

芦芽山华北落叶松林不同龄级立木的点格局分析

张金屯^{1,2}, 孟东平²

(1. 北京师范大学生命科学院, 北京 100875; 2. 山西大学黄土高原研究所, 太原 030006)

摘要: 华北落叶松林是芦芽山自然保护区的重要林型。对其建群种华北落叶松不同龄级个体的分布格局及其相互关系进行了研究。植物种群在群落中的分布格局与空间尺度有着密切关系, 这里采用能够分析各种尺度下格局的分析方法——点格局分析法, 其是以种群个体空间分布的坐标点图为基础。结果表明, 芦芽山华北落叶松不同龄级密度差异较大, 高龄级密度较大; 目前华北落叶松是稳定型种群, 但从长远看, 仍需人工协助更新; 华北落叶松5个龄级集群分布特征比较明显, 且随着龄级的增加, 集群特征有更明显的趋势; 各个龄级个体之间在各种尺度下都有比较显著的正关联, 3~5龄级个体关联更为显著; 点格局分析法能够分析各种尺度下的种群格局和种间关系, 所描述的结果更符合实际, 尤其是对群落结构的描述。

关键词: 种群格局; 华北落叶松林; 点格局分析; 龄级; 历史因素

Spatial pattern analysis of individuals in different age-classes of *Larix principis-rupprechtii* in Luya mountain reserve, Shanxi, China

ZHANG Jin-Tun^{1,2}, MENG Dong-Ping² (1. College of Life Sciences, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 2. Institute of Loess Plateau, Shanxi University, Taiyuan 030006, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(1): 35~40.

Abstract: *Larix principis-rupprechtii* forest is an important vegetation formation and has a large distribution area in Luya mountain reserve. It plays significant roles in water conservation, eco-tourism, biodiversity maintaining etc. in Luya mountainous area. Many researches have been done on the forest community of *Larix principis-rupprechtii*, however few of them concerning its distribution pattern. Spatial pattern analysis of individuals in different age-classes of *Larix principis-rupprechtii* was done in present paper. The distribution pattern of plant species in communities is closely related to spatial scale. Here we employed the technique of point pattern analysis which can analyze patterns under all scales along a gradient. It is based on spatial mapped points of individuals distribution. Compared with quadrat sampling, traditional method can only analyze pattern in one scale. Therefore it is difficult to reflect species spatial characteristics completely, no matter how rational for quadrat size.

The results of this study shows: The densities of five age-classes varied in the order: age-class 3 > age-class 4 > age-class 5 > age-class 2 > age-class 1. Although age-classes 1 & 2 have much less individuals than other three age-classes do, the population is stable at present. However it will be necessary to take some measures for improving population regeneration from a long-time view. The individuals of all age-classes focus on clumping distribution in space, however their distribution pattern varied with the change of scale. This is mainly depending on biological features of *Larix principis-rupprechtii* and forest environments, but it is also means that the scale is an important factor in controlling spatial distribution pattern of tree individuals. The feature of clumping distribution becomes more significant with increasing of age. The relationships between individuals in different age-classes are almost all significantly correlated with each other. These associations become more significant within older age-classes. This suggests that the individuals of different age classes are inter-distributed, by which

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30070140)

收稿日期: 2003-04-04; **修订日期:** 2003-10-08

作者简介: 张金屯(1957~), 男, 山西夏县人, 博士, 教授, 主要从事植被生态、数量生态和生物多样性的研究工作。E-mail: Zhangjt@sxu.edu.cn

Foundation item: The National Natural Science Foundation of China (No: 30070140)

Received date: 2003-04-04; **Accepted date:** 2003-10-08

Biography: ZHANG Jin-Tun, Ph. D, Professor, main research field: vegetation ecology, quantitative ecology and biodiversity. E-mail: Zhangjt@sxu.edu.cn

the population can get benefits in resource utilization. It also suggests that the inner-relation of *Larix principis-rupprechtii* population in Luya reserve is rational, which can increase the population ability of anti-disturbance and competition, and increase the stability of forest community. The technique of point pattern analysis is effective and easy to use method in species pattern study. Its results are more consistent to the reality, especially for community structure.

Key words: population pattern; *Larix principis-rupprechtii* forest; point pattern analysis; age-class; historical factors

文章编号:1000-0933(2004)01-0035-06 中图分类号:Q14,Q948,S718.5 文献标识码:A

森林群落建群种的分布格局是群落结构的重要特征,种群空间格局分析是研究群落结构、种群间相互作用以及种群与环境关系的重要手段,一直是生态学研究热点之一^[1]。建群种群不同龄级个体的分布格局及其相互关系是种群和群落与环境长期相互作用的结果,是种群结构、群落结构合理性的体现,也是种群和群落动态与稳定性的标志。但目前对种群不同龄级个体的分布格局及其相互关系研究的较少^[2]。

华北落叶松(*Larix principis-rupprechtii*)主要分布于我国东经 112°~117°,北纬 38°~40°50',海拔 1600~2800m 的山地,是华北广阔山地半湿润少林地区针叶林的主要建群种之一。我国华北落叶松林面积约 14 万 hm^2 ,主要分布在山西、河南和河北等地^[3]。华北落叶松林是华北的重要用材林、水源涵养林、景观风景林等,具有较高的利用和保护价值。本文主要研究山西芦芽山自然保护区华北落叶松的格局,为森林管理提供依据。

植物种群的分布格局与尺度有很大关系,这一问题早就受到许多学者的关注^[4],长期以来,生态学家发明了许多方法研究不同尺度下的格局,如大尺度格局分析方法——趋势面分析(Trend surface analysis)^[5],中尺度格局分析方法——双向轨迹方差法(Two term local variance)^[6],小尺度格局分析方法种毗连法(Species-juxtaposition)^[7]等等。这里用能够分析各种尺度的种群格局分析方法——“点格局分析法”(Point pattern analysis)^[4,8~10],它是以植物种的个体在空间的坐标为基本数据,每个个体都可以视为二维空间的一个点,这样所有个体就组成了在空间分布的点图,以点图为基础进行格局分析,叫做点格局分析。它可以分析各种尺度下的种群格局和种间关系,在拟合分析的过程中最大限度地利用了坐标图的信息,因而检验能力较强。

1 芦芽山的自然地理概况

芦芽山是国家级的自然保护区,位于吕梁山北端,约北纬 38°36'~39°02',东经 111°46'~112°54',面积 21453 hm^2 。山体由东北向西南斜向延伸,地势高峻,最高峰达 2772m,其余山峰均在 2000m 左右。芦芽山地区属暖温带半湿润区,由于地处山西省北部,常年受蒙古高原气候的影响,有明显的大陆性气候特点,夏季凉爽多雨,冬季寒冷干燥。年均气温 6~10℃,一月均温 -8~-12℃,7 月份均温 21~36℃,年降水量 384~679mm,年蒸发量 1800mm,年均湿度 50%~55%,无霜期 130~170d。该区土壤分布复杂,在东坡是黄土母质发育而成的灰褐土,西以褐土为主。随海拔高度的升高,土壤呈现垂直地带性,依次为山地褐土、山地淋溶褐土、棕色森林土和亚高山草甸土。芦芽山植被具有明显的垂直地带性,西坡基带植被为温带草原,东坡基带植被为暖温带落叶阔叶林,从山麓到山顶依次有暖温性落叶阔叶林、寒温性针叶林、杨桦林、亚高山灌丛草甸等^[11]。

研究地段是华北落叶松林典型分布区,林形整齐,乔木层郁闭度在 0.9 以上,华北落叶松占绝对优势,有时还伴生有白桦、白栎等树种。灌木层主要有刚毛忍冬、绣线菊、构子木、葱皮忍冬、荆条等种类,草本层主要有山蒿、小风苗、苔草、地榆、柳兰、柴胡等植物。林下苔藓层发达,枯叶层和腐殖质层也较厚,立地条件优越。

2 方法

2.1 取样

点格局分析取样要求取一个样地,面积要适当大,以便使种群的各种格局均能出现。样地以长方形或正方形为好。在森林群落格局分析中,样地的边长应在 50m 以上,因为小于 50m,大尺度的格局可能被忽略^[4]。在样地中记录所研究种群的每个个体的位置,以坐标值表示,坐标值可以用距离直接表示,分析时则将其转换为 0~1 之间的值为好^[9]。本文数据是 1999 年 7 月取自芦芽山 1700m 处的华北落叶松林,林龄在 80~100a 间。样地面积为 180m×200m。用径级确定龄级,虽然龄级和径级是不同的,但在同一环境下同一树种的龄级和径级对环境的反应规律具有一致性^[2]。根据华北落叶松个体胸径 P 的大小分为 5 个龄级:龄级 1, $P < 2.5\text{cm}$;龄级 2, $2.5\text{cm} \leq P \leq 10\text{cm}$;龄级 3, $11\text{cm} \leq P \leq 20\text{cm}$;龄级 4, $21\text{cm} \leq P \leq 30\text{cm}$;龄级 5, $P > 30\text{cm}$ 。在样地中分别记录各龄级所有个体的空间位置坐标,为了获得准确数据,将样地分成 10m×10m 的样方,用卷尺测量记录。同时做群落学调查记录,以备其它分析用。

2.2 点格局分析方法

2.2.1 种群各龄级分布格局分析 密度(λ)和协方差(k)是二维数集的一次和二次特征结构。对于点格局, λ 是单位面积内的期望点数, k 是点间距离分布的测定指标, k 随着尺度的变化而变化。Diggle 证明该二次特征结构可以简化为一个函数方程 $K(t)$,其定义为^[9,12]:

$$K(t) = \lambda^{-1} \quad (\text{从某一随意点起距离 } t \text{ 以内的其余的期望点数}) \quad (1)$$

这里, t 可以是 >0 的任何值, λ 为单位面积上的平均点数, 可以用 n/A 来估计, A 为样地面积, n 为总点数(植物个体数)。在

$$\text{实践中, 用下式估计(Diggle, 1981):} \quad \hat{K}(t) = \left(\frac{A}{n_2} \right) \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{1}{W_{ij}} I_t(u_{ij}) \quad (i \neq j) \quad (2)$$

其中, u_{ij} 为两个点 i 和 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} 为半径的圆周长在面积 A 中的比例, 其为一个点(植株)可被观察到的概率^[4,9], 这里为权重是为了消除边界效应(Edge effect), 实际上 $\hat{K}(t)/\pi$ 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, 用 $H(t)$ 表示 $\hat{K}(t)/\pi$:

$$H(t) = \sqrt{\hat{K}(t)/\pi} \quad (3)$$

$$\text{将 } H(t) \text{ 的值减去 } t, \text{ 得到 } \hat{H}(t) \text{ 的值:} \quad \hat{H}(t) = \sqrt{\hat{K}(t)/\pi} - t \quad (4)$$

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

用 Monte-Carlo 拟合检验计算上下包迹线(Envelopes), 即置信区间。假定种群是随机分布, 则用随机模型拟合一组点的坐标值, 对每一 t 值, 计算 $\hat{H}(t)$; 同样用随机模型再拟合新一组点坐标值, 分别计算不同尺度 t 的 $\hat{H}(t)$ 。这一过程重复进行直到达到事先确定的次数, $\hat{H}(t)$ 的最大值和最小值分别为上下包迹线的坐标值。拟合次数对 95% 的置信水平应为 20 次, 99% 的置信水平就为 100 次。

用 t 作为横坐标, 上下包迹线作为纵坐标绘图, 置信区间一目了然。用种群实际分布数据(点图)计算得到的不同尺度下的 $\hat{H}(t)$ 值若在包迹线以内, 则符合随机分布; 若在包迹线以外, 则显著偏离随机分布。对于随机模型, 落在包迹线以外所对应的值是聚块大小的估计。

2.2.2 龄级间关系分析 因为考虑到华北落叶松在不同的发育阶段的格局动态及制约机制。分析两个龄级的关系实际上是两个龄级的点格局分析, 也叫多元点格局分析(Multivariate point pattern analysis), 上面介绍的单种格局分析可以认为是某个特定龄级个体间的关系研究, 因此对第一个种 $K_{11}(t)$ 可以写成 $K_{11}(t)$, 对第二个种可以写成 $K_{22}(t)$ 。现在考虑两个龄级的个体在距离(尺度) t 内的数目, 就是要求 $K_{12}(t)$, 其定义和计算原理与单种格局相近。 $K_{12}(t)$ 可以用下式估计(Diggle, 1983):

$$\hat{K}_{12}(t) = \frac{A}{n_1 n_2} \sum_{i=1}^{n_1} \sum_{j=1}^{n_2} \frac{1}{W_{ij}} I_t(u_{ij}) \quad (5)$$

这里, n_1 和 n_2 分别为龄级 1 和龄级 2 的个体数(点数), A , $I_t(u_{ij})$ 和 W_{ij} 含义同(2)式, 不同的是 i 和 j 分别代表龄级 1 和龄

$$\text{级 2 的个体, 同样计算:} \quad \hat{H}_{12}(t) = \sqrt{\hat{K}_{12}(t)/\pi} - t$$

当 $\hat{H}_{12}(t) = 0$ 表明两个种在 t 尺度下无关联性, 当 $\hat{H}_{12}(t) > 0$ 表明二者为正关联, 当 $\hat{H}_{12}(t) < 0$ 表明二者为负相关。

仍用 Monte-Carlo 检验拟合包迹线, 以检验二个龄级是否显著地关联。

3 结果

3.1 种群各龄级分布格局分析

图 1 芦芽山华北落叶松 5 个龄级个体在 $180\text{m} \times 200\text{m}$ 样地中的分布点图。图的横坐标代表 200m , 纵坐标代表 180m , 植物个体的坐标均用 $0 \sim 1$ 之间数值表示, 即横轴实测值除以 200 , 纵轴实测值除以 180 。从图 1 可以看出, 各龄级密度差别很大, 龄级 1(图 1a) 的密度为 $617 \text{ 株}/\text{hm}^2$, 龄级 2(图 1b) 为 $3836 \text{ 株}/\text{hm}^2$, 龄级 3(图 1c) $20127 \text{ 株}/\text{hm}^2$, 龄级 4(图 1d) $27744 \text{ 株}/\text{hm}^2$, 龄级 5(图 1e) $11342 \text{ 株}/\text{hm}^2$ 。密度顺序是龄级 4 > 龄级 3 > 龄级 5 > 龄级 2 > 龄级 1。从图上看, 各龄级均是明显的集群分布, 但从图 1 看不出来这种分布与尺度的关系。

树种在不同发育阶段、不同年龄级会表现不同的空间格局, 这与森林群落的自然稀疏过程、干扰格局以及环境的变化有密切关系^[13]。同一龄级的个体在不同尺度下也有不同的分布格局, 这主要与环境条件的空间变化相联系。华北落叶松 5 个龄级的点格局分析结果见图 2。图中实线为用实际数据计算的 $\hat{H}(t)$, 虚线为拟合的上下包迹线, 包迹线即为置信水平, 当 $\hat{H}(t)$ 值大于上包迹线值时, 说明个体显著偏离随机分布, 呈集群分布; 当 $\hat{H}(t)$ 值小于下包迹线值时, 说明个体也显著偏离随机分布, 但呈均匀分布。分析时取 t 的间隔为 0.01 (即代表空间距离 2m), t 的最大值为样地边长的一半, 0.5 (即 100m)。图的 x 轴坐标 t 可以用 $0 \sim 1$ 之间坐标值表示, 也可以用空间距离 m 直接表示。图 2(a) ~ (e) 分别为龄级 1-龄级 5 的格局分析结果。对于龄级 1, 在其小于 46m 的尺度内为显著的集群分布, 当尺度大于 46m 时, 则为随机分布, 因为龄级 1 个体稀少, 大尺度下格局没有什么变化; 对于龄级 2, 尺度在小于 2m 时, 基本是随机分布, 尺度在 $2 \sim 90\text{m}$ 时, 其为显著的集群分布, 尺度大于 90m 时变为随机分布; 对于龄级 3 在所有尺度下, 其均显著偏离随机分布, 而呈现集群分布; 龄级 4 和龄级 5 与龄级 3 一样, 在所有尺度内均呈显著的集群分布, 见图 1。在幼龄时, 尺度小的情况下, 其个体呈集群分布, 但在大尺度情况下, 个体又呈随机分布。随着华北落叶松年龄的增长, 其空间分布显著地趋于集群分布。

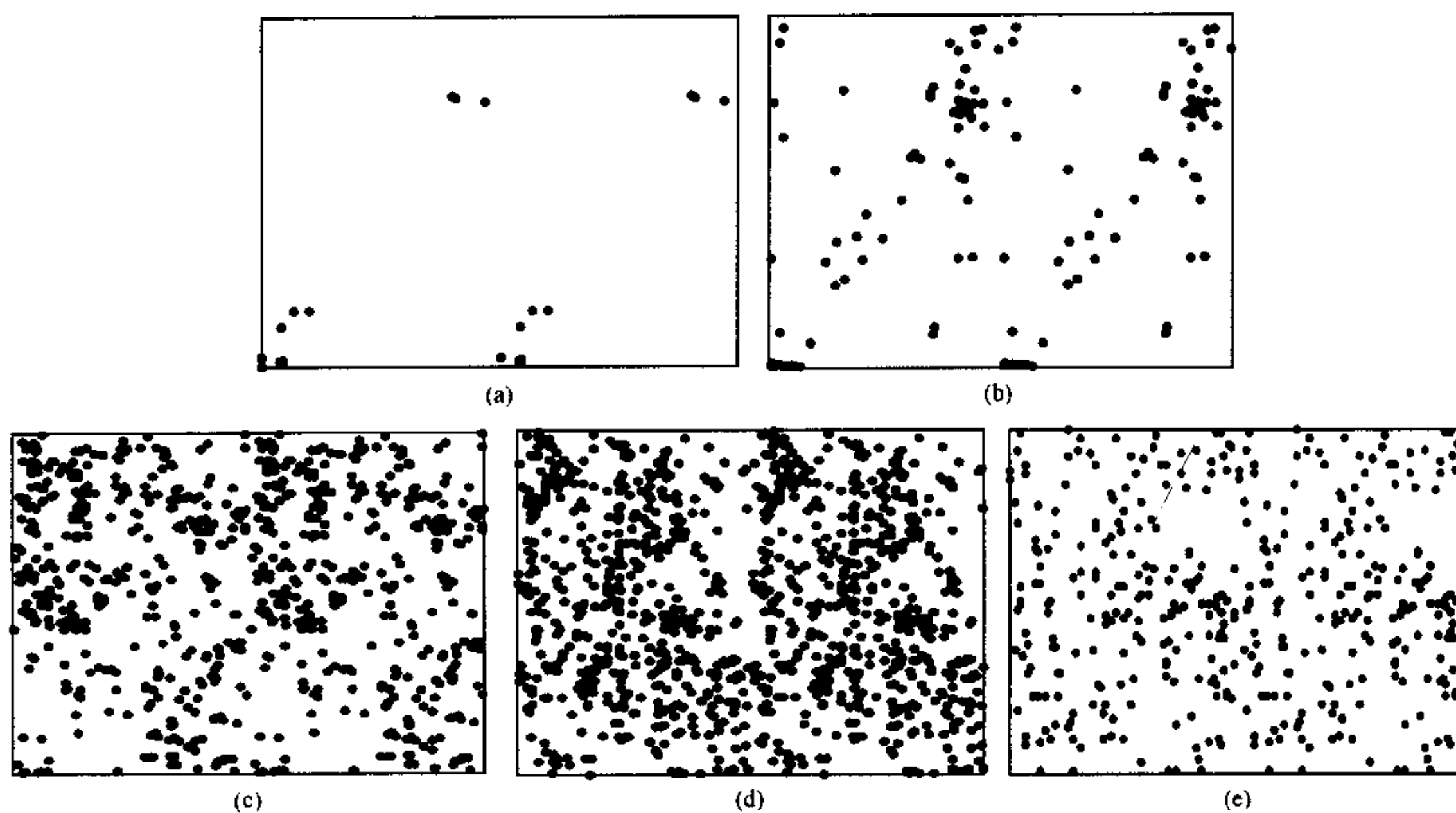


图 1 各龄级个体在样地中的分布点图

(a) 龄级 1, (b) 龄级 2, (c) 龄级 3, (d) 龄级 4, (e) 龄级 5

Fig. 1 Point patterns of individuals in quadrats for different age classes of *Larix principis-rupprechtii*

(a) Age-class 1, (b) Age-class 2, (c) Age-class 3, (d) Age-class 4, (e) Age-class 5

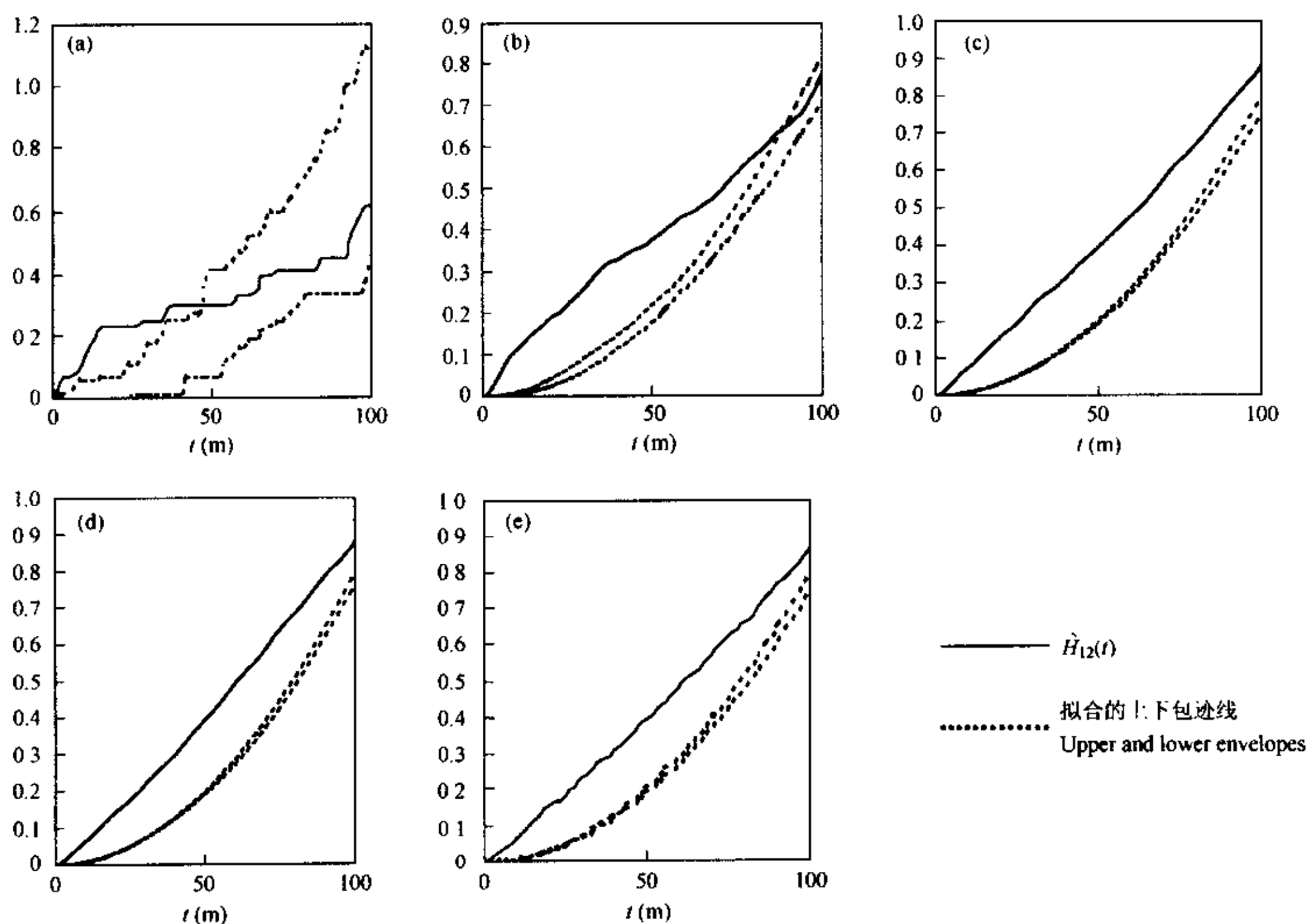


图 2 华北落叶松各龄级点格局分析结果图

Fig. 2 Results of point pattern analysis for five age classes of *Larix principis-rupprechtii*

3.2 龄级间的关系分析

华北落叶松 5 个龄级间相互关系分析结果见图 3, 图的结构与图 2 相似, 实线为实测的 $\hat{H}_{12}(t)$ 值, 虚线为拟合的上下包迹线。图 3(a) 为龄级 1 和龄级 2 之间的关系图, (b) 为龄级 1 和龄级 3 之间的关系图, (c) 为龄级 1 和龄级 4 之间的关系图, (d) 为

龄级 1 和龄级 5 之间的关系图, (e) 为龄级 2 和龄级 3 之间的关系图, (f) 为龄级 2 和龄级 4 之间的关系图, (g) 为龄级 2 和龄级 5 之间的关系图, (h) 为龄级 3 和龄级 4 之间的关系图, (i) 为龄级 3 和龄级 5 之间的关系图, (j) 为龄级 4 和龄级 5 之间的关系图。由图 3 可知, 华北落叶松各个龄级相互之间的关系在所有尺度下均呈正关联, 只是在某些尺度下关联显著, 而另一些尺度下关联不显著, 这说明同种不同年龄的个体之间虽然存在着竞争, 但对环境条件的要求具有一致性。

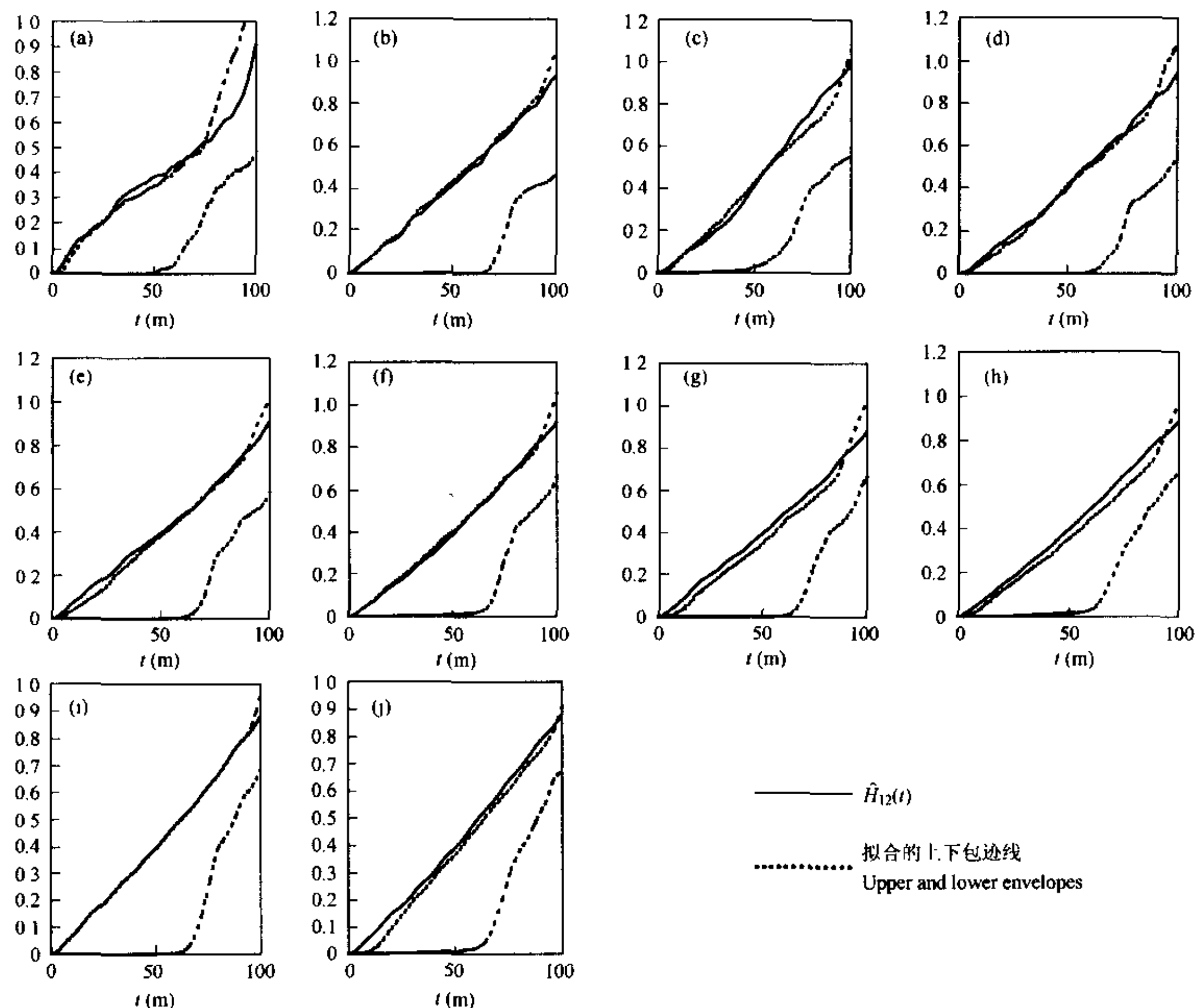


图 3 各龄级之间关系的点格局分析结果

Fig. 3 Point pattern analysis of paired age-classes associations of *Larix principis-rupprechtii*

龄级 1 和龄级 2 之间, 在尺度为 0~76m 之间, 两者的关联性接近或达到显著水平, 而大于 76m 时, 两者关联变的不显著; 龄级 1 和龄级 3 的关系曲线几乎与上包迹线交替重合, 说明二者在几乎所有尺度下, 都接近或达到显著关联, 只是在尺度大于 90m 时, 二者关联变的不显著; 龄级 1 和龄级 4 在 0~20m 尺度下关联接近显著水平, 在 20~68m 尺度之间关联不显著, 在 68~96m 之间二者又显著关联, 大于 96m 尺度下则又不显著; 龄级 1 和龄级 5 的关系类似于龄级 1 与龄级 3 之间的关系, 即除了在尺度大于 90m 时, 二者关联不显著以外, 其余所有尺度下, 都接近或达到显著关联。从龄级 1 与其余 4 个龄级的关系看, 在小尺度下, 它们之间趋向于显著关联, 而在大尺度下, 关联性降低, 这可能与其在小尺度下呈集群分布, 在大尺度下呈随机分布有密切关系。龄级 2 和龄级 3 的关系在尺度小于 44m 时呈显著关联, 当尺度大于 44m 时其关系曲线与上包迹线几近重叠, 二者关联接近显著, 当尺度大于 91m 时, 二者关联又变小; 龄级 2 和龄级 4 的关联曲线与上包迹线在大部分尺度下互相交错, 关联达到或接近显著水平, 只是 93m 以后关联不是十分显著; 龄级 2 和龄级 5 之间的关系在尺度小于 92m 时, 二者关联非常显著, 92m 之后逐渐变的不显著。龄级 2 与其余 4 个龄级的关系基本上都呈显著正关联, 但尺度在 90m 以上时关联降低, 与龄级 1 有相近的趋势。龄级 3 和龄级 4 的关系基本上是在所有尺度下都呈显著的关联; 龄级 3 和龄级 5 的关系曲线在所有尺度下均与上包迹线交错重叠, 说明二者关联性在所有尺度下都达到或接近显著水平。龄级 4 和龄级 5 的关系是在所有尺度下关联都非常显著。这里可以看出, 龄级 3、龄级 4 和龄级 5 之间的关联性更大。华北落叶松不同龄级之间的关系都比较密切, 关联性大部分都比较显著, 但随尺度的变化而有所不同。

4 讨论

芦芽山华北落叶松各龄级密度差异显著(图 1),从龄级 1 的 617 株/hm² 到龄级 4 的 27744 株/hm²,密度大小顺序是龄级 4 > 龄级 3 > 龄级 5 > 龄级 2 > 龄级 1。从种群龄级结构来看,1~2 龄级个体较少,3~4 龄级个体最多,5 龄级个体也较多,似乎种群接近衰退型种群,但实际上华北落叶松是稳定型种群,因为 3~5 龄级个体现在都处在旺盛生长发育时期,这一时期可能维持时间较长(50~100a)^[14]。1~2 龄级个体生长在林下,受到光照的限制,它们个体偏少。华北落叶松是喜光树种,从营林角度讲,可以采取择伐老树,创造林窗和林隙,促其自然更新。

华北落叶松 5 个龄级个体的空间分布基本上以集群分布为特征,其中大龄个体集群分布特征更为明显。这种分布格局主要决定于种群生物学特征,因为同一植物种的个体对环境等条件的要求基本上是一致的。自然环境条件对格局形成的作用较小,因为在芦芽山华北落叶松分布区,自然环境变化并不大^[3]。华北落叶松 1 龄级个体在小尺度下呈集群分布,而在大尺度下呈随机分布,2 龄级个体也有这样的趋势,这是因为幼龄个体的分布在很大程度上决定于大龄个体为它们创造的林下环境(光照环境),它们主要出现在大龄个体的斑块间隙,因此小尺度下呈集群分布,而在大尺度下,因它们个体偏少,趋于随机分布。Leathwick 等研究了林龄在 200 年以上的针叶林,认为森林群落不同龄级立木分布格局的差异,主要是历史条件决定的,比如历史上的火烧、冰川、虫害等^[15]。芦芽山华北落叶松林龄较低,历史上没有重大灾害,各龄级分布格局差异不明显。

华北落叶松各龄级间的关系基本上都是显著的正关联,3~5 龄级的个体间关联性更强(图 3),这是因为同一树种的个体生物学特性应当是一致的,也就是说对环境的要求和适应性是一致的^[16],也说明不同龄级个体在空间是交错分布,这样有利于对各种资源的充分利用,对整个种群的生存和发展是有利的。3~5 龄级个体间关联性更大,说明种群主体内部关系协调,抗干扰能力强,竞争能力也较强,而成为稳定型种群,因为 3~5 龄级个体是华北落叶松种群的主体。幼龄个体与 3~5 龄级个体的关系表现为低尺度下显著关联,而大尺度下关联不十分显著,这与幼龄个体的分布格局有关,因为它们个体较少,大尺度下趋向于随机分布^[16]。Leathwick 等研究表明,同一树种不同龄级间的关系主要取决于环境的均匀性、干扰程度、历史因素等,因为在芦芽山自然保护区这些因素差异都不突出,因此龄级间关系密切,均是正关联。

本文所用的点格局分析方法同时可以分析不同尺度下的格局,有明显的优越性。从结果看,点格局分析方法较好地描述了不同尺度下种群各龄级分布特点及龄级间的关系,结果一目了然。点格局分析的结果比传统的方法更接近实际,在群落结构研究中有重要意义。传统的格局分析,一般只用一种尺度(样方大小一致),所得出的结果,某个种在某群落中为集群分布、随机分布或均匀分布;种间关联是正或是负。基于此基础上所描述的群落结构偏差也较大,比如文献中常有这样的描述:某群落大部分种为集群分布,而随机分布的种很少见^[13]。本文所分析的华北落叶松林,5 个龄级,集群分布特征明显,但龄级 1 及龄级 2 在大尺度下仍呈现随机分布。龄级间关系在大体上关联显著,但仍有少部分关联不明显,而且随尺度变化也有所不同。这样,以点格局分析为基础,所描述的群落结构更符合实际。目前点格局分析在实践中用的还较少,应进行广泛的尝试。

References:

- [1] Zhang J T. *Methods in Quantitative Vegetation Ecology*. China Science and Technology Press, Beijing, 1995. 1~370.
- [2] Frost I & Rydin H. Spatial pattern and size distribution of the animal-dispersed *Quercus rubur* in two spruce-dominated forests. *Ecoscience*, 2000, 7: 38~44.
- [3] Edit Group of Shanxi Forests. *Shanxi forests*. Beijing: China Forestry Press, 1995. 20~40.
- [4] Zhang J T. Analysis of spatial point pattern for plant species. *Acta Phytocologica Sinica*, 1998, 22(4): 344~349.
- [5] Gittins R. Trend-surface analysis of ecological data. *J. Ecol.*, 1968, 56: 845~869.
- [6] Hill M O. The intensity of spatial pattern in plant communities. *J. Ecol.*, 1973, 61: 225~235.
- [7] Zhang J T. and Oxley R. Small-scale pattern in mountain grassland in North Wales. *Abstracta Botanica*, 1994, 18: 1~6.
- [8] Riggl B D. Modelling spatial pattern. *Journal of the Royal statistical Society. Series B*, 1977, 39: 17~212.
- [9] Riggle B D. *Spatial statistics*. New York: Wiley, 1981. 10~200.
- [10] Cheng ZH & Zhang J T. Correlation analysis between landscape characteristics of ecotourist vegetation and geographical factors in Luya mountain. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22: 278~284.
- [11] Zhang J T. The vertical vegetation zones of Luya mountains in Shanxi Province. *Scientia Geographica Sinica*, 1989, 9(4): 346~353.
- [12] Legendre P and Fortin M. Spatial pattern and ecological analysis. *Vegetatio*, 1989, 80: 107~138.
- [13] Greig-Smith P. *Quantitative plant ecology*. Blackwell, London, 1983. 21~36.
- [14] Forman R. *Land mosaics, the ecology of landscapes and regions*. Cambridge University Press, Cambridge, 1995. 156~221.
- [15] Leathwick J R. & Mitchell, N. D. Forest pattern, climate and vulcanism in central North Island, New Zealand. *J. Veg. Sci.*, 1992, 3: 603~614.
- [16] Romme W H. Fire and landscape diversity in subalpine forests of Yellowstone National Park. *Ecological Monograph*, 1982, (52): 199~221.

参考文献:

- [1] 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] 山西森林编写组,山西森林,北京:中国林业出版社,1995. 20~40.
- [4] 张金屯,植物种空间分布的点格局分析,植物生态学报,1998,22(4):344~349.
- [10] 程占红,张金屯. 芦芽山生态旅游植被景观特征与地理因子的相关分析. 生态学报,2002,22(2):278~284.
- [11] 张金屯. 山西芦芽山植被垂直带的划分. 地理科学,1989,9(4): 346~353.