

## 2 种类型阔叶红松林优势种群空间分布格局及其关联性

赵中华<sup>1</sup>, 惠刚盈<sup>1\*</sup>, 胡艳波<sup>1</sup>, 周红敏<sup>2</sup>, 张连金<sup>1</sup>

(1. 中国林业科学研究院林业研究所, 北京 100091; 国家林业局林木培育重点实验室, 北京 100091;

2. 浙江省龙泉市林业科学研究所, 浙江 龙泉 323700)

**摘要:**以吉林蛟河 2 块 1 hm<sup>2</sup> 阔叶红松林样地全林每木定位数据为基础, 运用基于 RipleyK(d) 函数和 Mark 相关函数的 O-ring 统计分析方法, 分析了 2 块样地中红松种群与主要优势种群林分中层与林分上层空间分布格局及树种的空间关联性, 结果表明: 水曲柳红松林中的红松种群和水曲柳种群在小尺度上为聚集分布的趋势, 林分中层的红松种群尤为明显, 椴树红松林中的红松和椴树种群在多个尺度上呈聚集分布。2 个类型阔叶红松林中相同林层中红松种群与水曲柳种群、椴树种群总体上呈现不相关的空间关系, 但不同林层的种群间存在着一定的相关关系。水曲柳红松林中, 林分上层中的红松与林分中层的红松在 0~19 m 的尺度内存在显著地负相关, 在椴树红松林中不明显; 林分上层水曲柳与林分中层水曲柳、林分上层椴树与林分中层椴树在小尺度上存在明显地负相关关系; 林分上层的红松与林分中层的水曲柳及椴树都在较大尺度上存在显著负相关的空间关系, 而林分中层的红松与林分上层的水曲柳、椴树的空间相关关系为不相关。

**关键词:**水曲柳红松林; 椴树红松林; 空间分布格局; 空间关联性

中图分类号: S718.54 S791.247

文献标识码: A

## Spatial Distribution Patterns and Associations of Dominate Population in Two Types of Broadleaved Korean Pine Mixed Forest

ZHAO Zhong-hua<sup>1</sup>, HUI Gang-ying<sup>1</sup>, HU Yan-bo<sup>1</sup>, ZHOU Hong-min<sup>2</sup>, ZHANG Lian-jin<sup>1</sup>

(1. Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Key Laboratory of Tree Breeding and Cultivation, State Forestry Administration,

Beijing 100091, China; 2. Longquan Research Institute of Forestry, Longquan 323700, Zhejiang, China)

**Abstract:** Based on the location data for each timber from two broadleaved Korean pine (*Pinus koraiensis*) mixed forest plots which area is 1 hm<sup>2</sup> at Jiaohe of Jilin province, the spatial distribution pattern and tree species spatial correlation of *P. koraiensis* and main dominate population in middle and upper vertical forest layer were chosen as study objects, the O-ring statistics based on RipleyK(d) function and Mark correlation function was used to analyze the spatial distribution and spatial correlation. The result showed that spatial distribution pattern of *P. koraiensis* and *Fraxinus mandshurica* were clumped at smaller scales in *F. mandshurica*-*P. koraiensis* forest, *P. koraiensis* was especially in middle vertical layer. *P. koraiensis* and *Tilia amurensis* spatial distribution pattern were clumped at multiple scales. At same vertical layer, *P. koraiensis* had no significant spatial association to *F. mandshurica* and *T. amurensis*, however, there had some association in different vertical layer of different population. *P. koraiensis* in upper layer has significant negative correlation with midstory layer at 0~19 m, this properties was not obviously in

收稿日期: 2011-02-12

基金项目: 国家自然科学基金(30872021), 中国林业科学研究院林业研究所基本科研业务费专项基金(2724-18)

作者简介: 赵中华(1976—), 男, 内蒙古巴彦淖尔市人, 助理研究员, 主要从事天然林经营模拟。

\* 通讯作者。

*T. amurensis*-*P. koraiensis* mixed forest. *F. mandshurica* and *T. amurensis* in upper vertical layer showed significant negative correlation with midstory layer at smaller scales. *P. koraiensis* in upper layer show significant negative correlation with *F. mandshurica* and *T. amurensis* in middle vertical layer larger scale, but *P. koraiensis* in middle vertical layer had no correlation with *F. mandshurica* and *T. amurensis* in upper layer.

**Key words:** *Fraxinus mandshurica*-*Pinus koraiensis* forest; *Tilia amurensis*-*Pinus koraiensis* forest; spatial distribution pattern; spatial correlation

种群是组成群落和生态系统的基本成分,种群内的所有个体组成有一定的规律性。种群分布格局是种群个体在水平空间的分布方式,它是种群自身的生物学特性、种内种间相互关系以及所处生境异质性等综合作用的空间表现形式,反映了种群个体在水平空间上彼此间的相互关系,是种群生物学特性、种内与种间关系以及环境条件综合作用的结果,是种群空间属性的重要方面,也是种群的基本数量特征之一<sup>[1]</sup>。分析植物空间格局是研究种群结构特征、种群互作以及种群与环境间关系的重要方法,也是近年来生态研究的热点之一。植物种群空间分布格局研究中,判定种群的空间分布类型和空间关联性是空间分布格局研究的2个主要内容<sup>[2-4]</sup>。研究种群空间分布格局有助于深化对群落结构的认识,了解单株木的生长状况,解决营造林中的植株配置和采伐问题,正确描述种群的空间分布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<sup>[5]</sup>。格局的研究方法可分为3种:样方法、距离法和角尺度法<sup>[6]</sup>。样方法是利用随机取样资料,通过单一尺度的随机取样数据进行种群个体分布对随机性偏离的测定,但是由于它存在基本样方大小和初始样方位置的确定等一些列问题,从而使取样带有很大的主观性,影响了研究结果的准确性,所以该方法现在应用较少<sup>[7-8]</sup>。目前,国际上研究林木空间分布格局主要采用的是距离法中的双相关函数和基于 RipleyK(d) 函数的 L-函数<sup>[9-13]</sup>,近10年来还出现了角尺度方法<sup>[6,14-17]</sup>及基于 RipleyK-函数和 Mark 相关函数的 O-ring 统计方法<sup>[18]</sup>,其应用日趋流行。

阔叶红松林是我国东北林区的特有森林类型,在温带针阔混交林类型中占重要地位,主要分布于长白山地区,是该地区重要的生态屏障,具有维持区域小气候、保持水土和涵养水源、生物多样性保护等重要生态功能。20世纪50年代,我国的原始阔叶红松林由于遭受不同程度的人为干扰,保持原始状态的群落已经十分罕见,在原始林区形成不同类型的次生林。本研究以阔叶红松林区主要次生类型为

研究对象,探讨不同类型阔叶红松林中红松与优势树种的分布格局及空间关联性,以期对阔叶红松林的经营提供理论依据。

## 1 研究区概况

蛟河林业实验区管理局位于吉林省蛟河市东北部前进乡境内,地理坐标为43°51'~44°05'N, 127°35'~127°51'E,属长白山系张广才岭支脉,平均海拔400~500 m,气候属温带大陆性季风山地气候,春季雨少、干燥多大风,夏季温热多雨,秋季凉爽多晴天、温差大,冬季漫长而寒冷,年平均气温1.7℃,年最低气温-22.2℃,年平均降水量856.6 mm,年相对湿度75%,初霜期在9月下旬,终霜期在翌年5月中旬,无霜期一般在120~150 d,平均积雪厚度为20~60 cm,土壤结冻深度为1.5~2.0 m。土壤可划分5个类型,分布最广的地带性土壤是肥力较高的暗棕壤,一般在山的中上部为典型暗棕壤,局部有石质暗棕壤,山的中下部为白浆化暗棕壤、草甸化暗棕壤、潜育化暗棕壤及白浆土,山麓及沟谷分布有草甸土、冲击土、沼泽土及潜育化暗棕壤。

研究样地位于吉林省蛟河林业实验区管理局东大坡经营区内,该地段地势较为平坦,坡向北,平均坡度约为12°。植被类型属于温带针阔混交林区域——温带针阔混交林地带——长白山地红松、杉松针阔混交林区,主要植物属于长白植物区系。本区的主要森林类型有红松针阔混交林、云冷杉林和硬阔叶林等天然林。主要针叶树种有:红松(*Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc.)和杉松(*Abies holophylla* Maxim)等;主要阔叶树种有:水曲柳(*Fraxinus mandshurica* Rupr.)、核桃楸(*Juglans mandshurica* Maxim)、紫椴(*Tilia amurensis* Rupr.)等,主要伴生树种有白扭槭(*Acer mandshurica* Maxim.)、色木槭(*Acer mono* Maxim.)、榆树(*U. Pumila* L.)、千金榆(*Carpinus cordata* Blume)、春榆(*Ulmus davidiana* var. *japonica* (Rehd.) Nakai)、蒙古栎(*Quercus mongolica* Fisch.)、杨树(*Populus* spp.)、青楷槭(*A. tegmentosum* Maxim)等;常见的下木有:胡枝子(*Lespedeza bicolor* Turcz.)、楔叶

绣线菊窄叶变种(*Spiraea canescens* D. Don var. *oblan-ceollata* Rehd.)、刺五加(*Acanthopanax senticosus* (Rupr. et Maxim) Harms)等;主要草本植物有:蕨类(*Adiantum* spp.)、苔草(*Carex* spp.)、蚊子草(*Filipendula* spp.)、山茄子(*Brachybotrys paridiformis* Maxim)、小叶芹(*Aegopodium alpestre* Ledeb.)等。

## 2 研究方法

### 2.1 样地设置及数据调查

2007年9月,在东大坡经营区内由坡底到坡中部共设立2块100 m × 100 m的方形样地,用TOPCON全站仪对样地内胸径大于5 cm的林木定位并进行全面调查,调查内容包括郁闭度、断面积、坡度、树种、胸径、树高以及林下更新等内容。

### 2.2 优势种确定方法

阔叶红松林树种组成结构复杂,不同的林层有各自的优势种,因此,在研究优势种的分布格局时首先确定不同林层的优势树种。以往的研究表明,阔叶红松林树高大于20 m以上为林分上层;树高在10~20 m之间属林分中层;树高小于10 m为林分下层<sup>[19-20]</sup>。一般而言,胸径与树高存在着一定的正相关关系,可以用胸径来表征树高。因此,本研究借鉴徐海等<sup>[15]</sup>、张健等<sup>[21]</sup>的研究方法,将林木胸径(DBH) < 10 cm、10 cm ≤ DBH ≤ 30 cm、DBH > 30 cm的树划归为林分下层、林分中层和林分上层3个不同层次。运用Ohsawa的替代法和相对多度相结合确定每一层的优势树种<sup>[22-23]</sup>。

### 2.3 数据处理

运用O-ring统计方法<sup>[24]</sup>研究不同类型阔叶红松林中红松与优势种群的空间分布格局及种间关联性。O-ring函数是基于RipleyK(d)函数和Mark相

关函数的点格局分析方法,通过计算点在某一距离的发生频率来分析其空间格局。该方法用圆环替代了Ripley's K(d)函数计算中所使用的圆圈,计算环内的点的平均数目,从而孤立了特殊的距离等级<sup>[18]</sup>,是一个概率密度函数,消除了RipleyK(d)函数的尺度累积性效应<sup>[24-28]</sup>。

每个林层优势种群的空间分布格局分析采用单变量的O-ring函数,优势种群的空间关联性采用双变量的O-ring函数分析。运用该方法分析种群空间分布格局时,关键是零假设模型的选择。单变量O-ring统计方法分析优势树种的空间分布格局时,选择完全空间随机零假设,双变量O-ring统计方法分析同一林层的2个种群的空间关联性时,采用完全空间随机零假设,即让2个种群的格局都随机变化;分析不同林层的2个种群的空间关联性时,假设较高的林层对较低的林层的生长和建成有一定的影响,采用先决条件零假设,让较低林层的物种位置随机变化,而保持较高林层的物种位置不变<sup>[18,26-28]</sup>。通过Programita(2006版)对数据进行分析计算<sup>[18]</sup>,进行50次蒙特卡罗模拟,得到95%的置信区间。

## 3 结果与分析

### 3.1 调查样地阔叶红松林群落组成

样地调查数据表明(表1),2个样地坡向均为西北坡,样地2所处坡度较陡,2个样地的海拔高度分别为600、660 m,林分中林木达到检尺胸径5 cm的树种数分别为22种和20种,林分的树种组成中阔叶树种比例均在7成以上。2个林分的郁闭度及胸高断面积相差不大,样地1的林分平均胸径较大,林分密度最小,样地2的林分平均胸径较小,林分密度较大。

表1 阔叶红松林调查样地概况

林分类型	树种组成	树种数	坡度/(°)	坡向	平均海拔/m	郁闭度	断面积/(m <sup>2</sup> · hm <sup>-2</sup> )	林分平均胸径/cm	密度/(株 · hm <sup>-2</sup> )
样地1	2针+8阔	22	8	西北坡	600	0.8	30.2	21.3	830
样地2	2针+8阔	20	17	西北坡	660	0.8	31.3	18.1	1186

为进一步了解不同类型阔叶红松林的组成特征,按照林分下层、林分中层和林分上层的划分方法,对林分中各径级林木的组成进行统计,如图1所示。图1表明:不同林分的林分下层与林分中层的林木株数占大多数,且林分中层林木均较林分下层多,林分上层株数最少。在样地1中,林分中层林木的比例达到了48.4%,林分下

层为36.2%;样地2林分下层与林分中层的比例分别为44.0%和46.9%。

### 3.2 阔叶红松林群落优势树种的确定

本研究在Ohsawa替代法确定的优势种的基础上,将相对多度是否达到10%作为判断标准,与Ohsawa替代法相结合共同确定每个林层的优势树种,并根据东北阔叶红松林区判别林分类型的常用

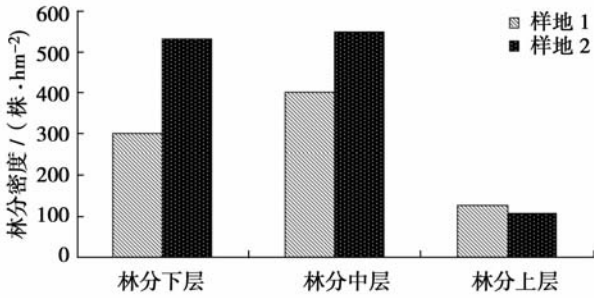


图1 不同类型阔叶红松林的林层分布

方法,确定2个样地的林分类型。由表2可以看出:不同类型阔叶红松林各林层的优势树种总体上表现为林分下层和林分上层的优势树种数相对较少,

而林分中层优势树种相对较多,每个林分的优势树种存在明显差别。在样地1中,白牛槭、春榆、色木槭在林分下层和林分中层为优势树种,而水曲柳、核桃楸在林分中层和林分上层为优势树种。在样地2中,千金榆、春榆为林分下层和林分中层中的优势树种,而椴树、红松、沙松和鱼鳞松为林分中层和林分上层的优势树种,与核桃楸红松林一样,色木槭在3个林层中均为优势树种。表2表明:在不同类型的阔叶红松林中,白牛槭、千金榆和色木槭主要分布在林分下层和林分中层,在林分上层很少见到这几个树种,因此,在进行林分类型确定时不以这几个树种来命名。根据以上分析,2个样地的林分类型可以分别确定为水曲柳红松林和椴树红松林。

表2 2种类型阔叶红松林不同林层的优势树种

林分类型	林层		
	林分下层	林分中层	林分上层
样地1	白牛槭、榆树、色木槭	白牛槭、榆树、色木槭、水曲柳、核桃楸、红松、椴树	水曲柳、红松、核桃楸
样地2	千金榆、色木槭、榆树	色木槭、椴树、千金榆、沙松、核桃楸、榆树、红松	椴树、色木槭、红松、沙松、核桃楸

### 3.3 优势种群的空间分布格局

图2为2种类型阔叶红松林主要种群的分布格局定位散点图。水曲柳红松林不同林层的红松种群个体和水曲柳种群个体 $O(r)$ 函数分析表明:整个林分中,红松种群在0~50m的尺度上呈随机分布,但在3~6m的尺度为聚集性分布(图3a);林分上层的红松种群总体上也表现为随机分布,但在11~12、15~17、20~21m的尺度上为明显地的聚集分布(图3b);林分中层的红松种群分布格局与整个种群的分布格局相类似,在3~7m表现为显著的聚集性(图3c)。水曲柳种群在0~50m的尺度上的分布格局整体上表现为随机分布,在0~4m的尺度上则表现为明显的聚集分布(图3d);林分上层中的水曲柳在8、12m尺度上表现为聚集分布(图3e),林分中层的水曲柳种群分布格局与整个种群的分布格局相类似(图3f)。椴树红松林中红松种群也表现出类似的分布格局:整个林分中,红松种群的分布格局为随机分布,但在3~5、11~15m的尺度上表现出明显地聚集分布(图4a);处于林分上层的红松个体在13~14m尺度上为聚集分布(图4b);

处于林分中层的红松个体在9、13m的尺度上为显著的聚集分布(图4c)。椴树种群在0~50m的尺度上的分布格局整体上表现为随机分布,但在0~6、11~12、19~21、25~26m的尺度上均为轻微的聚集分布(图4d);处于林分上层的椴树个体在5~6m的尺度上为聚集分布(图4e);处于林分中层的椴树个体则在0~1、5~6m的尺度上表现为明显的聚集分布(图4f)。不同类型阔叶红松林中红松种群在较小尺度上呈聚集分布,随着尺度增加,种群分布趋向随机分布,符合物种在较低的林层中呈明显的聚集分布,而在较高的林层则呈随机或者规则性的分布格局,聚集度也随林层的增高而降低的一般规律<sup>[24]</sup>。这可能与红松种子的传播方式、更新方式及种内种间竞争有关;重力作用是红松种子传播的主要动力,球果散落在母树的周围,因而在较小尺度上呈现一定的聚集分布,随着林隙更新<sup>[29-31]</sup>及红松个体的发育,红松种内竞争的日趋激烈,争夺光、水分和养分等资源,以满足其生存需要,导致了大量树木的死亡,最终群落中的红松种群趋向随机分布的格局。

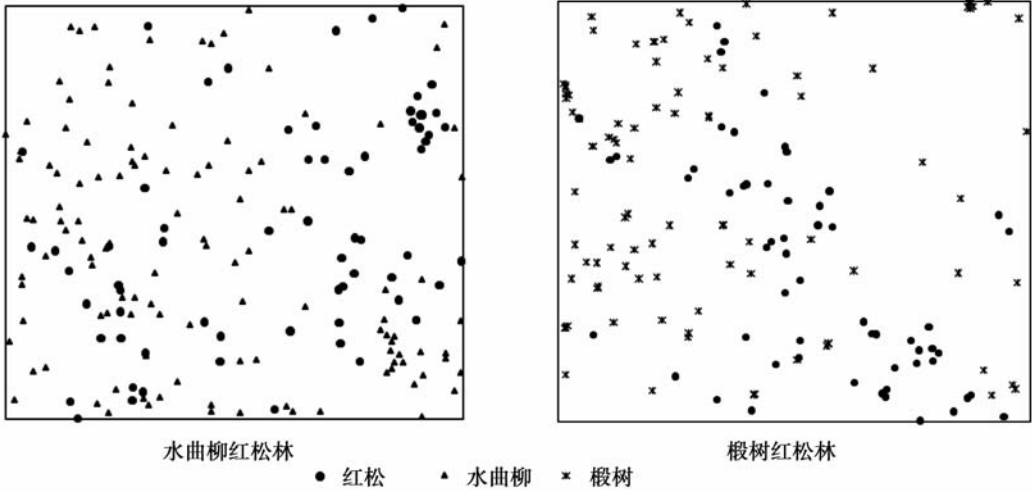


图2 2 种类型阔叶红松林主要种群的定位散点图

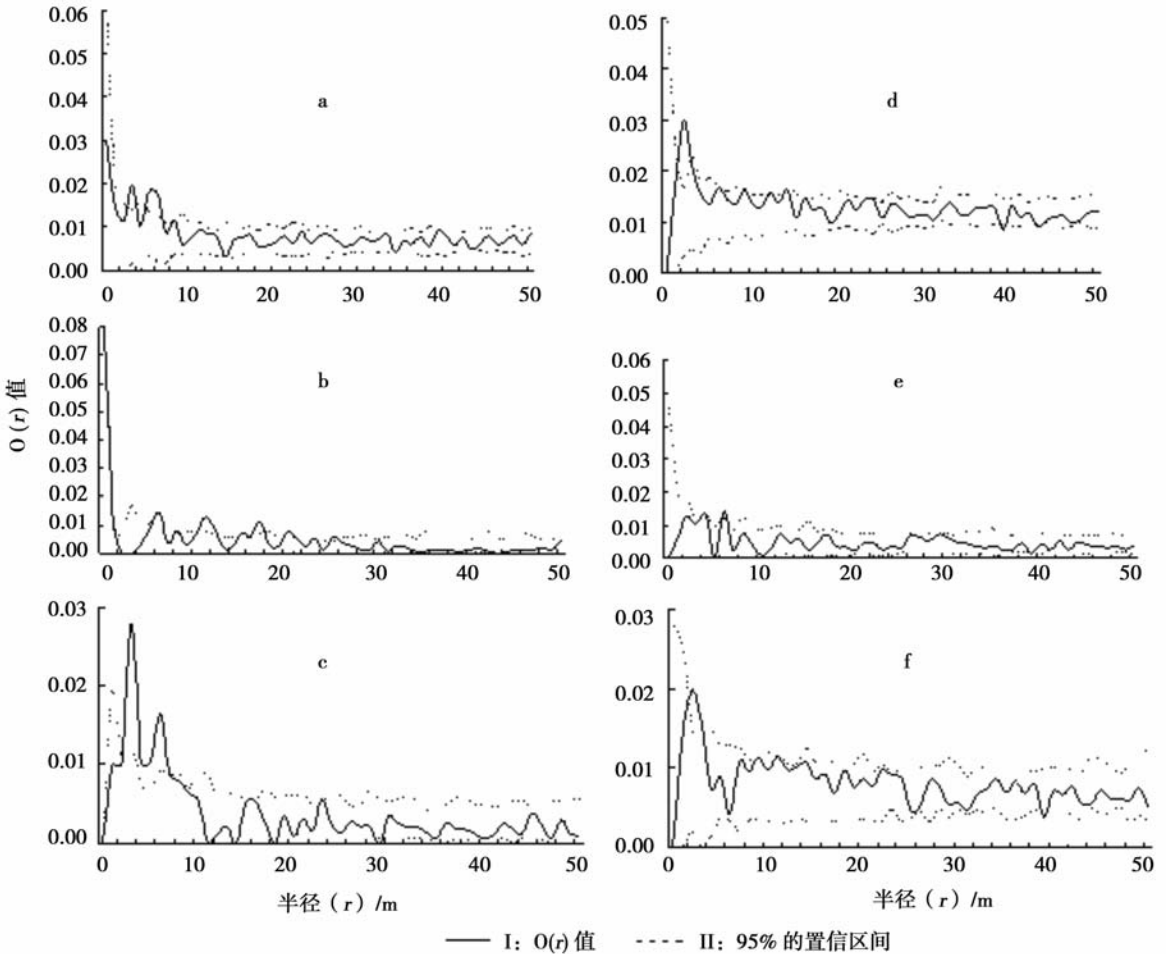


图3 水曲柳红松林优势种群空间格局分析

### 3.4 不同林层优势种群的空间关联性

运用双变量  $O(r)$  统计方法分析了红松与优势树种的种内与种间关联, 整个种群和相同林层的种间关联采用完全随机零假设模型, 不同林层的种间关联则采用先决条件零假设模型, 2 个类型的种内

与种间关联分别有 7 种关系, 如图 5 所示的是水曲柳红松林和椴树红松林整个群落中红松种群与水曲柳种群、红松种群与椴树种群的空间关联性及各林层中种群间的空间关联性。红松种群与水曲柳种群在 2、14 m 尺度上表现为空间负相关的趋势(图

5a);红松种群与椴树种群在 2、10 m 尺度上呈负相关的趋势(图 5d)。林分中层红松种群与水曲柳种群表现出与整个种群类似的相关性(图 5c),林分上层中则以不相关关系为主(图 5b);红松种群与椴树

种群在林分上层和林分中层的空间相关性与整个种群间的相关性类似(图 5d-e)。这说明在阔叶红松林中不同林层的优势树种与红松在小尺度上存在明显的竞争关系。

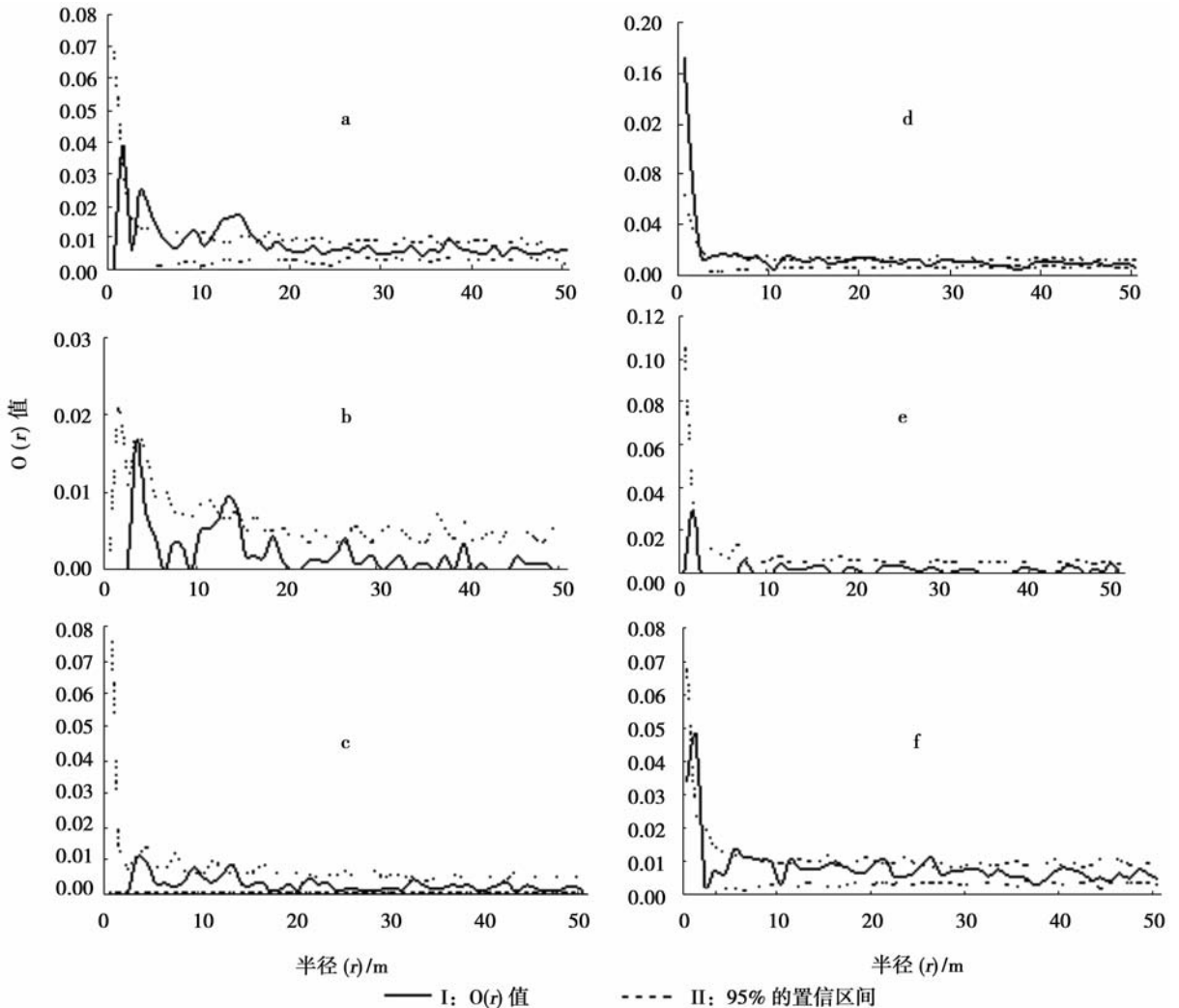


图 4 椴树红松林优势树种空间格局分析

图 6 表明:在水曲柳阔叶红松林中,在 0~19 m 的尺度内,林分上层红松种群与林分中层红松种群呈显著负相关(图 6a),说明林分上层红松对林分中层红松的生长具有明显的抑制作用,而在椴树红松林中,这种空间负相关关系并不明显,林分上层红松与林分中层红松以不相关为主(图 6e)。林分上层水曲柳种群与林分中层水曲柳种群在 4~7 m 的尺度上呈明显地负相关,说明林分上层的水曲柳对林分中层的水曲柳的抑制作用明显;椴树种群表现出类似的空间关系,在 5~7 m 的尺度上呈明显地负相关(图 6b 和图 6f)。林分上层红松与林分中层的

水曲柳、椴树的空间相关关系类似,林分上层红松与林分中层水曲柳在 1~9、11~22 m 为负相关关系(图 6c);林分上层红松与林分中层椴树 1~12、15~17 m 的尺度上为负相关关系(图 6g),这可能是因为林分上层的红松树高和冠幅较大而影响到林分中层水曲柳和椴树的生长。林分上层水曲柳、椴树与林分中层红松的空间相关关系为不相关(图 6d 和图 6h),这说明林分上层的水曲柳与椴树对林分中层的红松生长影响不大,这从另一个角度说明阔叶红松林中顶极树种红松的生长优势明显。

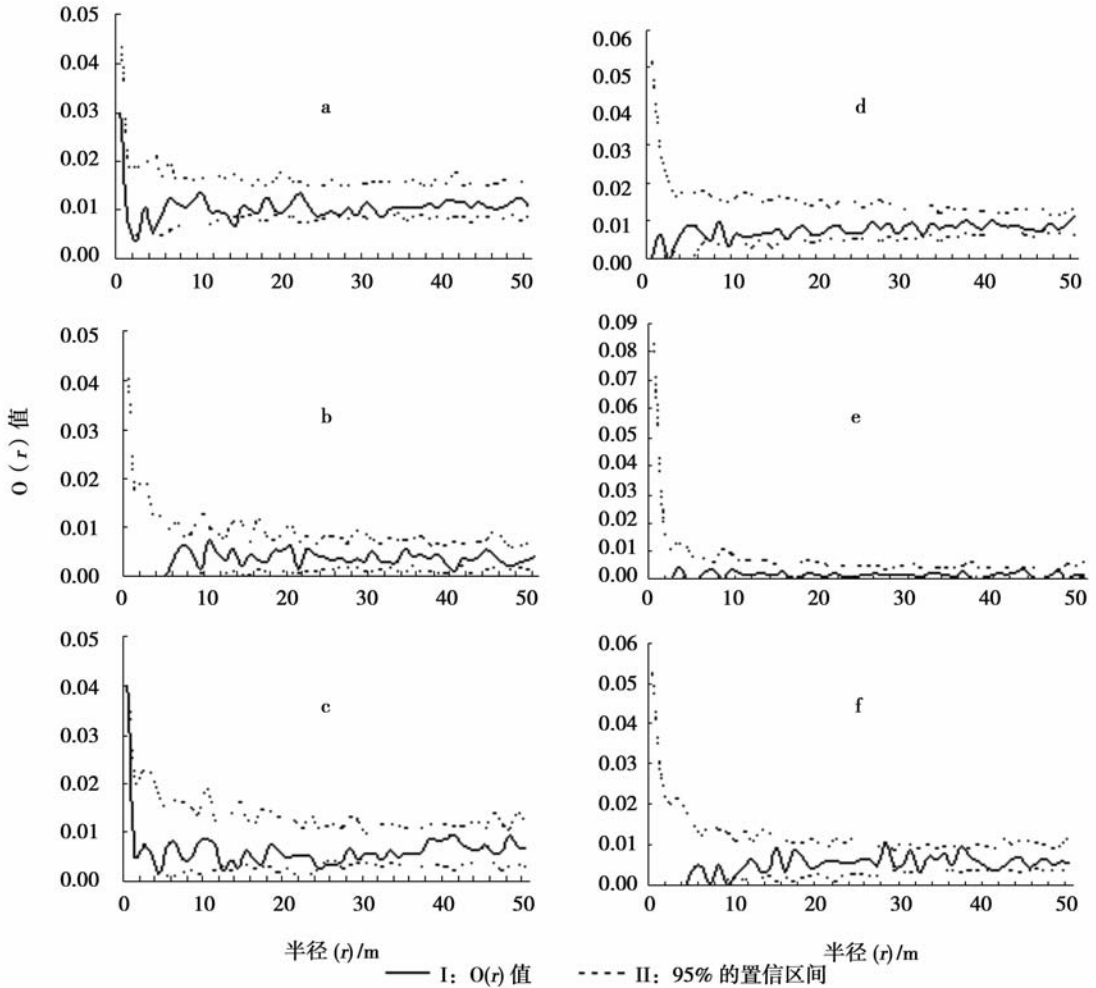


图5 不同类型阔叶红松林中红松与优势种群的空间关联性分析

## 4 结论与讨论

阔叶红松林树种组成复杂,按照树高将林分划分为不同的层次,仅运用 Ohsawa 替代法分析不同类型阔叶红松林不同林层的优势树种,确定的每个林层的优势种数较多,因为这种分析方法只考虑了每个树种的相对显著度,而没有考虑树种的相对多度对优势度的贡献,这对分析混交林的优势树种而言过于粗放,不利于分析林分类型和在细致的层次上分析林分的树种组成特征,因此,本研究结合了每个林层中各树种的相对多度,将相对多度大于 10% 也作为依据分析了阔叶红松林每个林层的优势树种。不同类型阔叶红松林林分下层和林分上层的优势树种数较少,林分中层的优势树种数相对较多,白牛槭、千金榆和色木槭等树种作为伴生树种分布在林分下层和林分中层,而林分上层则以高大乔木为主,林分上层是判别阔叶红松林林分类型的有效依据。

一般而言,由于种内或者种间竞争、种子扩散限制等因素,不同龄级的种群处于不同的林层,表现出不同的分布格局<sup>[32]</sup>。本文运用胸径代替树高的方法将林分划分为不同的层次研究主要林层中红松与优势树种的空间分布格局与空间关联性,水曲柳红松林中的红松种群和水曲柳种群整体上表现为随机分布的格局,但在较小尺度上表现为聚集的趋势,处于林分中层的红松种群尤为明显,这可能与红松种子扩散能力有关。椴树红松林中的红松和椴树种群均在多个尺度上呈聚集分布,这一方面与物种种内种间竞争有关,也可能与环境的异质性有关。不同类型阔叶红松林相同林层空间相关性分析表明,水曲柳红松林和椴树红松林中相同林层中 2 个种群总体上呈现不相关的空间关系,不同林层的种群间存在着一定在相关关系。在水曲柳红松林中,林分上层的红松与林分中层红松在 0~19 m 的尺度内存在显著地负相关,而在椴树红松林中,这种空间相关

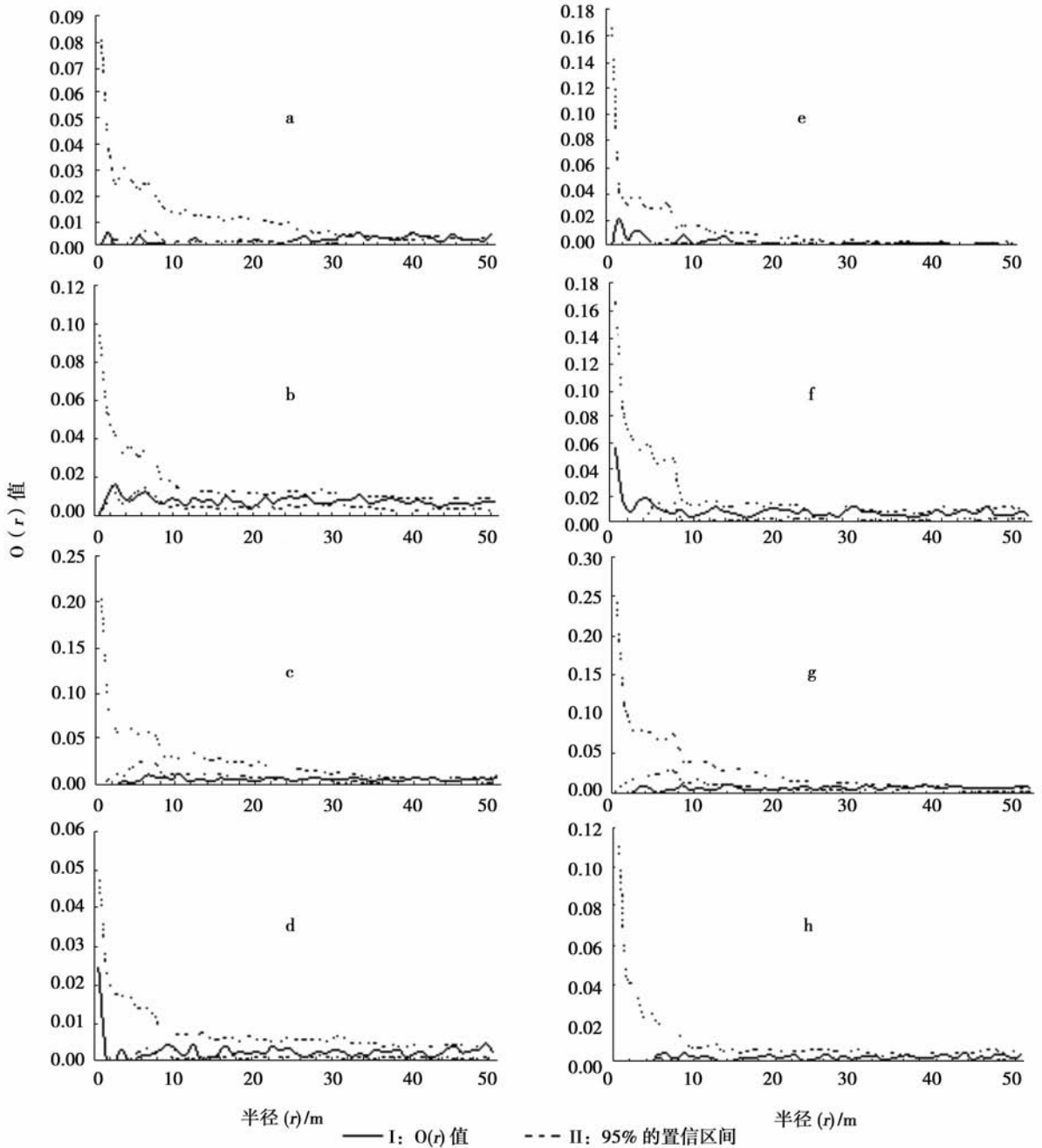


图6 不同类型阔叶红松林中各林层优势种群的空间关联性分析

关系并不明显;林分上层水曲柳与林分中层水曲柳、林分上层的椴树与林分中层椴树在小尺度上存在明显地负相关关系;林分上层的红松与林分中层的水曲柳及椴树都在较大尺度上存在显著负相关的空间关系,而林分中层的红松与林分上层水曲柳、椴树的空间相关关系为不相关。结合2 种类型阔叶红松林主要种群空间分布格局和关联性可以看出,水曲柳、椴树与红松能够在群落中很好的共存,红松在水曲柳和椴树的林冠下可以较好的存活与生长。在进行

林木分布格局调整时,可通过择伐聚集在一起的生长不良和病腐的林木,对种群的分布进行适度的干扰,以达到调整林木分布格局,促进群落正向演替的目的。针对高层林中的红松对林分中层的红松、水曲柳和椴树均在一定尺度上具有抑制作用,可能由于红松高大的树体和冠幅占据较大的空间,遮挡阳光而影响其下林木的生长,在经营时可择伐利用部分成熟的红松,产生一定面积的林隙,这有利于整个群落的更新与繁衍。高层林的水曲柳和椴树对较低



林层的同种也具有类似的相关关系,在针对这两种伴生树种进行培育时也可采用择伐部分成熟个体的方法,促进林下更新。

研究种群的分布格局及群落中种群的关联性的重要意义在于深化对群落结构的认识,进一步了解群落的发展趋势,同时,在一定程度上也能够了解不同种群对环境资源竞争以及种内竞争关系,但对于红松阔叶混交林来说,由于组成树种和层次结构复杂,各树种间的相互作用更加微妙与复杂,因此,对于群落中各种群的种间、种内关系的研究仅从格局分布的分析是远远不够的,因为,不同的过程可以产生相同的格局,而相同的格局也许是几个生态学过程的共同作用<sup>[33]</sup>;植物与环境因子的关系也是影响种群分布的重要因素,此外,关于研究种群分布格局的样地面积问题也一直是一个争论的焦点,究竟多大的样地才能真实的体现出种群在群落中的分布格局?样地面积是否是越大越好?因此,许多问题还有待于进一步研究和完善。

#### 参考文献:

- [1] 宋永昌. 植被生态学[M]. 上海:华东师范大学出版社,2001
- [2] 张金屯,孟东平. 芦芽山华北落叶松林不同龄级立木的点格局分析[J]. 生态学报,2004,24(1): 35-40
- [3] 张金屯. 群落二维格局分析的两种方法[J]. 西北植物学报, 2004, 24(8): 1448-1451
- [4] 张会儒,汤孟平,舒清杰. 森林生态采伐的理论与实践[M]. 北京:中国林业出版社, 2006
- [5] 叶芳,彭世揆. 种群空间分布理论的发展历史及其现状[J]. 林业资源管理, 1997(6): 55-58
- [6] 惠刚盈,李丽,赵中华,等. 林木空间分布格局研究方法[J]. 生态学报,2007,27(11): 4717-4728
- [7] 谢宗强,陈伟烈,刘正宇. 银杉种群的空间分布格局[J]. 植物学报, 1999, 41(1): 95-101
- [8] 王太鑫,丁雨龙,刘永建. 巴西木竹无性系种群的分布格局[J]. 南京林业大学学报:自然科学版,2005,29(3): 37-40
- [9] 张金屯. 植物种群空间分布的点格局分析[J]. 植物生态学报, 1998, 22(4): 344-349
- [10] Ripley B D. Spatial Statistics[M]. New York: Wiley,1981
- [11] Ripley B D. The second-order analysis of stationary point processes [J]. Journal of Applied Probability, 1976,13:255-266
- [12] Ripley B D. Modelling spatial pattern[J]. Journal of the Royal Statistical Society. Series B, 1977,39: 172-212
- [13] 汤孟平,唐守正,雷相东. Ripley'sK(d)函数分析种群空间分布格局的边缘校正[J]. 生态学报, 2003,23(8): 1533-1538
- [14] 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): 37-42
- [15] 徐海,惠刚盈,胡艳波,等. 天然红松阔叶林不同径阶林木的空间分布特征分析[J]. 林业科学研究, 2006, 19(6): 687-691
- [16] 王蕾,张春雨,赵秀海. 长白山阔叶红松林的空间分布格局[J]. 林业科学,2009,45(5): 55-60
- [17] 侯向阳,韩进轩. 长白山红松林主要树种空间格局的模拟分析[J]. 植物生态学报,1997, 21(3): 242-249
- [18] Wiegand T, Moloney K A. Rings, circles and null models for point pattern analysis in ecology[J]. Oikos, 2004,104: 209-229
- [19] 徐化成. 中国红松阔叶林[M]. 北京:中国林业出版社,2001
- [20] 阳含熙. 长白山北坡红松阔叶林主要树种的分布格局[M]. 森林生态系统研究, 1985(1): 1-14
- [21] 张健,郝占庆,宋波,等. 长白山阔叶红松林中红松与紫椴的空间分布格局及其关联性[J]. 应用生态学报,2007,18(8): 1681-1687
- [22] 覃林. 统计生态学[M]. 北京:中国林业出版社,2009
- [23] 汤孟平,周国模,施拥军,等. 天目山常绿阔叶林优势种群及其空间分布格局[J]. 植物生态学报,2006,30(5): 743-752
- [24] Condit R, Ashton P S, Baker P, et al. Spatial patterns in the distribution of tropical tree species[J]. Science, 2000,288:1414-1418
- [25] Schurr F M, Bossdorf O, Milton S J, et al. Spatial pattern formation in semi-arid shrub land; a priori predicted versus observed pattern characteristics[J]. Plant Ecology, 2004,173:271-282
- [26] 喻泓,杨晓晖,慈龙骏. 地表火对红花尔基沙地樟子松种群空间分布格局的影响[J]. 植物生态学报,2009,33(1): 71-80
- [27] 缪宁,史作民,冯秋红,等. 川西亚高山岷江冷杉种群的空间格局分析[J]. 林业科学,2008,44(12): 1-5
- [28] Yu H, Wiegand T, Yang X, et al. The impact of fire and density-dependent mortality on the spatial patterns of a pine forest in the Hulun Buir sandland, Inner Mongolia, China[J]. Forest Ecology and Management, 2009, 257(10): 2098-2107
- [29] 臧润国. 红松阔叶林林冠空隙动态的研究[D]. 北京:北京林业大学,1995
- [30] 臧润国,郭忠凌,高文韬. 长白山自然保护区阔叶红松林林隙更新的研究[J]. 应用生态学报,1998,9(4): 349-353
- [31] 宋新章,张慧玲,肖文发,等. 长白山区阔叶红松林采伐林隙种子库研究[J]. 北京林业大学学报,2009,32(2): 17-24
- [32] Nathan R. Long-distance dispersal of plants[J]. Science, 2006, 313: 786-788
- [33] He F, Legendre P, La Frankie J V. Distribution patterns of tree species in a Malaysian tropical rain forest[J]. Journal of Vegetation Science, 1997,8: 105-111