

林木空间分布格局分析方法

惠刚盈¹ 李 丽² 赵中华¹ 党普兴³

(1. 中国林业科学研究院林业研究所 ,国家林业局林木培育重点实验室 ,北京 100091 2. 沈阳农业大学林学院 ,沈阳 110161 ;
3. 西北林业调查规划设计院 ,西安 710048)

摘要 采用 5 块实地调查样地和 30 块模拟样地 ,通过基于 Ripley *K*-函数的 *L*-函数、双相关函数和角尺度方法在林木空间分布格局研究中的比较分析 ,得出如下结论 :双相关函数和角尺度在判断的准确性方面优于 *L*-函数 ;角尺度在有效性和可行性方面比 *L*-函数和双相关函数更强 ,并且它能利用角尺度分布图和均值 $\overline{W}$ 同时作定性和定量分析 ,从而使其优势更加明显。
关键词 林木空间分布格局 ;*K*-函数 ;*L*-函数 ;双相关函数 ;角尺度 ;分析方法
文章编号 :1000-0933 (2007)11-4717-12 中图分类号 :Q948 文献标识码 :A

The comparison of methods in analysis of the tree spatial distribution pattern

HUI Gang-Ying¹ ,LI Li² ,ZHAO Zhong-Hua¹ ,DANG Pu-Xing³

1 Research Institute of Forestry , Chinese Academy of Forestry , Key Laboratory of Tree Breeding and Cultivation , Beijing 100091 , China
2 Forestry College , Shenyang Agricultural University , Shenyang 110161 , China
3 Northwest Institute of Forest Inventory , Planning and Design , SFA , Xi'an 710048 , China
Acta Ecologica Sinica 2007 27 (11) 4717 ~ 4728.

Abstract : The following conclusions were obtained from comparison of *L*-function base on *K*-function、pair-correlation function and uniform angle index used in analyzing of tree spatial distribution pattern , the data from 5 actual plots and 30 simulative plots. Pair-correlation function and uniform angle index were exacter than *L*-function ;Uniform angle index was effective and feasible than *L*-function and pair-correlation function , besides ,uniform angle index has additional advantage for it can carry out qualitative and quantitative analysis synchronously by uniform angle index distributing diagram and average value $\overline{W}$.

Key Words : spatial distribution pattern ;*K*-function ;*L*-function ;pair-correlation function ;uniform angle index ;comparison of methods

空间分布格局是指种群个体在水平空间的配置状况或分布状态 ,它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^[1]。对种群空间分布格局的研究和阐明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^[2,3]。根据前人的研究 ,分布格局的判断可以从 3 个角度进行 :在一定面积的样方内林木个体可能的株数分布 ;单木之间距离的大小及分布 ;各单木与其周围单

基金项目 国家林业科技支撑计划资助项目 (2006BAD03A08-03)
收稿日期 2007-04-03 ;修订日期 2007-09-06
作者简介 惠刚盈 (1961 ~) 男 ,陕西人 ,博士 ,研究员 ,主要从事天然林经营模拟研究. E-mail hui@forestry. ac. cn
Foundation item The project was financially supported by Key Technologies R&D Forestry Program , China (No. 2006BAD03A08-03)
Received date 2007-04-03 ;**Accepted date** 2007-09-06
Biography HUI Gang-Ying ,Ph. D. ,Professor ,mainly engaged in natural forest management and simulation. E-mail hui@forestry. ac. cn

木所能构成的夹角大小及其分布,因此,格局研究方法即可分为 3 类:样方法、距离法和角尺度法^[3-6]。样方法是一种简单的空间格局分析方法,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^[7,8]。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 Ripley *K*-函数的 *L*-函数^[9-14],近 10a 来还出现了角尺度方法,其应用方兴未艾^[15,16]。本研究试图对目前较为流行的 3 种空间分布格局分析方法即基于 Ripley *K*-函数的 *L*-函数、双相关函数和角尺度方法进行比较研究,以期找到一种适应性更强的方法。

1 研究材料与方法

1.1 材料

研究所用材料包括实地调查资料和模拟资料。实地调查资料来源于两部分:一是中国吉林省蛟河林业实验区东大坡经营区的 1hm² 大的全面调查样地数据,该试验区地理坐标 43°51′~44°05′ N,127°35′~127°51′ E,气候属温带大陆性季风山地气候,年平均气温 1.7℃,年平均降水量 856.6mm,年相对湿度 75%,土壤为潜育化暗棕壤,植被为天然红松阔叶混交林;二是南美洲厄瓜多尔热带天然林的 4 块 1hm² 大样地的调查数据,该区地理坐标为 0°37′ S,77°25′ W,属于热带雨林,全年湿热多雨,年平均气温 23~27℃,平均年降水量 2000~3000mm。以上 5 块样地均为方形即 100m×100m,依次编号为 1、2、3、4、5。模拟资料是利用空间结构分析软件 Winkelmass 模拟的密度为 1000 株/hm²、面积为 100m×100m 的样地 30 块,其中随机、均匀和团状各 10 块。

1.2 方法

1.2.1 基于 Ripley *K*-函数的 *L*-函数

Ripley's *K*(*r*) 函数^[1]分析方法是 Ripley 1977 年提出的,它的估计值 $\hat{K}(r)$ 可按下式计算:

$$\hat{K}(r) = A \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n \frac{\delta_{ij}(r)}{n^2} \quad i, j = 1, 2, \dots, n, i \neq j, r_{ij} \leq r \tag{1}$$

式中 $\delta_{ij}(r) = \begin{cases} 1 & \text{如果 } r_{ij} \leq r \\ 0 & \text{如果 } r_{ij} > r \end{cases}$; *A* 为样地面积, *n* 为样地内林木株数, *r*_{*ij*} 为林木 *i* 与林木 *j* 之间的距离, *r* 为距离尺度。

Ripley's *K*(*r*) 函数分析需要检验总体分布格局是否符合随机分布。在森林随机分布的零假设下,以随机选取的一株树木为中心,以 *r* 为半径的圆内林木株数 *k* 的期望值是 $\lambda \pi r^2$ 。由此可知,对随机分布的森林, $\hat{K} = \pi r^2$ 。Besag 等提出用 $\hat{L}(r)$ 取代 $\hat{K}(r)$,并对 $\hat{K}(r)$ 作开平方的线性变换,以保持方差稳定, $\hat{L}(r)$ 可表示为^[12]:

$$\hat{L}(r) = \sqrt{\frac{\hat{K}(r)}{\pi}} - r \tag{2}$$

或者

$$\hat{L}(r) = \sqrt{\frac{\hat{K}(r)}{\pi}} \tag{3}$$

$\hat{L}(r)$ 与 *r* 的关系图可用于检验分布格局的类型 (2)式用平行线表示^[12] (3)式用对角线表示^[13],本研究利用的是 (3)式对角线的表示方法。当 $\hat{L}(r)$ 落在期望值 (即对角虚线) 上时,则林木分布是随机分布;当 $\hat{L}(r)$ 落在期望值 (即对角虚线) 的上方时,则林木分布是团状分布;当 $\hat{L}(r)$ 落在期望值 (即对角虚线) 的下方时,则林木分布是均匀分布。

1.2.2 双相关函数

双相关函数^[6,13]是一种通过图形函数来表达的格局判定方法。在此将树木密度或强度 λ 定义为单位面积的株数,树木密度有如下特性:若随机在林分中选择一个很小的观察面 *dF*,那么,在这个面上发现一个树木的概率就等于 λdF ,因为在相对小的面上决不会有多于两个树木的存在。现在考察两个同样小的观察面 *dF*₁ 和 *dF*₂,将他们间的距离设定为 *r*,在这两个小的观察面上各有一棵树的概率 *P*(*r*),通常依赖于 *r*,用公式表示为:

$$P(r)=\lambda^2\cdot g(r)\cdot dF_1\cdot dF_2$$
 (4)

式中的函数 $g(r)$ 被称为双相关函数。在一个纯随机分布 (泊松分布) 的林分中任意距离 r 都会得出 $g(r)=1$ 按照概率乘法公式有:

$$P(r)=\lambda\cdot dF_1\cdot \lambda\cdot dF_2$$
 (5)

如果树木位置有规则分布的趋势 (如人工林) 那么对于小的 r 来讲就有 $g(r)=0$ 因为树木对在这样小的距离内不存在, 这个距离被称作硬距离即最小树木间距 r_0 ; 对于较大的 r 值就有 $g(r)>0$ 并且随着 r 的增大 $g(r)$ 的值趋于 1。如果是团状分布 则对于小的 r 就会有大的 $g(r)$ 且常常超过 1。

1.2.3 角尺度

角尺度 W_i [6] 是惠刚盈等 1998 年提出的。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 α , 角尺度被定义为 α 角小于标准角 α_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 $\overline{W}$ 的置信区间为准。随机分布时 $\overline{W}$ 取值范围为 $[0.475, 0.517]$; $\overline{W}>0.517$ 时为团状分布; $\overline{W}<0.475$ 时为均匀分布。 $\overline{W}$ 用公式表示为:

$$\overline{W}=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^nW_i=\frac{1}{4n}\sum_{i=1}^n\sum_{j=1}^4z_{ij}$$
 (6)

式中 $z_{ij}=\begin{cases} 1, & \text{当第 } j \text{ 个 } \alpha \text{ 角小于标准角 } \alpha_0 (\alpha_0=72^\circ) \\ 0, & \text{当第 } j \text{ 个 } \alpha \text{ 角大于或等于标准角 } \alpha_0 \end{cases}$ n 为林分内参照树的株数; i 为任一参照树; j 为参照树 i 的 4 株最近相邻木; W_i 为角尺度即描述相邻木围绕参照树 i 的均匀性。

2 研究结果

图 1 ~ 图 7 显示的是基于 Ripley K -函数的 L -函数、双相关函数和角尺度方法对实地调查样地和模拟样地的研究结果。

由图 1 可知, 对于 5 块实地调查样地的林木分布格局类型 L -函数曲线相对于期望值几乎没有偏离, 判断结果为随机型; 双相关函数的判断结果是样地 1、3、5 为典型的随机型, 样地 2、4 稍微有一点偏团状, 角尺度分布样地 2 右侧的频率明显大于左侧频率, 表现为团状分布, 而其他 4 块样地两侧的频率都大致相等, 表现为随机分布; 5 块样地的角尺度均值 $\overline{W}$ 分别为 0.498、0.520、0.499、0.505 和 0.500, 根据角尺度均值 $\overline{W}$ 的置信区间得出样地 2 为团状分布, 其余 4 块样地均为随机分布, 与从角尺度分布图上的直观判断结果相符。

图 2 ~ 图 3 表明, 对于 10 块模拟的随机分布样地 L -函数曲线相对于期望值没有出现偏离的情况, 表现为随机分布; 双相关函数曲线呈现为典型的随机分布; 角尺度分布左右两侧的频率都大致相等, 判断为随机分布; 角尺度均值 $\overline{W}$ 都落在属于随机分布的区间 $[0.475, 0.517]$ 内。

根据图 4 ~ 图 5 中显示的结果, 对于 10 块模拟的均匀分布样地 L -函数曲线相对于期望值有一点点偏离, 但很不明显几乎看不到, 极易将结果误判为随机分布; 双相关函数曲线表现为明显的均匀分布; 角尺度分布是左侧频率明显的大于右侧频率, 表现为均匀分布; 角尺度均值 $\overline{W}$ 均小于 0.475, 落在属于均匀分布的区间内。

由图 6 ~ 图 7 可知, 对于 10 块模拟的团状分布样地 L -函数曲线相对于期望值能看出有一点偏离, 在小 r 时实际值位于期望值的上方, 表现为团状分布, 但是偏离的程度很小, 误判为随机分布的可能性还很大; 双相关函数曲线呈现出明显的团状分布特征; 角尺度分布是右侧频率明显的大于左侧频率, 表现为团状分布; 角尺度均值 $\overline{W}$ 都大于 0.517, 落在属于团状分布的区间内。

3 结论与讨论

(1) 基于 Ripley K -函数的 L -函数和双相关函数均为距离法中判定林木空间分布格局的常用方法, 但是

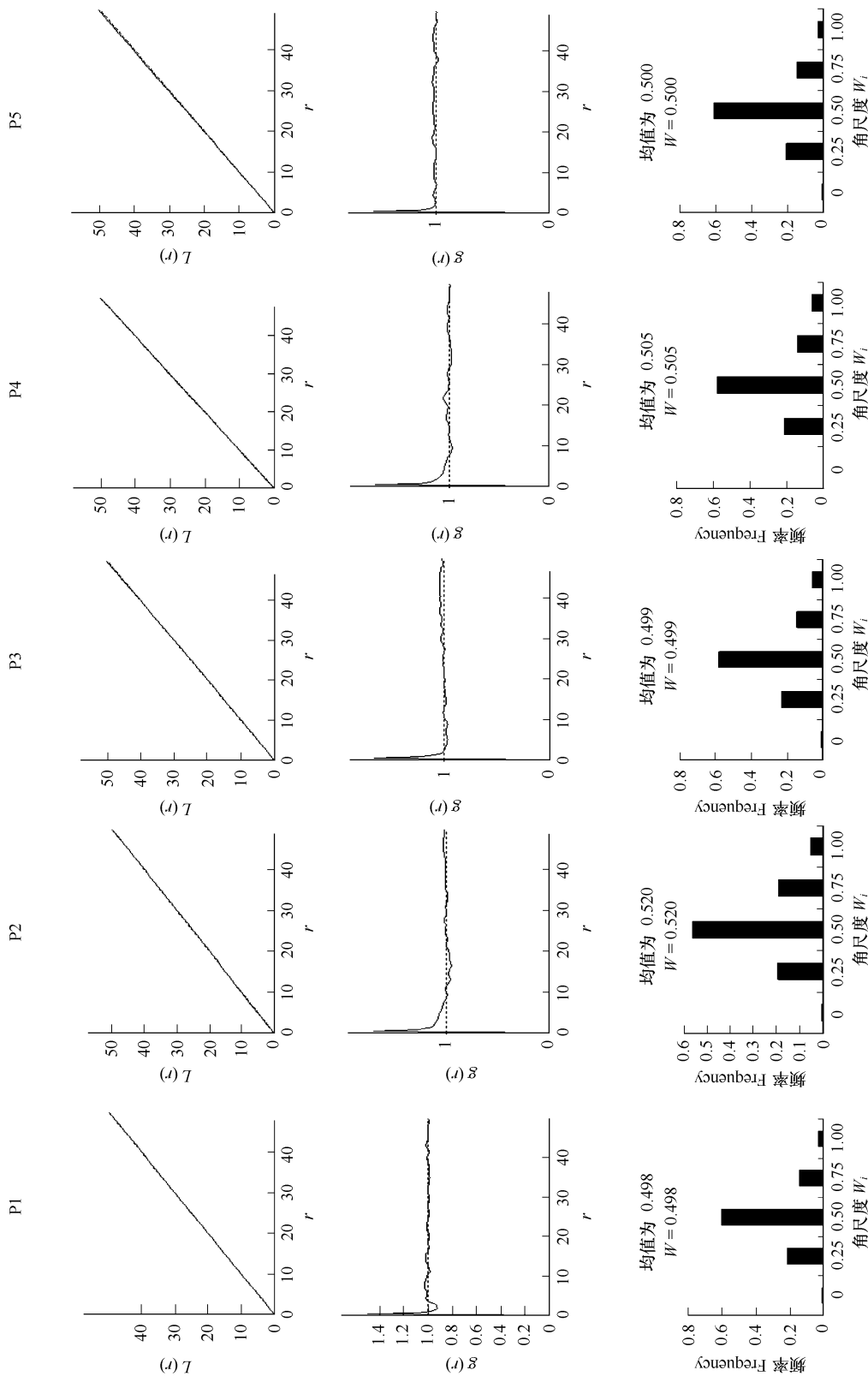


图1 实地调查样地
Fig.1 Actual plots

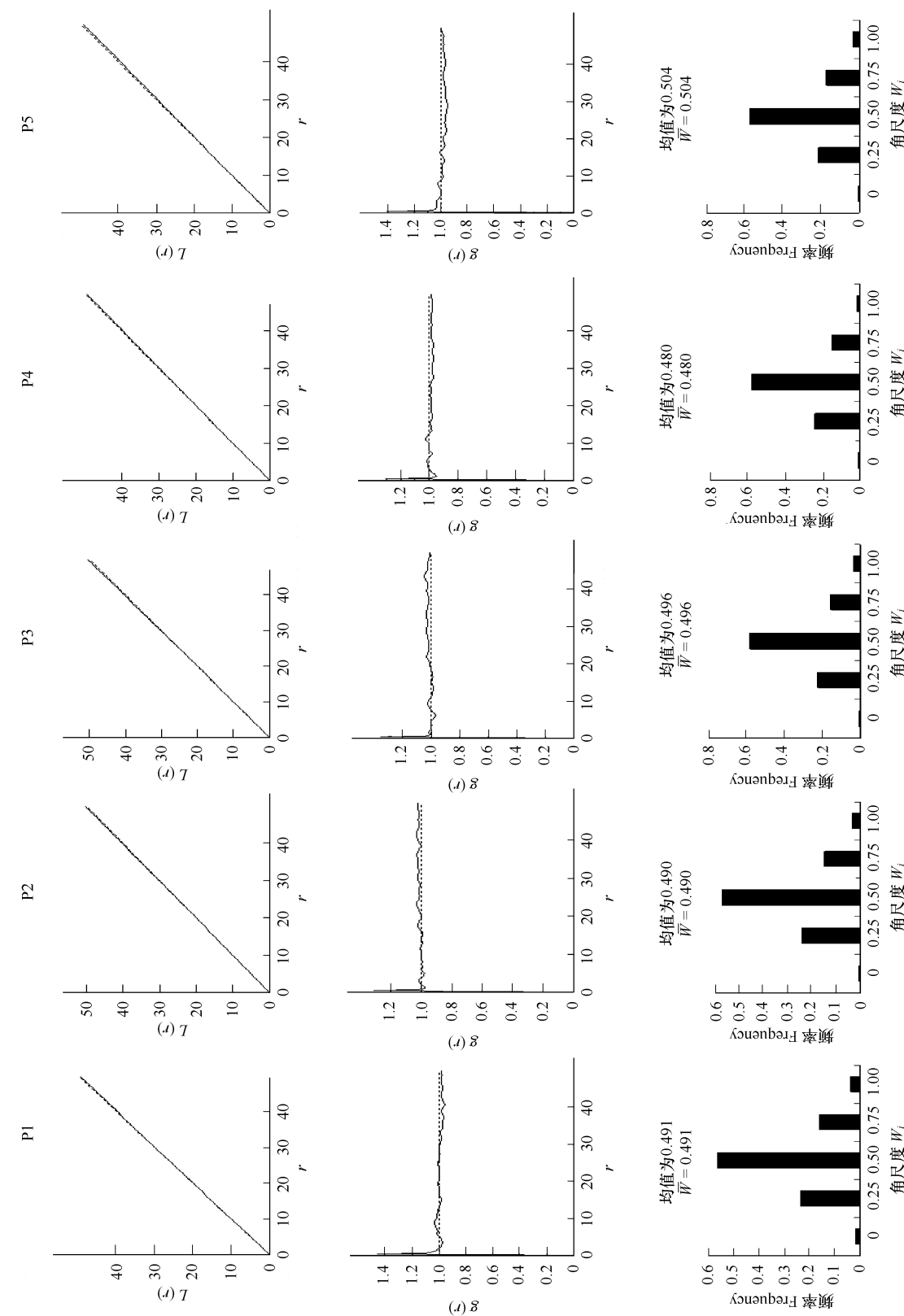


图2 模拟样地(随机)(p1~p5)
Fig 2 Simulative polts (random)(p1~p5)

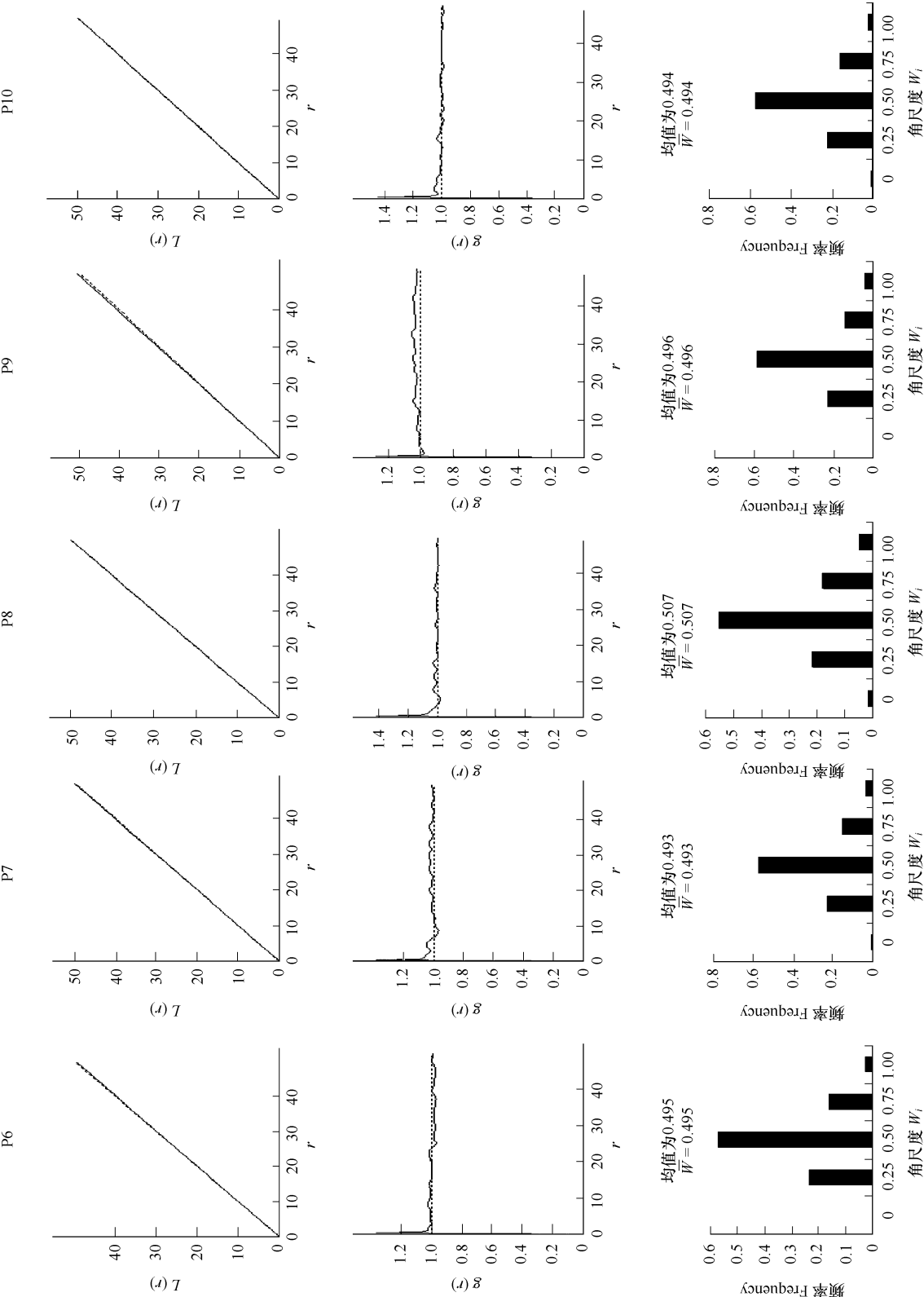


图3 模拟样地(随机)(p6~p10)
Fig.3 Simulative polts (random)(p6~p10)

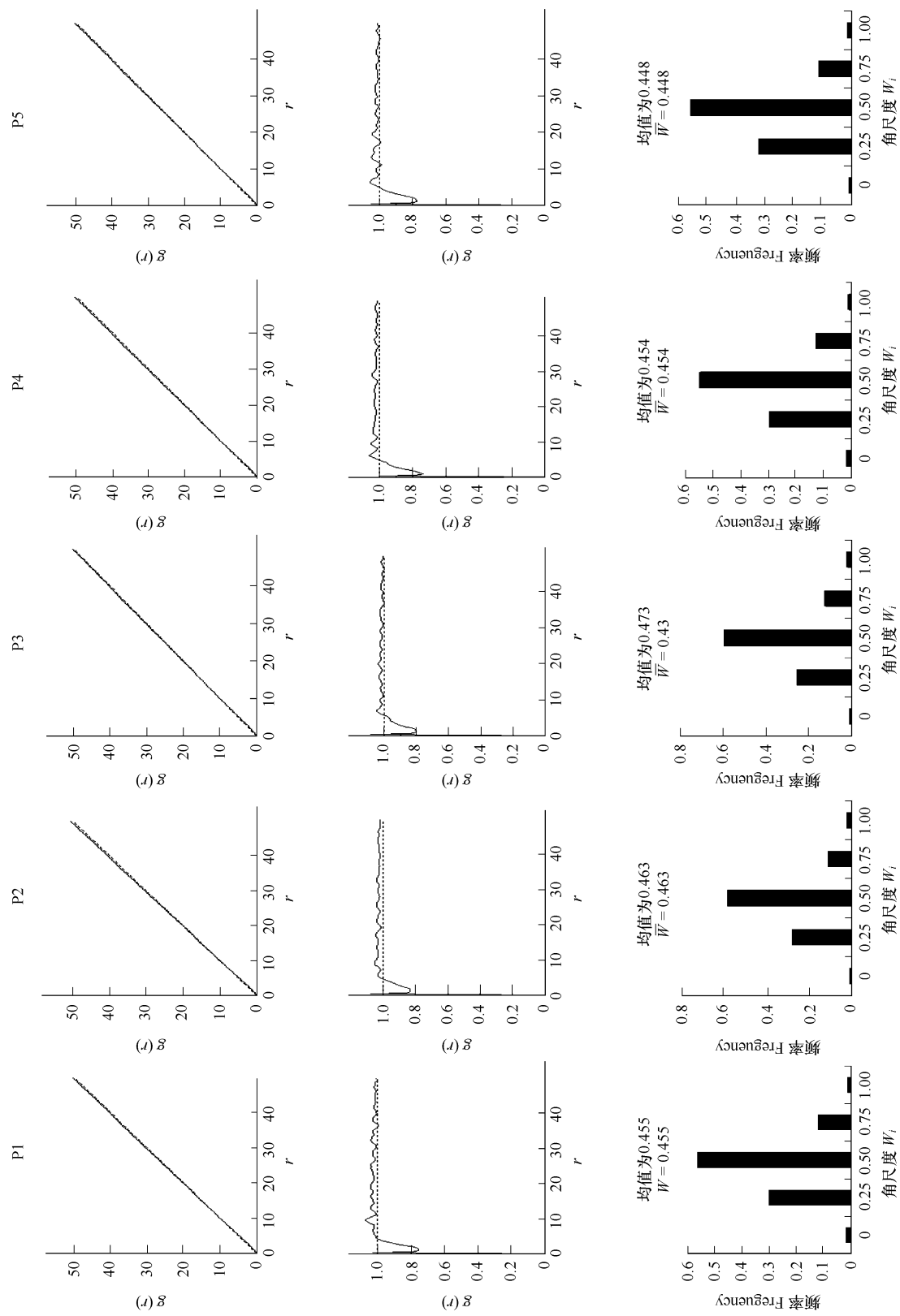


图4 模拟样地(均匀) (p1~p5)
Fig.4 Simulative plots (uniform) (p1~p5)

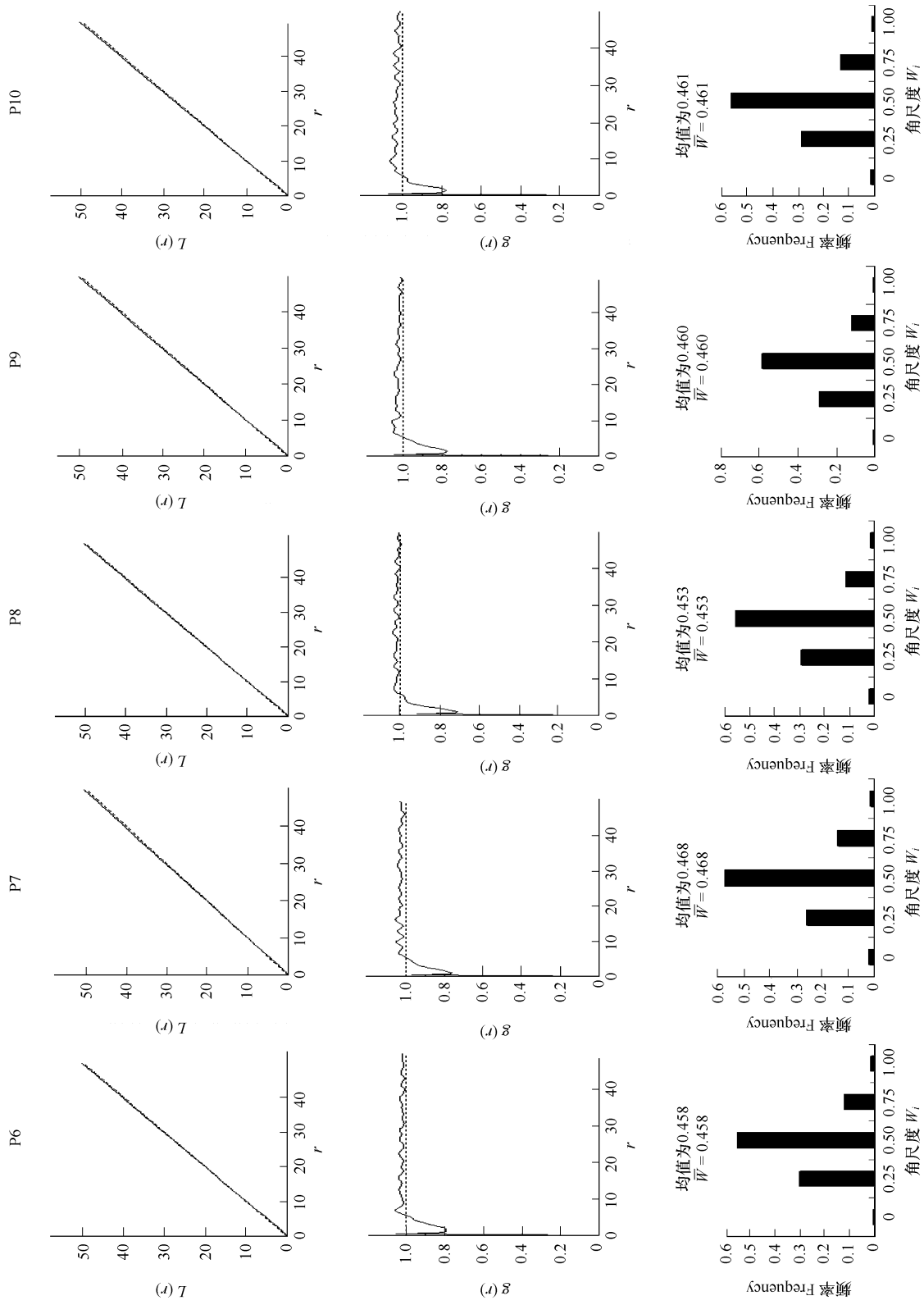


图5 模拟样地(均匀)(p6~p10)
Fig.5 Simulative plots (uniform) (p6~p10)

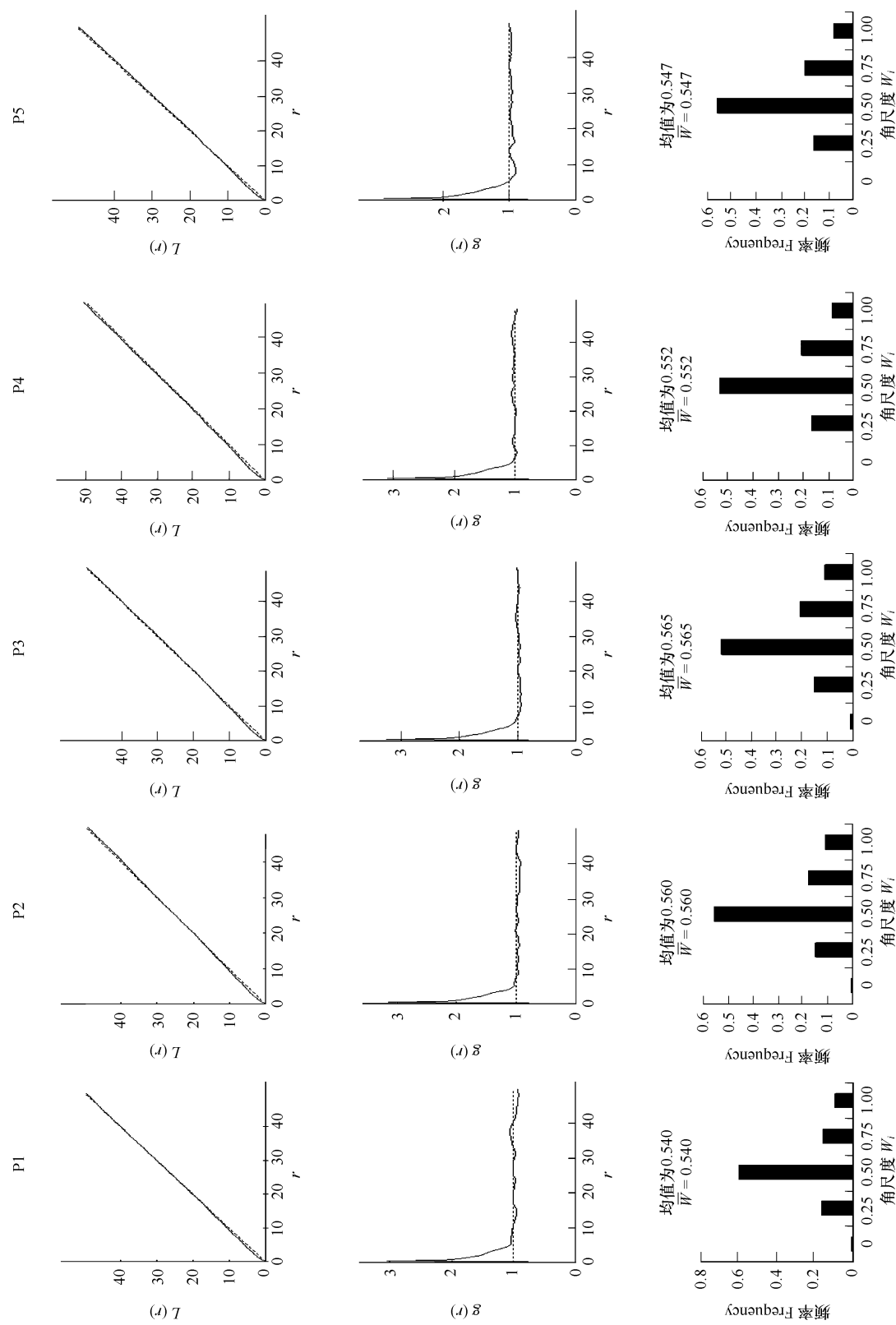


图 6 模拟样地 (团状) (p1~p5)
Fig. 6 Simulative polts (clumped) (p1~p5)

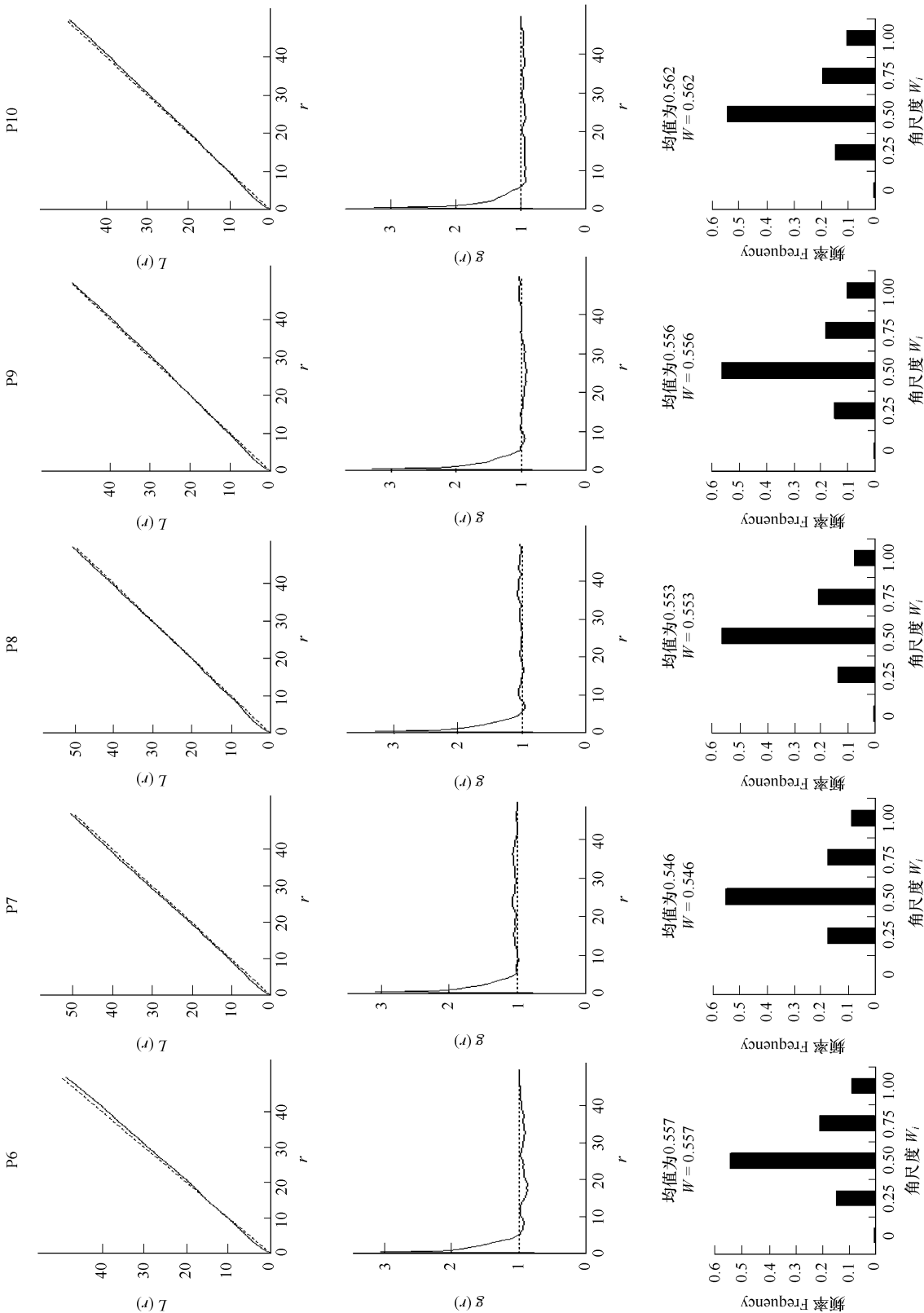


图7 模拟样地(均匀)(p6~p10)
Fig.7 Simulative plots (uniform) (p6~p10)

从对研究结果的分析知道,它们在判断的准确性方面存在差别,即双相关函数比 L -函数更准确,在模拟的均匀和团状分布样地中,这种差别显得尤为明显,双相关函数曲线能表现出典型的均匀和团状,而 L -函数曲线却一直在随机附近徘徊,均匀和团状分布的特征几乎没有表现出来,可见,双相关函数比基于 Ripley K -函数的 L -函数更敏感。这可能与它们各自的定义有关, K -函数表现一个给定的距离 r 范围内的聚集或者扩散,而双相关函数表现一个给定的距离 r 上的聚集或者扩散,因此, K -函数和累积分布函数类似,而双相关函数和随机变量的概率密度函数有关,双相关函数的额外优点就是它拥有对邻体密度的解释,从而比累积度量更直观,更容易理解^[13]。

(2) 与 L -函数和双相关函数相比,角尺度对林木空间分布格局类型判定的准确性显而易见,从研究结果中知道,角尺度分布能明显的表现出左右两侧频率大致相等的随机分布,左侧频率大于右侧频率的均匀分布,右侧频率大于左侧频率的团状分布;由角尺度均值 $\overline{W}$ 的置信区间也能做出准确的判定。可以注意到角尺度的一个突出优势就是,除了从角尺度分布图作直观定性的判断外,它还能计算出角尺度均值 $\overline{W}$,然后通过置信区间作定量的判断,增强了判断结果的准确性。

(3) L -函数、双相关函数和角尺度在可行性和有效性方面也存在差别, L -函数和双相关函数野外测量林木坐标需要花费更多的时间和人力,使取得调查数据的成本较高,从而降低了它的有效性,而角尺度既可利用林木坐标数据计算,也可以通过抽样调查数据判断和统计由参照树与其相邻木构成的夹角是否大于标准角,来描述相邻木围绕参照树的均匀性,从而获得林木的水平分布格局,角尺度的计算是建立在 4 株最近相邻木的基础上,即使对较小的团组,它也可以评价出各群丛之间的这种变异,从而清晰地描述了林木个体的分布,从均匀到随机再到团状分布^[7],因此,角尺度比 L -函数和双相关函数更可行有效。

(4) 分布格局类型是群落的一种客观属性,对于同一群落,它的格局类型是固有的,不应该随着研究尺度 r 的变化而变化,在利用 L -函数表达时,研究要考察的就是函数曲线一开始的走向,这时的表现即为所研究林分的格局类型。

References :

[1] Song Y C. Vegetation Ecology. Shanghai :East China Normal University Press 2001.

[2] Zhang H R ,Tang M P ,Shu Q T. The theoretics and practice of forest ecology felling. Beijing :China Forestry Publishing House 2006.

[3] Ye F ,Peng S K. The development history and situation of population spatial distribution theory. Forest Resources Management ,1997 6: 55 — 58.

[4] Lan G Y ,Lei R D. Brief introduction of spatial methods to distribution patterns of population. Journal of Northwest Forestry University 2003 ,18 (2) : 17 — 21.

[5] Li M H ,He F H ,Liu Y. Analysis methods of stand spatial distribution pattern. Acta Ecologica Sinica 2003 22 (1) :077 — 081.

[6] Hui G Y ,Gadow K v. Quantitative analysis of forest spatial structure. Beijing :China Science and Technology Press 2003.

[7] Xie Z Q ,Chen W L ,Liu Z Y. Spatial distribution pattern of *Cathaya ArgYROPHYLLA* population. Acta Botanica Sinica ,1999 41 (1) :95 — 101.

[8] Wang T X ,Ding Y L ,Liu Y J. The spatial pattern of *Arundinaria Fargesii* Clone population. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition) 2005 29 (3) :37 — 40.

[9] Tang M P ,Tang S Z ,Lei X D. Edge correction of Ripley 's $K(d)$ function on population spatial pattern analysis. Acta Ecologica Sinica 2003 23 (8) :1533 — 1538.

[10] Hou X Y ,Han J X. Simulation analysis of spatial patterns of main species in the Korean-Pine Broadleaved forest in ChangBai Mountain. Acta Phytocologica Sinica ,1997 21 (3) :242 — 249.

[11] Zhang J T. Analysis of spatial point pattern for plant species. Acta Phytocologica Sinica ,1998 22 (4) :344 — 349.

[12] Min T Z. Developing a scientific basis for sustainable management of tropical forest. Universitaetsverlag Goeettingen 2005. 32 — 37.

[13] Stoyan D ,Stoyan H. Fraktale formen punktfelder methoden der geometrie-statistik. Akademie- Verlag ,Berlin 394S ,1992.

[14] Hu Y B ,Hui G Y. A discussion on forest management method optimizing forest spatial structure. Forest Research 2006 ,19 (1) :1 — 8.

[15] Xu H ,Hui G Y ,Hu Y B. Analysis of spatial distribution characteristics of trees with different diameter classes in natural Korean Pine broad-leaved

forest. Forest Research 2006 ,19 (6) 687 — 691.

参考文献：

[1] 宋永昌. 植被生态学. 上海 :华东师范大学出版社 2001.

[2] 张会儒 ,汤孟平 ,舒清态. 森林生态采伐的理论与实践. 北京 :中国林业出版社 2006.

[3] 叶芳 ,彭世揆. 种群空间分布理论的发展历史及其现状. 林业资源管理 ,1997 6 55 ~ 58.

[4] 兰国玉 ,雷瑞德. 植物种群空间分布格局研究方法概述. 西北林学院学报 2003 ,18 (2) 17 ~ 21.

[5] 李明辉 ,何风华 ,刘云. 林分空间格局的研究方法. 生态学报 2003 22 (1) 077 ~ 081.

[6] 惠刚盈 ,[德]克劳斯 ·冯佳多. 森林空间结构量化分析方法. 北京 :中国科学技术出版社 2003.

[7] 谢宗强 ,陈伟烈 ,刘正宇. 银杉种群的空间分布格局. 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. 南京林业大学学报 (自然科学版) 2005 29 (3) 37 ~ 40.

[9] 汤孟平 ,唐守正 ,雷相东. Ripley 's $K(d)$ 函数分析种群空间分布格局的边缘校正. 生态学报 2003 23 (8) :1533 ~ 1538.

[10] 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. 植物生态学报 ,1997 21 (3) 242 ~ 249.

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

[14] 胡艳波 ,惠刚盈. 优化林分空间结构的森林经营方法探讨. 林业科学研究 2006 ,19 (1) 1 ~ 8.

[15] 徐海 ,惠刚盈 ,胡艳波. 天然红松阔叶林不同径阶林木的空间分布特征分析. 林业科学研究 2006 ,19 (6) 687 ~ 691.