

DOI: 10.5846/stxb201408181639

胡美娟, 侯国林, 周年兴, 李在军, 亓秀云, 方叶林. 庐山森林景观空间分布格局及多尺度特征. 生态学报, 2015, 35(16): 5294-5305.

Hu M J, Hou G L, Zhou N X, Li Z J, Qi X Y, Fang Y L. Spatial distribution patterns and multi-scale features of the Lushan forest landscape. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(16): 5294-5305.

庐山森林景观空间分布格局及多尺度特征

胡美娟¹, 侯国林^{1,*}, 周年兴¹, 李在军¹, 亓秀云¹, 方叶林²

¹ 南京师范大学地理科学学院, 南京 210023

² 安徽大学商学院, 合肥 230601

摘要: 森林景观是区域整体景观的重要组成部分, 研究其空间分布格局对于优化区域景观整体结构和发挥生态经济效益具有重要意义。基于庐山 2010 年植被斑块数据, 将森林景观划分为常绿阔叶林、落叶阔叶林、松类、杉类和竹类等 5 类景观, 从森林景观的不同发育阶段和林分类型角度出发, 运用点格局分析法分析 5 类森林景观空间分布格局特征。最邻近距离分析表明: 5 类森林景观空间分布类型均服从集聚分布但集聚强弱有变化; 不同发育阶段的森林景观空间分布类型以集聚分布为主, 随机分布为辅, 尤其幼龄林比较显著, 中龄林和老龄林次之; 5 类森林景观的天然林均服从集聚分布, 人工林大多趋于随机分布, 只有松类和杉类呈显著集聚分布。Ripley's K 函数揭示了不同发育阶段和林分类型的森林景观的多尺度集聚特征, 即在小尺度范围内服从随机分布, 随着空间距离的增大, 以空间特征尺度为分界线, 空间集聚强度先逐渐增强, 随后不断减弱。总体来看, 庐山森林景观的发育阶段主要处于幼年时期, 原始植被遭到人类大肆破坏, 幼龄林大片分布, 属于典型的恢复性植被, 未来要重点保护好天然林, 减少人为干扰, 实现森林景观适度集聚。研究庐山森林景观的空间分布和多尺度特征可以为生态环境保护和实现森林可持续经营提供理论指导。

关键词: 森林景观; 最邻近指数; Ripley K 函数; 多尺度; 空间分布格局; 庐山

Spatial distribution patterns and multi-scale features of the Lushan forest landscape

HU Meijuan¹, HOU Guolin^{1,*}, ZHOU Nianxing¹, LI Zaijun¹, QI Xiuyun¹, FANG Yelin²

¹ School of Geographic Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China

² School of Business, Anhui University, Hefei 230601, China

Abstract: The forest landscape is an important part of the overall landscape, and therefore studying the spatial distribution pattern of regional landscapes will play an important role in optimizing the overall landscape structure for ecological and economic benefits. Based on vegetation patch data obtained from the Lushan forest in 2010, point-pattern analysis was used to examine the spatial distribution patterns of five forest landscape features with respect to developmental stage and forest type. Nearest-neighbor analysis showed that the five types of forest landscape were consistent with a clustered distribution, but the strength of the distribution varied; the nearest-neighbor indices for each type were all less than 1, but the overall forest landscape was consistent with a random distribution. The spatial distribution of various developmental stages mainly showed a clustered distribution pattern, but random and uniform distributions also occurred, especially in young forests, followed by middle-aged and mature forests. This distribution pattern was closely related to the number of patches: greater patch numbers were associated with a more clustered distribution, and smaller patch numbers were associated with random and uniform distributions. Natural forests of the five landscape types were all consistent with a clustered distribution, and the extent of clustering was variable. Only pine and fir demonstrated significantly clustered distributions among the

基金项目: 国家自然科学基金(41271150); 江苏高校优势学科建设工程资助项目

收稿日期: 2014-08-18; **修订日期:** 2015-03-18

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: guolinhou@126.com

plantation forests, and others were subject to a random distribution. Ripley's K -function analysis showed strong scale-dependence of the distribution pattern of landscapes. Different spatial scales showed different distribution patterns, but different developmental stages and forest types exhibited generally consistent distributions, i.e., random distributions on a small scale, a more clustered distribution as the spatial distances increased, and became weakening beyond of the dividing lines, which were defined as the spatial characteristics lines. Overall, the developmental stage of the Lushan forest landscape was in its infancy, and is characterized by a typical pattern of vegetation recovery; during this phase, it is critical to protect the natural forest rather than damage it. Therefore, the task of closing hillsides to facilitate afforestation is tough. Further study and research on various developmental stages and forest types and their associated landscape spatial distribution patterns and multi-scale features can provide theoretical guidance for ecological and environmental protection and sustainable forest management.

Key Words: forest Landscape; nearest-neighbor index; Ripley's K function; multi-scale; spatial distribution pattern; Lushan

森林景观是区域整体景观的重要组成部分,在生态系统和人类游憩活动中发挥着无可替代的作用,是景观生态学研究的重点和热点。研究森林景观格局和空间分布特征对指导森林可持续经营、优化森林景观空间分布结构以及合理发挥生态经济效益具有重要的理论和实践意义^[1]。国外的森林景观格局研究起步较早,其中 Forman 等最早发起对森林景观组成和格局的研究,全面分析了美国新泽西州滨海平原松栎林景观格局的特点^[2]。Franklin 利用棋盘格式模型、集中与分散集合模型对森林景观格局及斑块特征进行深入研究^[3]。Ripple 等运用遥感技术分析 Oregon 州森林景观斑块结构、组成以及动态变化趋势^[4]。Boyden 等人采用点格局分析方法对 1974—2001 年间的美国黄松的历史与当代的林分结构的异质性进行研究^[5]。国内森林景观生态研究引领景观生态研究的前沿,从种群或森林斑块组成结构、年龄结构、空间结构等方面进行了大量的研究,景观格局指数和 3S 技术等分析法极大地丰富了森林景观定量化的研究^[6-9]。景观分布格局及其生态过程与空间组合规律都具有强烈的尺度依赖性,而传统方法无法全面诠释景观格局的尺度信息,从而使近年来景观格局分析研究陷入困境^[10]。起源于植物生态学的空间点格局分析法,是分析多尺度空间特征的有效手段,与传统景观格局分析法相比显示出更大的优势^[11-13]。

庐山是世界文化景观遗产地和世界地质公园,旅游开发历史悠久,人类活动深刻而持久,其森林植被是世界遗产核心价值的重要体现,也是开展旅游活动的基础和保障。但长期以来受到不同程度的人为破坏,并在保护中破坏、破坏中建设,森林景观空间格局复杂^[14]。本文运用点格局分析方法分别分析庐山森林景观在单一尺度和多尺度下的空间分布和集聚特征,揭示其森林景观空间结构特征,从而为森林抚育、营林造林、景观生态建设和旅游开发等提供理论依据。

1 研究区概况

庐山位于江西省九江市东南部,北临长江、南傍鄱阳湖,东经 115°52'—116°8',北纬 29°26'—29°41',属于亚热带季风气候区,气候温和湿润,全年平均温度为 11.4℃,年平均降水量 1917 mm,年平均相对湿度 78%,年平均雾日 191 d,山地小气候特征显著。庐山山势雄伟,山体多峭壁悬崖,自东北向西南延伸约 25 km,宽约 15 km,山体相对高度 1200—1400 m,生物资源丰富,森林覆盖率达 76.6%。庐山是中国的旅游名山和文化名山,随着旅游业的蓬勃发展,庐山山顶的牯岭镇上聚集着 1.5 万人的常住人口,旅游活动和其他人类活动历史悠久、频繁深刻,景观格局变化剧烈^[14]。本文以江西省庐山风景名胜区管理局管辖范围为界,研究区域面积 121km²。

2 数据与方法

2.1 研究方法

2.1.1 最邻近距离分析法

最邻近距离分析法(Nearest Neighbor Analysis, ANN)是基于空间距离的方法,将其离得最近点的平均距

离与随机分布模式下的预期最近邻距离进行比较,用最近邻指数(NNI)来判断“点”的空间聚集性^[15]。

$$NNI = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n} / \frac{1}{2\sqrt{n/A}} \quad (1)$$

式中, d_i 是指第 i 个斑块与其最近邻斑块之间的距离, n 每类森林景观的斑块数, A 是研究区域面积。当近邻指数接近 1 时要素呈随机分布;当近邻指数小于 1 时要素呈集聚分布;近邻指数大于 1 时均匀分布。为了更好地反映实测平均距离和预期平均距离偏离程度,用正态分布检验得出 Z 值及其置信水平。 Z 值为负且值越小时,要素分布越趋于集聚分布;正值且越大则要素显著偏向均匀分布;位于二者之间则随机分布。

2.1.2 Ripley's K 函数分析法

Ripley's K 函数是点格局分析的重要方法,最初由 Ripley^[16] 提出,经 Diggle^[17] 等人发展,克服了传统景观格局分析方法只能分析单一尺度空间分布格局的缺陷,它可以描述不同空间尺度下的森林景观空间分布情况,最大限度的利用了空间点的信息^[18-19]。目前被广泛应用到多个领域,主要应用于植物种群^[20]、疾病发病点^[21]、地质灾害点^[22] 和旅游景点分布^[23] 等空间格局分析。Ripley's K 函数公式如下^[24] :

$$K(r) = \frac{A}{n^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n I_r(u_{ij}) \quad (i \neq j) \quad (2)$$

式中, A 是研究区域面积; n 为点的数量; r 表示空间尺度; u_{ij} 为点 i 和点 j 之间的距离;当 $u_{ij} \leq r$ 时, $I_r(u_{ij}) = 1$, 当 $u_{ij} > r$ 时, $I_r(u_{ij}) = 0$; 为了更好地解释实际空间格局,提出了 L 函数代替 K 函数^[25], 由此可得:

$$L(r) = \sqrt{K(r)/\pi} - r \quad (3)$$

当 $L(r) > 0$, 该景观在尺度 r 服从集聚分布;当 $L(r) = 0$ 服从随机分布;当 $L(r) < 0$, 服从均匀分布。用 Monte-Carlo 拟合检验计算上下包迹线,即置信区间。假设个体是随机分布的,用随机模型拟合一组点的坐标值,对每一尺度 r 计算 $L(r)$, 这样反复模拟直至达到事先确定的次数,把 $L(r)$ 的最大值和最小值定义为上、下包迹线的坐标值。再用实际个体分布的点图计算得到真实的 $L(r)$ 值,若值落在上下包迹线之间,则服从随机分布;若值小于下包迹线,则呈显著均匀分布;若值在上包迹线以上,则显著集聚分布,最大集聚强度处于偏离置信区间最远处, $L(r)$ 函数的最大值可以反映典型的特征空间聚集尺度。

2.2 数据来源与处理

庐山森林植被斑块数据来源于全国第二次林相调查资料,并参考 2010 年庐山土地利用现状,提取林斑中的优势种群,将其分为常绿阔叶林、落叶阔叶林、杉类、松类、竹类、建筑用地、农耕地、水域和裸地 9 类土地利用景观(考虑到庐山 20 世纪 30 年代以来大规模地成片引进种植日本柳杉并迅速遍布山顶,而松类则大多为分散引进,两种森林景观风貌差别较大,因此将两种针叶林景观单独划分),一共包括 1531 个斑块数(图 1)。庐山森林景观占据着庐山景观的主体,其中松类、杉类、常绿阔叶林、落叶阔叶林和竹类 5 种森林景观面积所占百分比为 88.62%, 5 类景观斑块数 1389, 占总数量的 91%, 而建筑、农耕地、裸地和水域等斑块镶嵌点缀其中,比例很小。本研究将从中选取常绿阔叶林、落叶阔叶林、松类、杉类和竹类 5 类森林景观进行深入探讨,不考虑其他非森林景观类型。

庐山森林植被呈现出古老原生林与次生林共存,天

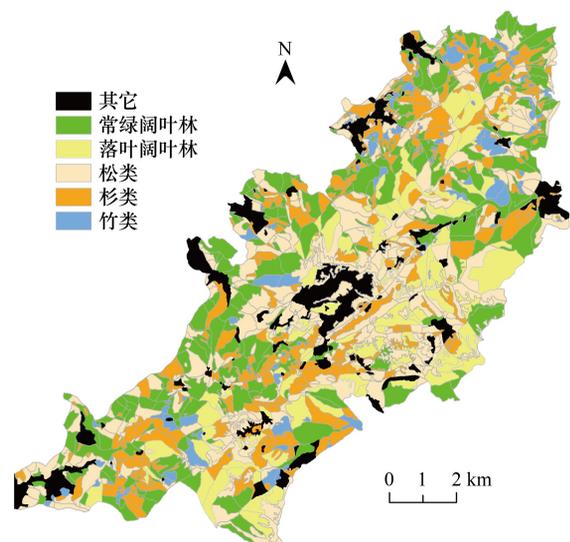


图 1 庐山景观斑块图

Fig.1 The landscape patches map of Mount Lushan

然林与人工林共存,本土物种与外来种共处的生态景象^[13]。森林的年龄结构复杂,大致包括幼龄林、中龄林、近熟林、成熟林、过熟林,本研究将近熟林、成熟林和过熟林统一归为老龄林,即按照森林发育阶段将森林植被划分为幼龄林、中龄林、老龄林 3 个阶段,分别对应其生命周期的幼年期、壮年期、老年期 3 个时期。同时又将每一类森林景观划分为天然林和人工林。

2.3 研究思路

在获取庐山森林景观斑块的实地调查矢量数据后,首先运用 ARCGIS 10.0 软件将 1389 个森林植被斑块转化为 1389 个质心点,形成点格局数据;其次,利用平均最近的相邻要素计算最邻近指数并经正态分布检验分别得出各类景观斑块的 Z 值及 P 值;最后,利用 CrimeStats3.3 软件的 Ripey's K 函数分析,置信度取 99% 进行模拟 100 次,所得结果经软件 Grapher 7.0 处理出图。

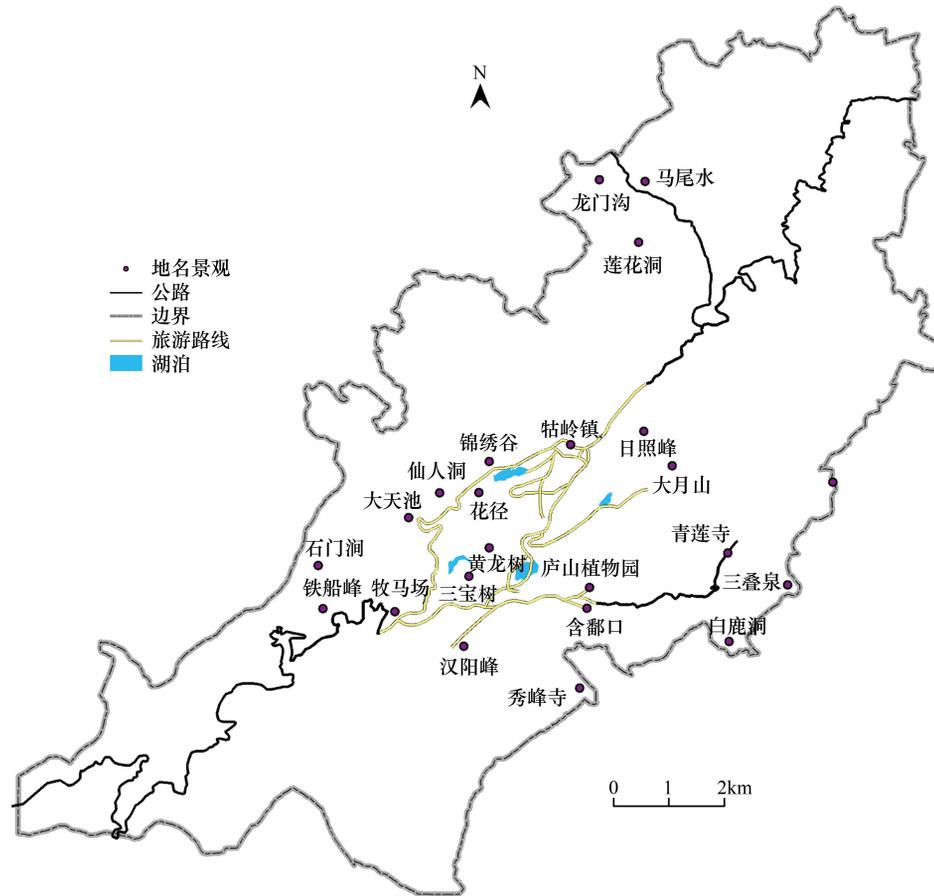


图 2 庐山地名图

Fig.2 The place names landscape of Mount Lushan

3 庐山森林景观空间分布格局分析

3.1 总体分布格局

最邻近距离分析通过近邻比和 Z 值可探测要素的空间分布形态,从而判断区域森林景观是否服从集聚分布、随机分布还是均匀分布。利用 ArcGIS10.0 软件,将 5 类森林景观要素转点后,进行平均最近的相邻要素模式分析,得出表 1。由表 1 可知,总体森林景观的近邻比接近 1,Z-score 值落在随机分布区间,呈现随机分布形态,主要是因为庐山属于山地,森林植被广泛分布,集聚程度不明显。而单一景观类型的近邻比均小于 1,经正态分布检验,松类、杉类、常绿阔叶林和竹类的集聚特征明显,显著偏离随机分布,这主要受地形、气候、

土壤、坡度、海拔等因素影响,其森林斑块在其特定的地域范围内集聚分布;落叶阔叶林分布较广泛,海拔1300m 以下都有分布,集聚不显著,集聚程度弱于其它四类森林景观。

表 1 各类森林景观最近邻距离分析法结果

Table 1 The ANN results of forest landscapes in different types

景观类型 Landscape types	斑块数 Patches numbers	近邻比 Nearest neighbor index	Z	置信水平(P) Confidence level (P)	分布类型 Distribution type
常绿阔叶林 Evergreen broad-leaf forest	269	0.82	-5.65	0.0000	显著集聚
落叶阔叶林 Deciduous broad-leaf forest	128	0.89	-2.39	0.0200	集聚但不显著
松类 Opine	463	0.81	-7.77	0.0000	显著集聚
杉类 China fir	394	0.82	-6.69	0.0000	显著集聚
竹类 Bamboo	135	0.69	-6.89	0.0000	显著集聚
总体 Total	1389	0.99	-0.95	0.3400	随机分布

3.2 不同龄级景观分布格局

在 ArcGIS10.0 软件的支持下,对 5 类景观斑块不同发育阶段的幼龄林、中龄林和老龄林进行平均最近的相邻要素模式分析,得出表 2。从表 2 中可以看出,常绿阔叶幼龄林显著集聚,中龄林近邻比等于 1,服从随机分布,老龄林服从集聚分布但集聚强度弱于幼龄林,主要是因为常绿阔叶林分布在海拔较低的沟谷地带,这里村庄聚落集聚,农业活动干扰强烈,森林植被破坏严重,仅有部分风水林受到较好地保护,以幼龄林为主,残存的中龄林零星分布。落叶阔叶幼龄林和中龄林近邻比小于 1,服从随机分布,而老龄林则服从集聚分布但不显著。这主要是因为庐山落叶阔叶林分布海拔偏高,也受农业活动影响,但影响程度较常绿阔叶林低,因此大都演变为次生恢复性植被,幼龄林和中龄林均呈零星分布,部分老龄林则免受破坏呈低集聚分布。松类 3 个发育阶段均服从集聚分布,其集聚强度以中龄林最显著,老龄林最弱,以台湾松、马尾松为优势种。杉类和松类一样,但集聚强度稍有不同,杉类的不同发育阶段的集聚强度由大到小依次为老龄林、幼龄林、中龄林。松

表 2 森林景观不同发育阶段最近邻距离分析法结果

Table 2 The ANN result of forest landscapes in different developmental stages

景观类型 Landscape types	龄组 Age Group	斑块数 Patches numbers	近邻指数 Nearest neighbor index	Z	置信水平(P) Confidence level (P)	分布类型 Distribution Type
常绿阔叶林 Evergreen broad- leaf forest	幼龄林	206	0.83	-4.51	0.0000	显著集聚
	中龄林	32	1.00	0.02	0.9842	随机分布
	成熟林	31	0.80	-2.15	0.0314	集聚但不显著
落叶阔叶林 Deciduous broad- leaf forest	幼龄林	94	0.91	-1.59	0.1115	随机分布
	中龄林	21	1.03	0.27	0.7855	随机分布
松类 Opine	成熟林	13	0.72	-1.94	0.0524	集聚但不显著
	幼龄林	145	0.83	-3.83	0.0001	显著集聚
	中龄林	233	0.76	-7.14	0.0000	显著集聚
杉类 China fir	成熟林	85	0.85	-2.14	0.0321	集聚但不显著
	幼龄林	121	0.69	-6.43	0.0000	显著集聚
	中龄林	69	0.77	-3.61	0.0003	显著集聚
竹类 Bamboo	成熟林	204	0.75	-6.69	0.0000	显著集聚
	幼龄林	126	0.70	-6.31	0.0000	显著集聚
	中龄林	6	1.79	3.71	0.0002	均匀分布
	成熟林	3	7.35	21.05	0.0000	均匀分布

类和杉类的空间分布格局主要受 20 世纪 30 年代以来进行大规模的人工造林(至 1998 年才严格实行封山育林政策),在空间上主要集中于庐山山顶,目前大部分松类已进入中龄林阶段,杉类大部分进入老龄林阶段。竹类的 3 个发育阶段各有不同,其中幼龄林服从集聚分布,聚集强度显著,中龄林的近邻比大于 1, Z 值为正,趋于均匀分布,而成熟林的近邻比为 7.35,远大于 1, Z 值 21.05,明显服从均匀分布,竹类主要以毛竹、刚竹林、庐山玉山竹、庐山茶秆竹为主,林龄结构偏年轻化。

总体来看,庐山森林植被在幼龄时期集聚生长,随着树种年龄的增长,分布逐渐趋于随机分布甚至均匀分布。除落叶阔叶林外,其他 4 类森林景观的幼龄阶段均呈显著集聚分布,中龄阶段为集聚分布的只有松类和杉类,而老龄林阶段只有杉类景观分布最集聚,这与森林植被的自然演替状态基本一致。

3.3 不同林分景观分布格局

在 ArcGIS 10.0 软件的支持下,运用平均最近的相邻要素分析模式分析 5 类景观天然林和人工林的分布形态,如表 3。常绿阔叶天然林近邻比小于 1,经检验服从集聚分布,人工林则服从随机分布,偏离集聚形态。主要由于庐山常绿阔叶林属于增长型种群,以天然更新为主,呈集聚分布,而部分人工林则为封山育林后形成的,呈随机分布。落叶阔叶天然林服从集聚分布但聚集强度不显著,人工林近邻比接近 1, Z 值落在随机分布区域范围内,服从随机分布。落叶阔叶林受人为干扰较常绿阔叶林少,天然林和人工林随机性分布比常绿阔叶林明显。松类天然林和人工林均呈现显著集聚分布。杉类天然林服从集聚分布但不显著,其人工林服从集聚分布,聚集强度在各类不同类型景观中最大。松类和杉类受人工栽植影响,人工林集聚现象明显。竹类天然林服从集聚分布,人工林近邻比接近 1,服从随机分布,因其天然林面积大且集中,而人工林分布少且分散。

可见,庐山 5 类森林景观天然林均呈集聚分布形态,偏离随机分布,说明庐山过去森林破坏严重,天然林分布仍然聚集于少数地区。人工林松类和杉类显著集聚分布,而阔叶林和竹类人工林均趋于随机分布,这说明过去人工营林以松类和杉类为主,阔叶林和竹类以自然入侵更新为主。

表 3 森林景观不同林分类型最近邻距离分析法结果

Table 3 The ANN result of forest landscapes in different forest types

景观类型 Landscape types	林分 Forest types	斑块数 Patches numbers	近邻比 Nearest neighbor index	Z	置信水平(P) Confidence level (P)	分布类型 Distribution Type
常绿阔叶林 Evergreen broad-leaf forest	天然林	228	0.83	-4.81	0.0000	显著集聚
	人工林	41	0.90	-1.21	0.2253	随机分布
落叶阔叶林 Deciduous broad-leaf forest	天然林	98	0.88	-2.19	0.0285	集聚但不显著
	人工林	30	0.99	-0.14	0.8862	随机分布
松类 <i>Opine</i>	天然林	127	0.76	-6.80	0.0000	显著集聚
	人工林	336	0.77	-6.46	0.0000	显著集聚
杉类 <i>China fir</i>	天然林	172	0.88	-2.26	0.0239	集聚但不显著
	人工林	222	0.76	-7.82	0.0000	显著集聚
竹类 <i>Bamboo</i>	天然林	127	0.70	-6.41	0.0000	显著集聚
	人工林	8	0.96	-0.15	0.8775	随机分布

4 庐山森林景观多尺度特征分析

4.1 总体多尺度集聚特征

最邻近分析法只能分析单一尺度下景观空间格局特征,为进一步分析多尺度下的庐山森林景观空间分布格局,运用 Ripley's K 函数分析法和 Monte Carlo 模拟检验,以 $r(0 < r < 5200\text{m})$ 为横坐标,模拟的包迹线作为纵坐标,分析结果见图 3,表 4。由此可知,5 类森林景观的 $L(r)$ 曲线在不同的空间尺度上比较光滑,稍有波动,均在小尺度范围内服从随机分布,中、大尺度服从集聚分布,其景观格局以集聚分布为主,随机分布为辅,最大集聚规模范围依次为:松类、竹类、落叶阔叶林、常绿阔叶林、杉类,其中常绿阔叶林和两类针叶林景观在地域

分布上太过集中,不利于生态系统的生物多样性发展。

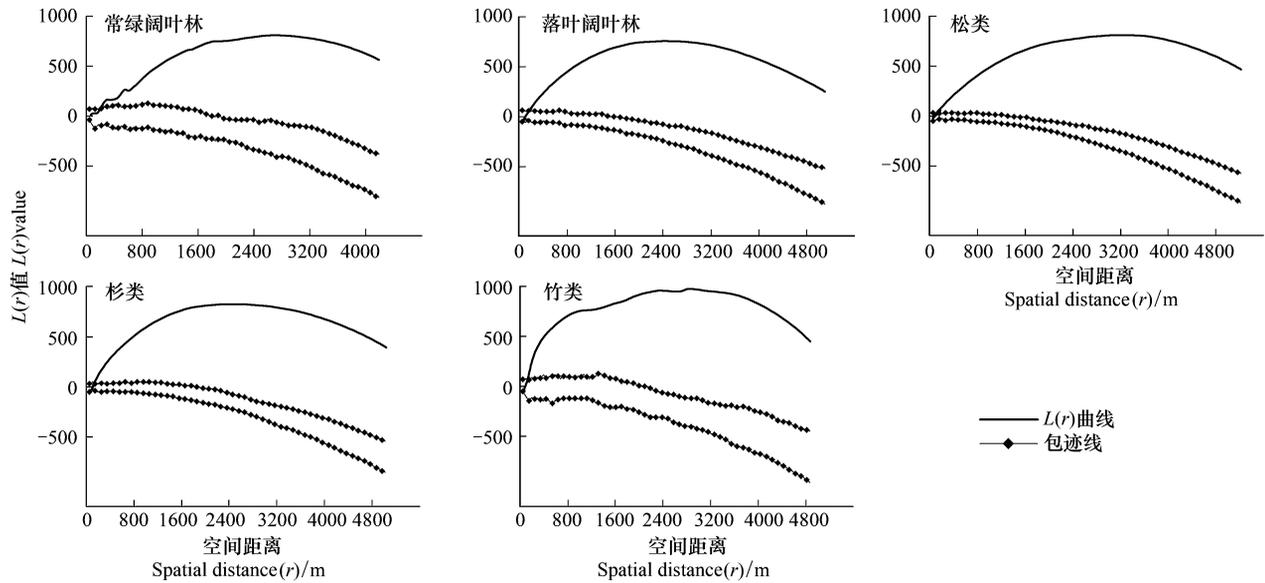


图 3 各类森林景观的 Ripley $L(d)$ 指数分析

Fig.3 The Ripley $L(d)$ index analysis of forest landscapes in different types

表 4 不同森林景观类型的多尺度集聚特征

Table 4 The multi-scale clustering feature of forest landscape in different types

景观类型 Landscape types	随机分布区间 The range of Random distribution/m	集聚分布区间 The range of gathering distribution/m	特征尺度 Characteristic scale/m	最大集聚规模 The maximum concentration of scale/m ²	集中分布区域 Distribution area
常绿阔叶林 Evergreen broad-leaf forest	0—150	150—5200	2400	18.086×10 ⁶	海拔 300m 以下的村庄、寺庙周围的缓坡上
落叶阔叶林 Deciduous broad-leaf forest	0—200	200—5200	2700	22.891×10 ⁶	黄龙寺、牧场至铁船峰、牧场至碧云庵一带
松类 Opine	0—100	100—5200	3300	32.154×10 ⁶	以台湾松、马尾松为优势种,山顶的大片区域
杉类 China fir	0—100	100—5200	2300	16.611×10 ⁶	莲花洞、马尾水、黄龙寺和芦林科疗所一带
竹类 Bamboo	0—150	150—5200	2800	24.618×10 ⁶	大月山、汉阳峰、仰天峰、五老峰、方竹庵、龙门沟
集聚强弱变化规律	在小尺度范围内服从随机分布,随着尺度范围的扩大,开始服从集聚分布,当 $L(r)$ 值达到最大时,集聚规模最大, $L(r)$ 值对应的 r 是其空间特征尺度,以此空间特征尺度为分界线,集聚强度先增强后减弱,逐渐趋向随机分布				

4.2 不同龄级结构景观格局集聚特征

运用 CrimeStats 3.3 软件的 Ripley's K 函数对森林景观各年龄阶段进行多尺度特征分析,再将分析结果以图表的形式展现,如图 4、表 5。由此可知,除竹类中龄林外,各龄级森林景观空间在小尺度范围内服从随机分布,伴随着空间尺度范围的增大开始服从集聚分布,集聚程度达到最强,随后逐渐减弱趋于随机分布, $L(r)$ 曲线随着空间距离的增大也会发生弯曲波动,甚至是一个或多个小集聚峰,多半是受到景观数量以及分布区域影响所致。值得注意的是,本研究是基于植被林斑数据进行空间多尺度特征分析,斑块被视为同一植物群落组成的均质区域,故本研究结果与植物种群不同龄级立木的点格局分析的研究结果有所差异^[26-27]。同一龄级的个体在不同尺度下也有不同的分布格局,主要因为生境异质性所致^[27]。

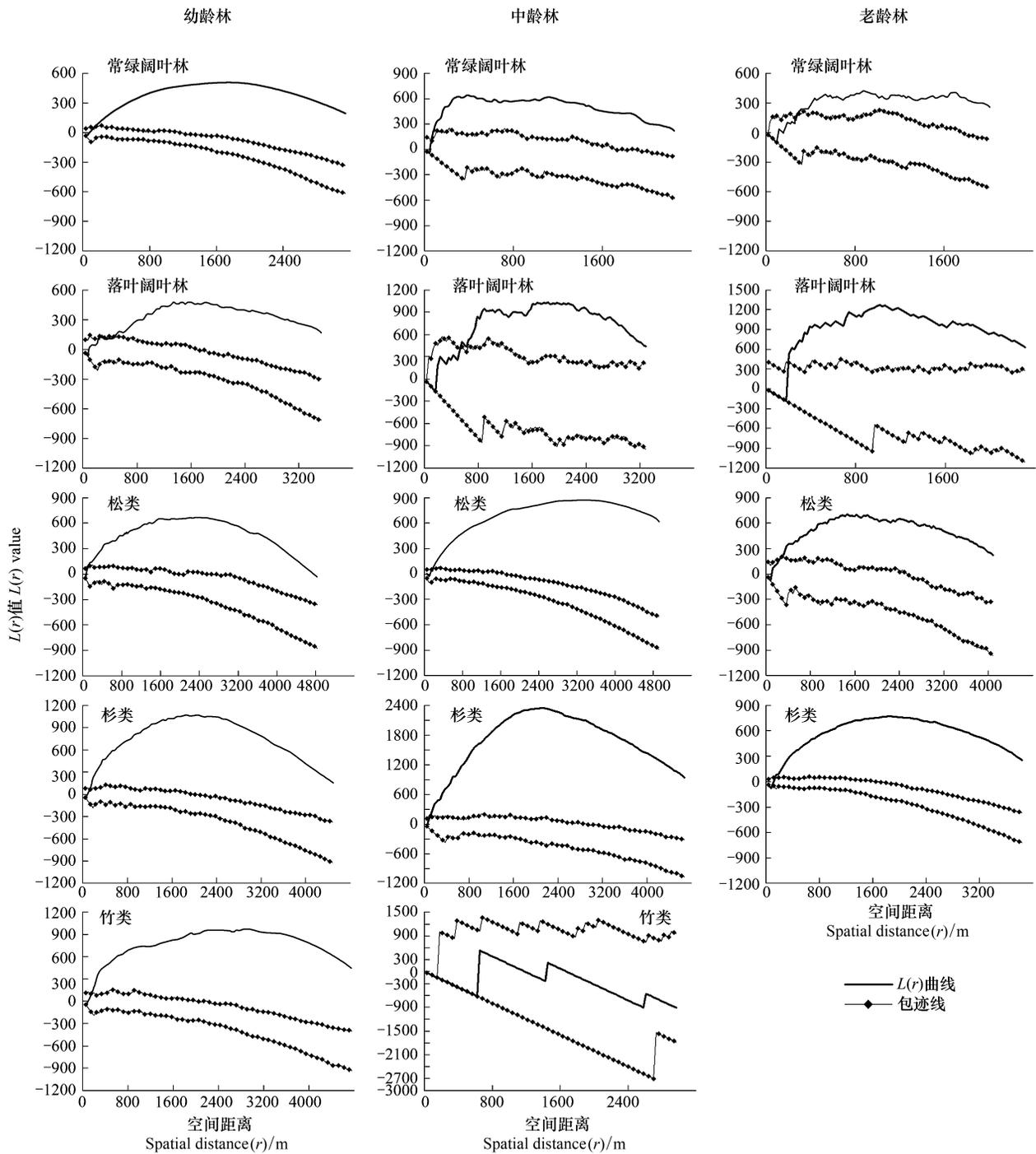


图4 不同龄组景观的 Ripley $L(d)$ 指数分析

Fig.4 The Ripley $L(d)$ index analysis of forest landscapes in different development stages

4.3 不同林分结构景观格局集聚特征

运用 CrimeStats 3.3 软件的 Ripley K 函数对各类天然林和人工林进行多尺度特征分析, 所得结果如图 5, 表 6。从图 5, 表 6 中可知, 5 种森林景观的天然林以及两种人工针叶林与 5 类森林景观的空间多尺度集聚特征基本一致, 只是空间特征尺度和集聚规模不同, 唯有阔叶林的人工林景观分布格局有异, 其中常绿阔叶林人工林在 460—1860m 范围内形成了一个明显的聚集峰, 落叶阔叶林人工林随着空间尺度的增大, 随机分布与集聚分布形态随机变换, 且集聚强度很弱, 竹类人工林在所有尺度范围内均服从随机分布。

表 5 不同龄级森林景观多尺度集聚特征

Table 5 The multi-scale clustering feature of forest landscape in different age classes

景观类型 Landscape types	龄组 Age Group	随机分布区间 The range of Random distribution/m	集聚分布区间 The range of gathering distribution/m	特征尺度 Characteristic scale/m	集聚峰/m Gathering peak
常绿阔叶林 Evergreen broad-leaf forest	幼龄林	0—150	150—3200	1790	—
	中龄林	0—90	90—2800	380	1120
	老龄林	0—280	280—2000	620	440、540、1140、1680
落叶阔叶林 Deciduous broad-leaf forest	幼龄林	0—240	240—3600	1400	1340—1870
	中龄林	0—620	620—3200	950	850—1150 和 1540—2430
	老龄林	0—210	210—2400	1150	—
松类 <i>Opine</i>	幼龄林	0—140	140—4800	1600	2170—2550
	中龄林	0—190	190—4800	3600	3000—3690
	老龄林	0—360	360—4000	1500	1350—1650
杉类 <i>China fir</i>	幼龄林	0—135	135—4400	1840	—
	中龄林	0—140	140—4800	2100	1770—2290
	老龄林	0—150	150—4000	1880	—
竹类 <i>Bamboo</i>	幼龄林	0—190	190—4800	2850	—
	中龄林	0—5200	—	—	—
	老龄林	0—5200	—	—	—

表 6 不同林分森林景观多尺度集聚特征

Table 6 The multi-scale clustering feature of forest landscape in in different forest types

景观类型 Landscape types	林分 Forest types	随机分布区间 The range of Random distribution/m	集聚分布区间 The range of gathering distribution/m	特征尺度 Characteristic scale/m	集聚峰 Gathering peak/m
常绿阔叶林 Evergreen broad-leaf forest	天然林	0—200	200—5200	2380	—
常绿阔叶林 Evergreen broad-leaf forest	人工林	0—290	290—4800	1500	460—1860
落叶阔叶林 Deciduous broad-leaf forest	天然林	0—250	250—4400	2500	—
落叶阔叶林 Deciduous broad-leaf forest	人工林	0—440、 500—1300	440—500 和 1300—2800	—	—
松类 <i>Opine</i>	天然林	0—150	150—4800	1700	1480—1970
	人工林	0—190	190—4800	3200	—
杉类 <i>China fir</i>	天然林	0—130	130—4400	2250	2210—2300
	人工林	0—190	190—4800	2000	1890—2230
竹类 <i>Bamboo</i>	天然林	0—140	140—4800	2440	—

4.4 庐山森林景观多尺度特征分析

总体上看,庐山森林斑块集聚分布特征明显,大部分森林景观在小尺度内服从随机分布,随着尺度的增大,会出现一个或者多个特征空间尺度,以此为分界线,景观分布格局聚集程度先加强后减弱;从景观类型上说,各类森林景观类型在多尺度下的空间格局多以集聚分布为主,随机分布为辅;而从林龄特征来看,除了竹类中龄林和成熟林两类景观外,其它龄组景观空间格局均在小尺度范围内服从随机分布,而随着尺度范围的扩大开始服从集聚分布特征;从天然林和人工林特征来看,除了落叶阔叶林和竹类人工林外,其它类型景观空间格局小尺度范围内均服从随机分布,随着尺度范围的扩大开始服从集聚分布,以其特征空间尺度为分界,聚集强度先增强后减弱。

庐山森林植被的多尺度特征主要受垂直地带性分异规律和人为活动影响。小尺度范围内庐山森林景观空间格局取决于立地条件和人为活动的影响,森林斑块在区域内普遍分布,表现为随机分布;中等尺度森林景

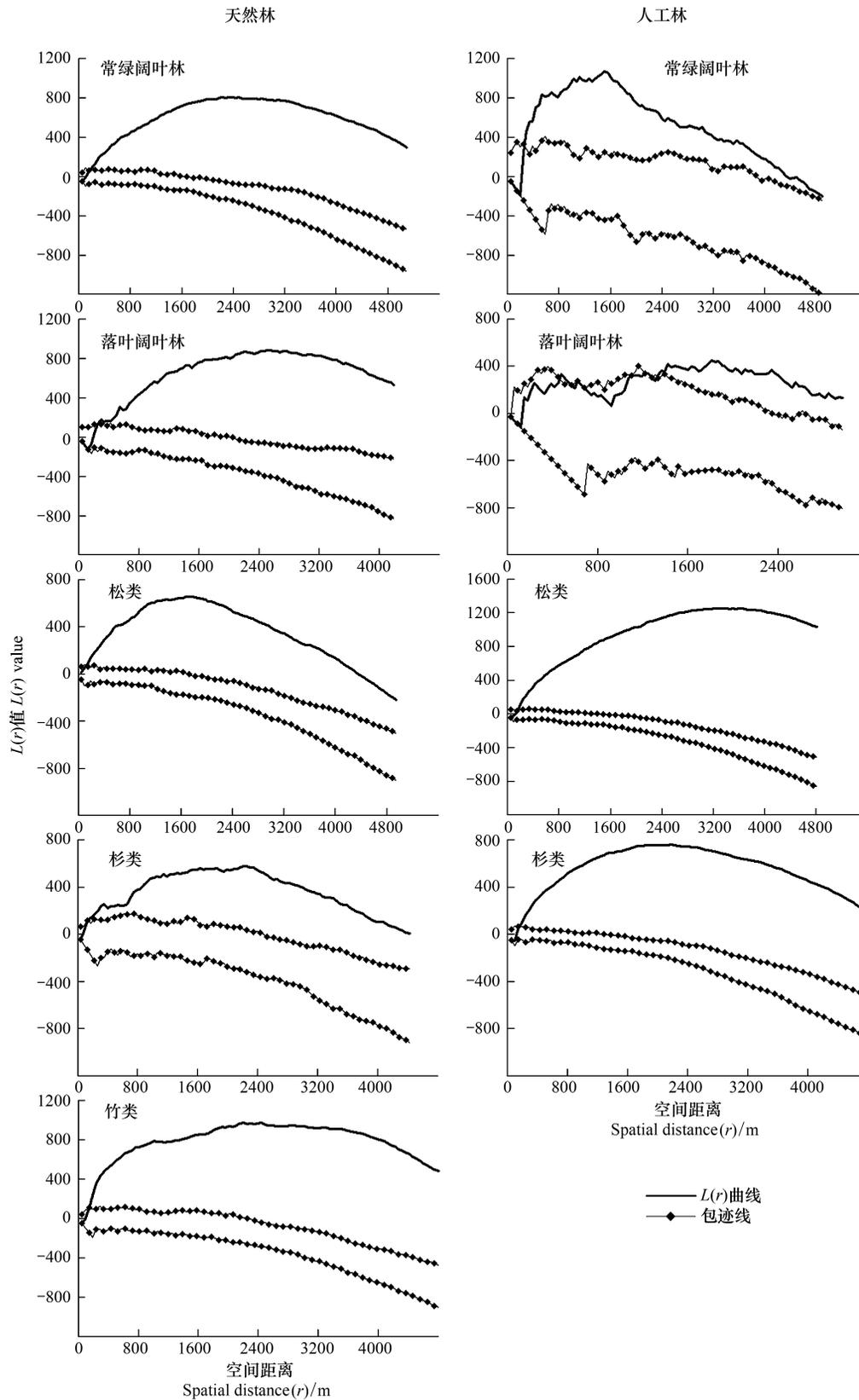


图 5 庐山不同林分类型景观的 Ripley $L(d)$ 指数分析

Fig.5 The Ripley $L(d)$ index analysis of forest landscapes in different forest types

观空间格局主要受到区域地形地貌、土壤、坡度、海拔、水文、地方小气候和人为活动等要素影响,森林植被集聚分布显著;大尺度范围内,气候与地质构造分异决定着整体森林景观空间格局的演变,由于庐山空间面积范围有限,森林植被斑块集聚程度不明显,逐渐减弱并趋向随机分布。

5 结论与讨论

本文运用点格局分析方法分析庐山风景区内各类森林景观以及其不同发育阶段和不同林分结构的空间分布格局和集聚特征。

(1)从单一尺度方面看,庐山常绿阔叶林、落叶阔叶林、松类、杉类和竹类森林景观斑块均服从集聚分布;各类景观的不同发育阶段分布类型以集聚分布为主,随机分布为辅;5类景观天然林均服从集聚分布,人工林只有松类和杉类呈显著集聚分布。在特定的山地气候异质性环境和人为活动的影响下,森林种群在幼年时期集聚合作,共同对抗外界因素影响和侵入,随着树种年龄的增长,对空气、阳光等资源的争夺,促使集聚程度减弱。由于庐山过去植被破坏严重,尚处于植被演替的恢复性阶段,森林植被集聚分布特征明显,这与梁艳艳等人的研究一致^[28]。

(2)从多尺度角度来说,庐山森林景观的空间分布格局与集聚特征随着生态过程和尺度变化而变化。庐山各类森林景观在小尺度内服从随机分布,随着尺度的增大,景观分布格局聚集程度先加强后减弱。这主要受到不同尺度的垂直性地带分布规律和人为活动的影响。但这种多尺度空间特征深受景观斑块个体数量的影响。个体的数量越少,Ripley's K 函数曲线图越不光滑,很容易出现随机分布或者波动;随着个体数量的增多,Ripley's K 函数曲线图越光滑,聚集分布特征显著;当个体数量达到一定的极限,景观很可能会转变为随机分布格局。

(3)无论从单一尺度和多尺度分析都表明,庐山森林景观空间格局集聚特征明显。庐山森林植被长期受到人工栽植、农业开荒、砍伐薪碳林和旅游开发等人为活动的影响,大量原生态森林植被遭到破坏,目前正处于封山育林的恢复阶段,森林植被林龄年轻,以人工林为主,整体生态系统不稳定。纯林现象严重,树种成分单一,森林景观单调,总体质量不高,影响区域景观观赏价值。这一方面说明庐山自1998年实行封山育林政策执行初见成效,另一方面反映了林龄结构失衡,大片同龄林集聚,生态系统脆弱,抗干扰能力差。未来应该继续长久执行封山育林方针,遵循森林植被演替规律朝其地带性植被阔叶林方向演替,保护生态公益林,减少人为干扰,实现森林景观适度集聚。同时减少外来树种成分,增加乡土树种,丰富林分林相结构,增加庐山森林景观生物多样性,从而提高森林景观美景度和观赏价值。

(4)基于庐山2010年各类森林景观的林斑数据进行空间分布格局及多尺度特征研究,尚未进行时间序列的纵向比较,从而无法更加科学地揭示庐山森林景观演替的生态学机制,是本文最大的不足之处,另外将斑块质心转点没有考虑斑块面积、形状等因素,难免会造成一些误差,这些可在今后研究中进行更深入的探讨。

参考文献 (References):

- [1] 邓向瑞. 北京山区森林景观格局及其尺度效应研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2007: 1-4.
- [2] Forman R T T. The Pine Barrens of New Jersey: an ecological mosaic // Forman R T T, ed. Pine Barrens: Ecosystem and Landscape. New York: Academic Press, 1979: 569-585.
- [3] Franklin J F. The fundamentals of ecosystem management with applications in the Pacific Northwest // Aplet G H, Johnson N, Olson J T, Sample V I, eds. Defining Sustainable Forestry. Washington DC: Island Press, 1993: 127-145.
- [4] Ripple W J, Bradshaw G A, Spies T A. Measuring forest landscape patterns in the Cascade Range of Oregon, USA. Biological Conservation, 1991, 57(1): 73-88.
- [5] Boyden S, Binkley D, Shepperd W. Spatial and temporal patterns in structure, regeneration, and mortality of an old-growth ponderosa pine forest in the Colorado Front Range. Forest Ecology and Management, 2005, 219(1): 43-55.
- [6] 徐化成, 范兆飞, 王胜. 兴安落叶松原始林林木空间格局的研究. 生态学报, 1994, 14(2): 155-160.
- [7] 杨国靖, 肖笃宁. 中祁连山浅山区山地森林景观空间格局分析. 应用生态学报, 2004, 15(2): 269-272.

- [8] 陈攀, 慎佳泓, 胡广, 沈国春, 张方钢, 李铭红, 于明坚. 西湖风景名胜区内不同类型森林群落的空间分布及 β 多样性. 生态学报, 2009, 29(6): 2929-2937.
- [9] 霍萌萌, 郭东罡, 张婕, 王治明, 上官铁梁, 李润强, 刘卫华. 灵空山油松——辽东栎林乔木树种群落学特征及空间分布格局. 生态学报, 2014, 34(20): 5925-5935.
- [10] 陈利顶, 刘洋, 吕一河, 冯晓明, 傅伯杰. 景观生态学中的格局分析: 现状、困境与未来. 生态学报, 2008, 28(11): 5521-5531.
- [11] 高凯, 周志翔, 杨玉萍, 李华. 基于 Ripley K 函数的武汉市景观格局特征及其变化. 应用生态学报, 2010, 21(10): 2621-2626.
- [12] 王金亮, 黄志霖, 邵景安, 李阳兵. 林地景观点格局的样带梯度分布与空间聚集特征——以重庆三峡库区生态屏障区为例. 地理科学进展, 2013, 32(2): 308-317.
- [13] 董灵波, 刘兆刚, 张博, 袁野, 孙云霞. 基于 Ripley L 和 O-ring 函数的森林景观空间分布格局及其关联性. 应用生态学报, 2014, 25(12): 3429-3436.
- [14] 刘信中, 王琅. 江西省庐山自然保护区生物多样性考察与研究. 北京: 科学出版社, 2010: 111-243.
- [15] 王劲峰. 空间分析. 北京: 科学出版社, 2006.
- [16] Ripley B D. Modelling spatial patterns. *Journal of the Royal statistical Society. Series B (Methodological)*, 1977, 39(2): 172-212.
- [17] Diggle P J. *Statistical Analysis of Spatial Point Patterns*. New York: Academic Press, 1983.
- [18] 张健, 郝占庆, 宋波, 叶吉, 李步杭, 姚晓琳. 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. 应用生态学报, 2007, 18(8): 1681-1687.
- [19] Wiegand T, Moloney K A. Rings, circles and null-models for point pattern analysis in ecology. *Oikos*, 2004, 104(2): 209-229.
- [20] 李文良, 张小平, 郝朝运, 吴建勋, 王磊, 王静, 张姗姗, 程东升, 黄海明. 湘鄂皖连香树种群的年龄结构和点格局分析. 生态学报, 2009, 29(6): 3222-3230.
- [21] 高杰, 王志强, 邵琦, 薛皓, 许桂春, 李学刚, 王洁贞, 薛付忠. Ripley's L 指数与最近邻空间热点分析在流行病学标地图分析中的应用. 山东大学学报: 医学版, 2009, 47(3): 89-97.
- [22] 邱海军, 曹明明, 刘闻, 郝俊卿, 王雁林. 区域地质灾害的空间点格局分析研究——以宁强县为例. 干旱区资源与环境, 2014, 28(3): 107-111.
- [23] 潘竞虎, 李俊峰. 中国 A 级旅游景区空间分布特征与可达性. 自然资源学报, 2014, 29(1): 56-66.
- [24] 张金屯. 数量生态学. 北京: 科学出版社, 2004.
- [25] Haase P. Spatial pattern analysis in ecology based on Ripley's K function; Introduction and methods of edge correction. *Journal of Vegetation Science*, 1995, 6(4): 575-582.
- [26] 杨晓凤, 苗艳明, 张钦弟, 张玲, 毕润成. 五鹿山白皮松林不同龄级立木的点格局分析. 植物研究, 2013, 33(1): 24-30.
- [27] 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. 生态学报, 2004, 24(1): 35-40.
- [28] 梁艳艳, 周年兴, 谢慧玮, 蒋铭萍. 庐山森林景观格局变化的长期动态模拟. 生态学报, 2013, 33(24): 7807-7818.