上限	格局类型
油松	0.212946	0.308647	0.327953	+
油松幼树(胸径 $\leqslant 10\text{ cm}$ )	0.186522	0.30783	0.32877	+
油松小树( $10\text{cm}<\text{胸径}\leqslant 30\text{ cm}$ )	0.281689	0.283851	0.354442	+
油松大树(胸径 $>30\text{ cm}$ )	0.339662	0.283851	0.352749	—
糠椴	0.0135625	0.281213	0.355387	+
蒙古栎	0.0888317	0.296283	0.340317	+
色木槭	0.0578532	0.299682	0.336918	+
白桦	0.0457921	0.283147	0.353453	+

注: +表示聚集分布;—表示随机分布。

3.1 主要树种均匀度分析

从表 1 可以看出,黑里河天然油松林内主要树种在空间上都表现出聚集性分布的特征。韩路等<sup>[10]</sup>认为种群的个体数越多,形成聚集分布的可能性越大,且聚集分布有利于种群抵抗不良环境。种群空间分布格局是生物群落中各种内外因素相互作用最直接的反应结果,不仅与物种的生物学特性和种群间的竞争排斥有关,而且与物种的生境(包括土壤、地形、地貌等)有密切的联系<sup>[11]</sup>。油松种群在林内的密度最大,易形成聚集分布。油松的种粒大,不易散播,下落位置相对集中,油松幼树往往形成以母树为中心的聚

集分布<sup>[5]</sup>。但随着油松种群的继续发育,不断长大的油松个体对环境资源的要求逐渐加强,特别是对光、养分的要求,于是种内和种间竞争增加,淘汰部分个体,产生自然稀疏的现象,种群密度下降,存活下来的个体之间的空间增大,竞争减小,种群逐渐呈现为随机分布。林内油松幼树株数占油松总体的 85%,影响油松种群的空间格局也呈聚集分布。由于其他几个树种的小树和大树个体数少,所以其空间分布也主要受其幼树空间格局的影响。此外,这几个树种均具有一定的根萌能力,这种生物学特性使其幼龄个体容易在空间上形成聚集分布,影响到整个种群的空间分布。

表 2 油松林主要树种的点格局分析结果

物种	尺度/m							
	1~10	11~20	21~30	31~40	41~50	51~60	61~65	66~70
油松	+	+	+	+	+	+	+	—
油松幼树(胸径 $\leqslant 10\text{ cm}$ )	+	+	+	+	+	+	+	+
油松小树( $10\text{ cm}<\text{胸径}\leqslant 30\text{ cm}$ )	+	+	+	+	+	+	+	+
油松大树(胸径 $>30\text{ cm}$ )	—	—	—	—	—	—	—	—
糠椴	+	+	+	+	+	+	+	+
蒙古栎	+	+	+	+	+	+	+	+
色木槭	+	+	+	+	+	+	+	+
白桦	+	+	+	+	+	+	+	+

注: +:聚集分布;—:随机分布。

3.2 主要树种点格局分析

从表 2 可看出,油松在尺度 1~65 m 呈聚集分布,当尺度大于 65 m 时呈随机分布。植物种群在不同生长阶段往往表现出不同的空间格局,同一生长阶

段个体在不同空间尺度下也会呈现不同的空间分布格局<sup>[5]</sup>。油松喜光,更新主要在林隙进行,因此在小尺度上,其空间分布呈聚集分布,随着尺度的增大,最终呈随机分布。

表 3 油松林主要树种的角尺度分析结果

树种	平均角尺度	格局
油松	0.556	+
油松幼树(胸径≤10 cm)	0.564	+
油松小树(10 cm<胸径≤30 cm)	0.540	+
油松大树(胸径>30 cm)	0.517	—
糠椴	0.647	+
蒙古栎	0.625	+
色木槭	0.639	+
白桦	0.633	+

3.3 主要树种角尺度分析

通过表 3 可知  $\bar{W}$  的取值,以判断格局类型。从各树种平均角尺度的取值,可以看出不同的聚集程度,糠椴为 0.647,聚集程度最高,其次是色木槭为 0.639,油松的聚集程度最低。油松种群从幼树、小树到大树,聚集程度逐渐降低,支持物种的空间格局会随着种群发育而趋于随机分布<sup>[10]</sup>这一结论。

4 结论与讨论

4.1 主要树种空间格局

黑里河天然油松林内主要树种空间分布呈聚集分布,主要受各树种幼树空间分布格局影响。自然情况下,聚集分布是种群最普遍的分布形式。聚集分布有利于种群发挥群体效应,形成适于自身生长的环境,抵御外来种的入侵,从而维持种群的正常发展<sup>[10]</sup>。形成聚集分布的原因有很多,就油松而言,幼树数量、种子传播方式、更新方式是其空间分布呈聚集分布的主要原因。其他伴生种根萌更新的方式使其幼树形成聚集分布,进而导致种群整体呈聚集分布。此外,白桦、山杨等树种喜光的习性,使其偏重于林窗林隙更新,也易形成聚集分布。油松从幼树到小树到大树,空间分布从聚集分布趋于随机分布,这与种群发育,个体对环境要求提高,竞争加剧,部分个体死亡,种群密度下降相符。通过点格局方法分析,油松种群在空间尺度小于等于 65 m 时呈聚集分布,大于 65 m 时呈随机分布。地理差异及林木生长的小环境是不同区域油松种群分布形成差异的主要原因,油松在不同尺度下通常表现出不同的空间分布格局<sup>[5]</sup>。

4.2 三种格局研究方法比较

由表 4 可知,用 3 种不同的格局检验方法对黑里河天然油松林主要树种的空间格局进行分析所得结论一致。

通过对黑里河天然油松林主要树种空间格局的研究,分析比较 3 种不同的格局分析方法,结论如下:  
(1)点格局分析方法能够分析不同空间尺度下种群的

空间格局,结果清楚直观,能够更好的反映群落的空间特征。(2)角尺度分析方法通过知  $\bar{W}$  的值判断格局类型,当种群为聚集分布时,可直接通过  $\bar{W}$  值的大小来判断种群的聚集程度。(3)均匀度的定义有效地将格局的定性分析和定量分析统一起来,计算和操作均比较方便,有更好的理论依据和直观性,特别适用于森林择伐对空间格局的控制。

表 4 三种格局研究方法的结果对比

物种	点格局	角尺度	均匀度
油松	+	+	+
油松幼树(胸径≤10 cm)	+	+	+
油松小树(10 cm<胸径≤30 cm)	+	+	+
油松大树(胸径>30 cm)	—	—	—
糠椴	+	+	+
蒙古栎	+	+	+
色木槭	+	+	+
白桦	+	+	+

参考文献:

[1] Janzen D H. Herbivores and the number of tree species in tropical forests[J]. American Naturalist, 1970, 104: 501-528.

[2] Newbery D McC, Renshaw E, Brunig E F. Spatial pattern of trees in kerangas forest, Sarawak[J]. Vegetatio, 1986, 65: 77-89.

[3] 张程, 张明娟, 徐驰, 等. 宁夏沙湖几种主要荒漠植物成丛性分析[J]. 植物生态学报, 2007, 31(1): 32-39.

[4] 张桥英, 张运春, 罗鹏, 等. 白马雪山阳坡林线方枝柏种群的生态特征[J]. 植物生态学报, 2007, 31(5): 857-864.

[5] 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[J]. 西北植物学报, 2009, 29(1): 167-173.

[6] 罗传文, 刘丹丹, 王刚. 均匀度理论[J]. 生物数学学报, 2006, 21(1): 105-112.

[7] 张金屯. 数量生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2004.

[8] 张金屯. 植物种群空间分布的点格局分析[J]. 植物生态学, 1998, 22(4): 344-349.

[9] 惠刚盈. 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): 38-42.

[10] 韩路, 王海珍, 彭杰, 等. 塔里木河上游天然胡杨林种群空间分布格局与动态研究[J]. 西北植物学报, 2007, 27(8): 1668-1673.

[11] 程煜, 闫淑君, 洪伟, 等. 橡树群落主要树种分布格局及其动态分析[J]. 植物资源与环境学报, 2003, 12(1): 32-37.

[12] 张金屯, 孟东平. 芦芽山油松—辽东栎林优势树种空间分布格局研究[J]. 西北植物学报, 2006, 26(8): 1682-1685.