

小陇山锐齿栎林种群空间格局 及关联性变化分析

马映栋¹, 刘文桢^{2*}, 赵中华³, 石小龙², 李安明²

(1 甘肃农业大学 林学院, 兰州 730700; 2 甘肃小陇山林业科学研究所, 甘肃天水 741020; 3 中国林业科学院 林业研究所, 北京 100049)

摘 要: 基于 2008 年和 2013 年对位于秦岭山脉西端、甘肃东南部小陇山林区的林分调查数据, 选取树种锐齿栎、膀胱果和青榨槭为研究对象, 运用点格局 O-ring O(t) 函数分析法, 探讨 5 年前后锐齿栎林种群空间分布格局与关联性变化情况(其中, 对树种锐齿栎进行分林层讨论, 而对于膀胱果和青榨槭则不分层, 空间关联性分析均不分层)。结果显示: (1) 5 年前后, 锐齿栎林的空间格局整体上表现为随机分布; 林上层锐齿栎分布稳定, 主要为随机分布, 林间层多均匀分布, 林下层聚集分布明显; 树种膀胱果和青榨槭因株数较少, 在大部分尺度上仍随机分布, 但随时间变化在局部尺度上则出现轻微的聚集分布。(2) 分析林木空间关联性变化, 则膀胱果与锐齿栎在幼树期因相互竞争而大部分尺度上互为负相关, 其生长发育到一定阶段相互促生且小部分尺度上相互独立; 树种锐齿栎与青榨槭、膀胱果与青榨槭在整体上保持无关联, 逐渐发展为小范围内互为相关性。研究表明: 不同调查时间锐齿栎林主要树种空间分布格局变化对其尺度依赖性强, 林木分布格局的尺度吻合程度较高, 林分整体上为随机分布, 说明五年前后林分空间分布格局基本没变; 就主要树种而言, 锐齿栎分布格局变化符合群落中种群发育的规律, 膀胱果和青榨槭分布格局变化受株数影响较大; 林木种间关联性变化与种群结构及其演替阶段有关; 但就群落演替过程而言, 5 年期限不足以表征整座林分的演替规律, 需进一步拓宽研究年限。

关键词: 林分; 尺度; 空间分布格局; 关联性; 变化; 小陇山

中图分类号: Q948.12⁺2.1

文献标志码: A

Change Analysis of Spatial Pattern and Correlation for *Quercus aliena* var. *acuteserrata* Forest Population in Xiaolong Mountains

MA Yingdong¹, LIU Wenzhen^{2*}, ZHAO Zhonghua³, SHI Xiaolong², LI Anming²

(1 College of Forestry, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730700, China; 2 Research Institute of Xiaolong Mountain Forest Science, Tianshui, Gansu 741020, China; 3 Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100049, China)

Abstract: Based on data information investigated twice in Xiaolongshan forest region of west of Qinling Mountains in 2008 and 2013, we chose trees *Quercus aliena* var. *acuteserrata*, *Staphylea holocarpa* and *Acer davidii* as research objects, and then changes of spatial pattern and correlation for the above trees in five years were analyzed with O-ring O(t) method of point pattern. Spatial pattern of *Q. aliena* var. *acuteserrata* must be discussed depending on different forest layers, but that of *S. holocarpa* and *A. davidii* and correlation of all population would not rest on forest layers for further study. The results show that: (1) Spatial pattern distribution of forest stand *Q. aliena* var. *acuteserrata* was, as a whole, random over five

收稿日期: 2014-05-09; 修改稿收到日期: 2014-07-30

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划课题(2012BAD22B03)

作者简介: 马映栋(1988—), 男, 硕士, 主要从事森林培育研究。E-mail: 737765993@qq.com

* 通信作者: 刘文桢, 高级工程师, 主要从事森林经营研究。E-mail: Liu_wenzhen@163.com

years. *Q. aliena* var. *acuteserrata* distributed randomly in the upper forest layer, more evenly in the middle and clumped obviously in the lower. The small number of *S. holocarpa* and *A. davidii* led to them with random distribution on most scales and then later, along with time variation, to them with lightly aggregated distribution on small part of scales. (2) For changes of spatial population correlation, there was negative correlation between *S. holocarpa* and *Q. aliena* var. *acuteserrata* on most scales for competition at the stage of sapling, and independent distribution on small part of scales to the certain stage of growth. The relation between *Q. aliena* var. *acuteserrata* and *A. davidii*, and *S. holocarpa* and *A. davidii* kept independent on the whole, but gradually the correlation existed on a small scale. The research indicates that, in different survey time, change of spatial distribution pattern for dominant trees in *Q. aliena* var. *acuteserrata* forest depended strongly on the scale, goodness of fit of the distribution pattern was high, and the forest stand on the whole was random distribution, namely spatial distribution pattern remained largely unchanged in five years; for principal species, the change of distribution pattern of *Q. aliena* var. *acuteserrata* conformed to growth regulation of communities and that of *S. holocarpa* and *A. davidii* was more affected by number of trees; change of forest spatial correlation was connected with population structure and its stage of succession; but for successional process of community, successional change of forest community in five years won't enough represent successional rule of all forest stand, and the study must be still carried out over a long period.

Key words: forest stand; scale; spatial distribution pattern; correlation; change; Xiaolong Mountains

林木空间格局是林木在生物学过程中动态变化的足迹^[1],作为研究林分空间结构的重要组成部分之一,其变化是种群生物学特性、种内与种间关系以及环境条件综合作用的结果^[2];在植物群落中,空间分布格局也是研究植物种群分布特点、动态变化及其成因的重要工具;因而,一直以来是生态学者们广泛关注的焦点。在森林经营中,林木空间格局的研究已是分析森林群落演替和空间结构变化的重要手段,是衡量生境质量的重要尺度^[3-4],其分布状态主要包括:随机分布、均匀分布和聚集分布。分析林木空间分布格局与确定尺度息息相关,张会儒^[5]依据尺度把林木空间分布格局分为林分整体格局和林木点格局,认为分析林木点格局是计算林分整体格局的基础。林木点格局的常用分析方法主要有:精确最近邻体分析、Ripley's K(d)函数分析以及 O-ring O(t)函数分析等方法。精确最近邻体分析法在描述点间关系方面,没有 Ripley's K(d)函数详细;运用 Ripley's K(d)函数分析林木分布格局又会导致距离尺度上的重复计算。O-ring O(t)函数在统计学上与 Ripley's K(d)函数有类似之处,但两者依赖的尺度有不同的生物学意义;与 Ripley's K 函数比较,O-ring O(t)函数分析林木分布格局优点在于:(1)函数以 Ripley's K(d)函数和 Mark 相关函数为基础,避免了因距离尺度的重复导致的累积效应,从林分空间大尺度细致到点间小尺度,克服了前述方法的缺陷;(2)O-ring O(t)函数分析法对数据的要求更加严格,有助于深入理解格局成因,同时能清楚

解释林木在空间的相互关联性,实用性较强。

锐齿栎(*Quercus aliena* var. *acuteserrata* Maxim.)常见于中国暖温带高山地带,在黄河以南各省均有分布;在秦岭,多分布在海拔 1 400~1 800 m 的山坡地带,属于落叶阔叶乔木林树种。甘肃小陇山属秦岭山系的组成部分,林区内天然次生林覆盖面积大,锐齿栎林是本区典型的优势建群林分,在涵养水源、防止水土流失和维持生态平衡等功能上发挥着重要作用。以往,有关小陇山锐齿栎林的研究主要集中在群落特征^[6-7]、种群结构^[8]及物种多样性^[9]等方面,而对空间分布格局的研究并不多见;赵中华等^[10]运用空间结构参数:混角度、大小比数与角尺度综合评价了锐齿栎林分的空间分布结构;其中,认为林木空间分布格局总体上是随机分布,优势树种锐齿栎亦属随机分布,其研究描述的是林木空间分布的平均水平;巨天珍^[11]、王蒙^[12]等借助林木分布格局的相关评价指标进一步探讨锐齿栎林分布格局,发现锐齿栎林总体以聚集分布为主,有过渡到均匀分布的趋势。本研究,笔者以赵中华等^[10]2008 年设置的样地为基准,2013 年对样地进行复测,尝试换用 O-ring O(t)函数分析法重新探讨林分的空间分布格局;与前者研究不同的是,本文采用 2008 年的原始数据与 2013 年的复查数据作对比,分析比较不同调查时间点,林木分布格局变化情况;该分析的出发点在于:一方面,探讨林分 5 年前后的整体格局分布是否有所变化;另一方面,突破前述研究的借助参数或指标综合分析林分整体布局的方法,而以

每个林木点作为研究对象,单独分析尺度控制下林木的空间分布格局,在重新获知林分整体空间分布格局信息的前提下,也方便掌握局部小范围小尺度下林木的分布情况,从而为后期展开的森林经营工作提供实际可行的理论借鉴。

1 研究区概况

小陇山林区位于甘肃东南部,处在秦岭山脉西端,渭河、嘉陵江、西汉水上游;属于温暖湿润-中温半湿润大陆性季风气候类型,夏短无酷暑,冬长无严寒,春季升温快,秋季降温也快且多阴雨,降水集中在7、8、9月,年均降水量460~800 mm,年际变化大;年蒸发量989~1 658 mm;无霜期一般120~218 d。林区地处秦岭与小陇山山地,为秦岭大地槽褶皱带,由亚高山、中山、低山、盆地、河谷等地貌形成起伏不平的石质或土石山地地形,海拔1 500~3 000 m之间。土壤垂直分布明显,以褐色土、棕壤、暗棕壤为主,在不同海拔高度,土壤有机质含量差异大。本区位于中国四大自然植被区系(华北、华中、喜马拉雅、蒙新)的交汇处,植物种类繁多、茂密,是温带向亚热带过渡的植物基因库。区内植被类型分为:寒温带针叶林、温性针叶林、温性针阔混交林、落叶阔叶林,落叶常绿阔叶混交林、竹林、常绿阔叶灌丛、落叶阔叶灌丛、灌草丛、草原、草甸、沼泽、水生植物。森林覆盖率高;林区内建群树种以乔木种锐齿栎(*Quercus aliena* var. *acuteserrata* Maxim.)和辽东栎(*Quercus wutaishanica* Koidz.)为主;其它乔木树种主要有:华山松(*Pinus armandii* Franch.)、青榨槭(*Acer davidii* Franch.)、山杨(*Populus davidiana* Dode.)、白桦(*Betula platyphylla* Suk.)、漆树(*Toxicodendron vernicifluum* Stokes)、冬瓜杨(*Populus purdomii* Rehd.)、刺楸(*Kalopanax septemlobus* Koidz.)、千金榆(*Carpinus cordata* Bl.)、苗榆(*Ostrya japonica* Sarg.)等,灌木树种有:美丽胡枝子(*Lespedeza formosa* Koehne)、胡颓子(*Elaeagnus pungens* Thunb.)、连翘(*Forsythia giraldiana* Lingelsh.)、山梅花(*Philadelphus incanus* Koehne.)、陕西卫矛(*Euonymus schensianus* Maxim.)、膀胱果(*Staphylea holocarpa* Hemsl.)等。

2 研究方法

2.1 数据调查

调查样地选在小陇山林区百花林场王安沟营林区(106°15′~106°30′E, 34°16′~34°25′N)91林班,海拔1 900 m,东北坡向,坡度37°。2008年设置面

积为60 m×60 m的矩形样地一块,利用全站仪对样地内胸径大于5 cm的林木进行定位并记录其坐标,调查内容包括树种、株数、胸径、郁闭度、树高、冠幅、活枝下高等,对所调查的林木挂牌确认;在样地中心及四角位置设置5 m×5 m的小样方5个,调查小样方中灌木和草本的株数、平均盖度和高度等。2013年对样地进行复查,复测其胸径、换牌;调查进界木的树种及株数,测其胸径和树高;灌木和草本的调查方式与2008年相同。

2.2 数据分析方法

基于O-ring函数分析法分析林分空间格局就是把样地内林木个体看作是空间上的点,参照样地边长选择适宜的空间尺度^[13],对林分内树种进行单变量或双变量统计的模拟分析。单变量统计[O(r)]主要针对单一目标(样地内同一树种)的格局分布;双变量统计[O₁₂(r)]用来分析两个对象(样地内两个树种)的空间关联性;简便起见,可选取主要树种作为典型进行两两分析其种内和种间关联性。进行O-ring分析前,选择零假设至关重要,以避免空间格局的误判^[14-15]。对于单变量统计,对照林木分布图,若林木分布没有呈现出明显的聚集,则选择完全空间随机零假设模型;反之,则使用异质性泊松过程模型。对于双变量统计,若要分析两树种在同一林层的关联性,则提前假设它们是随机分布;如果树种分属不同林层,同时上层林木对下层林木的生长有影响,而下层林木不影响上层林木^[13,15],则就假设任一林层树种随机变化,另一层树种保持稳定分布。

采用Monte Carlo检验方法模拟99次,得到95%的置信区间;若单变量O(r)值(双变量O₁₂(r)值)分布在上下包迹线之间,则林木分布处于随机状态(空间上两两无关联,即独立的);分布在上包迹线以上是聚集分布(两两正相关);下包迹线以下是均匀分布(两两负相关)。整个O-ring统计分析过程采用Programita(2008版)软件完成,采用空间尺度0~50 m。

根据Wiegand^[14,16]等的定义,在消除边缘效应的情况下,单变量O-ring O(r)函数表达式为:

$$O^w(r) = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Point}[R_i^w(r)]}{\sum_{i=1}^n \text{Area}[R_i^w(r)]}$$

式中, $R_i^w(r)$ 是以点*i*为圆心,*r*为半径,宽度为*w*的圆环;Points[*X*]表示在区域*X*内的点的个数;Area[*X*]表示区域*X*的面积的大小;同样,分析种间关

联性的双变量 O-ring $O_{12}(r)$ 函数表达式为:

$$O_{12}^w(r) = \frac{\frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^{n_1} \text{Point}_2[R_{1,i}^w(r)]}{\frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^n \text{Area}[R_{1,i}^w(r)]}$$

式中, n_1 为种 1 点的数目; $R_{1,i}^w(r)$ 表示以种 1 第 i 点为圆心, 半径为 r 、宽为 w 的圆环; $\text{Point}_2[X]$ 是区域 X 中种 2 点的数目; $\text{Area}[X]$ 是区域 X 的面积。

2.3 主要树种选择

传统上表达树种优势度的指标为重要值^[2], 经计算 2008 年与 2013 年两次林分调查得到的树种特征值详见表 1。首先按表 1 重要值排序靠前的树种选择 6 个主要树种, 然后结合样地实际情况从中进一步选择株数较多的 3 个树种作为主要研究对象。

因本研究中测量的树高数据缺乏精确度且有部分遗漏, 故分析中根据胸径与树高呈正相关的一般理论^[17], 用树种胸径 (DBH) 表征其树高; 按照林分垂直分层方法, 再结合表 1 的树种胸径分布特征, 将位于 $\text{DBH} < 10\text{ cm}$ 、 $10\text{ cm} \leq \text{DBH} < 20\text{ cm}$ 、 $\text{DBH} \geq 20\text{ cm}$ 的林木依次划分为林下层、林间层、林上层;

根据各林层林木株数分布情况, 单独对树种锐齿栎分林层分析空间格局变化, 不分层讨论青榨槭、膀胱果空间格局及主要树种两两间的空间关联性。

3 结果与分析

3.1 主要树种的径级分布特征

由表 1 可以看出, 重要值排序靠前的树种主要是锐齿栎、青榨槭、膀胱果、泡花树、漆树、三桠乌药等; 为明确描述林分空间格局分布特征, 并结合样地实际情况, 进一步选择株数较多的 3 个树种——锐齿栎、青榨槭、膀胱果作为本研究的主要研究对象。

由表 2 可以看出, 主要树种的径级分布变化较明显; 2008 年树种锐齿栎株数从林上层向林下层逐渐减少, 膀胱果和青榨槭多数分布在林下层; 在 2013 年, 锐齿栎仍然多集中在林上层及林间层分布; 膀胱果林层分布情况与五年前没区别; 青榨槭主要分布在林间层和林下层。就同一林层而言, 分布在林上层和林下层的锐齿栎五年后株数变化比林间层大; 膀胱果胸径生长一直无法达到林上层水平, 但

表 1 2008 年与 2013 年各树种重要值

Table 1 Importance value of each tree species in 2008 and 2013

树种 Tree species	数量 No. of plants/N		胸径 DBH/cm		断面积 Basal area/(m ² /hm ²)		重要值 Important value/%	
	2008	2013	2008	2013	2008	2013	2008	2013
白桦 <i>Betula platyphylla</i> Suk.	10	7	28.8	26.2	651.1	538.9	0.380	0.363
白腊 <i>Fraxinus chinensis</i> Roxb	3	4	6.6	7.4	34.2	43.0	0.337	0.338
白榆 <i>Ulmus pumila</i> L.		2		8.1		51.5		0.337
大叶榉木 <i>Swida macrophylla</i> (Wall.) Sojak	4	3	7.3	9.6	41.8	72.4	0.339	0.339
淡红荚蒾 <i>Viburnum erubescens</i> Wall.	6	2	6.6	7.5	34.2	44.2	0.340	0.337
冬瓜杨 <i>Populus purdumii</i> Rehd.	6	6	11.4	13.7	102.0	147.3	0.344	0.344
杜梨 <i>Pyrus betuli folia</i> Bunge	3	3	10.6	11	88.2	95.0	0.341	0.340
多毛樱桃 <i>Cerasus polytricha</i> (Koehe) Yü et Li	11	12	12.4	12.4	120.7	120.7	0.348	0.348
鹅耳枥 <i>Carpinus turczaninowii</i> Hance	9	9	15.1	17.5	179.0	240.4	0.350	0.351
鄂榎 <i>Tilia oliveri</i> Szyszyl		1		23.6		437.2		0.354
甘肃山楂 <i>Crataegus kansuensis</i> Wils	11	10	8.2	8.9	52.8	62.2	0.344	0.344
红桦 <i>Betula albo-sinensis</i> Burk	3	3	8	9.6	50.2	72.4	0.338	0.339
红棕子 <i>Swida hemsleyi</i> (Schneid. et Wanger.) Sojak		2		13.3		138.9		0.341
红柳 <i>Tamarix ramosissima</i>	3	3	30.8	31.4	744.7	774.0	0.381	0.371
湖北花楸 <i>Sorbus hupenhensis</i> C. K. Schneid	20	17	14.8	16.3	172.0	208.6	0.358	0.356
华榎 <i>Tilia chinensis</i> Maxim.	1	1	12.7	13.1	126.6	134.7	0.342	0.340
华东山楂 <i>Crataegus wilsonii</i> Sarg	1	1	7.4	7.4	43.0	43.0	0.337	0.336
华山松 <i>Pinus armandii</i> Franch.	10	9	19.6	22.2	301.6	386.9	0.359	0.358
华榛 <i>Corylus chinensis</i> Franch.	1	1	5.1	8.1	20.4	51.5	0.335	0.336
桦叶四蕊槭 <i>Acer tetramerum</i> var. <i>betulifolium</i> Rehd.	2	1	7.4	6.7	43.0	35.2	0.337	0.336
灰栒子 <i>Cotoneaster acutifolius</i> Turcz.	1	1	5.4	7.6	22.9	45.3	0.335	0.336
金花忍冬 <i>Lonicera chrysantha</i> Turcz. ex Ledeb	1	1	5.9	5.5	27.3	23.8	0.336	0.335
旌节花 <i>Stachyurus chinensis</i> Franch.		2		6.3		31.2		0.336

续表 1 Continued Table 1

辣子树 <i>Evdia rutaecarpa</i> (Juss.) Benth	8	2	9.9	10.5	76.9	86.6	0.344	0.339
辽东栎 <i>Quercus wutaishanica</i> Koidz		1		8.9		62.2		0.337
领春木 <i>Euptelea pleiospermum</i> Hook. f. et Thoms.	1	1	6.8	6.9	36.3	37.4	0.336	0.336
柳树 <i>Salix</i> sp.	1	1	5.9	6.5	27.3	33.2	0.336	0.336
马氏槭 <i>Acer maximowiczii</i> Pax	4	4	7.7	8.4	46.5	55.4	0.339	0.339
毛花槭 <i>Acer erianthum</i> Schwer		1		7.5		44.2		0.336
苗榆 <i>Ostrya japonica</i> Sarg	5	2	28.2	30.4	624.3	725.5	0.375	0.368
膀胱果 <i>Staphylea holocarpa</i> Hemsl.	40	35	8.4	8.9	55.4	62.2	0.364	0.362
泡花树 <i>Meliosma cuneifolia</i> Franch.	22	20	6.8	7.5	36.3	44.2	0.351	0.350
漆树 <i>Toxicodendron vernicifluum</i> (Stokes) F. A. Barkl	26	23	12.5	15.4	122.7	186.2	0.359	0.359
秦岭白腊 <i>Fraxinus paxina</i> Lingelsh	7	7	8.3	8.9	54.1	62.2	0.341	0.341
青麸杨 <i>Rhus potaninii</i> Maxim.	1	8	17.9	22	251.5	379.9	0.349	0.356
青皮槭 <i>Acer cappadocicum</i> Gled	3	3	10.3	12	83.3	113.0	0.340	0.341
青榨槭 <i>Acer davidii</i> Franch.	40	34	10.1	10.4	80.1	84.9	0.366	0.363
锐齿栎 <i>Quercus aliena</i> var. <i>acuteserrata</i> Maxim.	138	128	15	17.2	176.6	232.2	0.440	0.440
三桠乌药 <i>Lindera obtusiloba</i> Bl	22	21	11.7	12.9	107.5	130.6	0.355	0.355
山梅花 <i>Philadelphus incanus</i> Koehne	12	9	7.2	8.2	40.7	52.8	0.344	0.342
山杨 <i>Populus davidiana</i> Dode.	3	3	16.5	17.9	213.7	251.5	0.348	0.347
陕甘花楸 <i>Sorbus koehneana</i> Schneid	3	2	13.1	13.6	134.7	145.2	0.344	0.341
少脉槭 <i>Tilia paucicostata</i> Maxim.	21	19	12.8	14.3	128.6	160.5	0.356	0.355
水榆花楸 <i>Sorbus alni folia</i> (Sieb. et Zucc.) K. Koch	3	3	14.2	15.2	158.3	181.4	0.345	0.344
唐棣 <i>Amelanchier sinica</i> (Schneid.) Chun		1		12.6		124.6		0.340
五角枫 <i>Acer mono</i> Maxim.	14	12	11.4	13	102.0	132.7	0.349	0.348
兴山榆 <i>Ulmus bergmanniana</i> Schneid	1	1	7.8	8.3	47.8	54.1	0.337	0.337

注:空格为 2013 年的进界木。

Note:Blank. New trees of DBH more than 5 cm in 2013.

表 2 各林层主要树种的径级分布

Table 2 Distribution of dominant trees with diameter class in different forest layers

树种 Tree species	径级 Diameter class	株数 No. of plants	
		2008	2013
锐齿栎 <i>Quercus aliena</i> var. <i>acuteserrata</i> Maxim.	DBH<10 cm	44	28
	10 cm≤DBH<20 cm	56	54
	DBH≥20 cm	66	46
膀胱果 <i>Staphylea holocarpa</i> Hemsl	DBH<10 cm	30	24
	10 cm≤DBH<20 cm	10	11
	DBH≥20 cm	0	0
青榨槭 <i>Acer davidii</i> Franch.	DBH<10 cm	27	16
	10 cm≤DBH<20 cm	11	17
	DBH≥20 cm	3	1

林下层的株数在两阶段变化皆明显;树种青榨槭相比前两者,不同林层林木株数变化小。调查分析导致样地中树种个体株数在不同林层变化的原因,除有进界木外,林木本身生长特性与健康状况对其影响较大。

3.2 主要树种空间格局

由图 1 可知,2008 年各林层锐齿栎在 0~50 m 尺度内分布为:林上层,在 9、31、40、46 和 48 m 的尺

度范围内,林木呈聚集分布,林木在 22 m 范围内分布比较均匀;林层中间,在 7、21、43 m 的尺度上,林木相互聚集分布,在 4、23、30、37 m 的尺度,林木处在均匀分布状态;在林下层,林木在 9、31、40、46、48 m 的尺度上呈聚集分布,林木在 22 m 范围均匀分布;从 2013 年的林木点格局分布曲线来看,树种锐齿栎在各林层分布变化大;林上层锐齿栎,在 8、40、46、48 m 的尺度上聚集分布,林木在 19、22 m 的尺度范围内呈均匀分布;在林间层,位于 5、8、10、21、41、49 m 尺度上的林木聚集为主,而 4、23、45 m 尺度上林木则均匀分布;在林下层,林木在 2、30 m、9~10 m 的尺度范围为聚集分布,在 20、32、45 m 的尺度上均匀分布。

比较 2008 年和 2013 年锐齿栎树种在不同空间尺度上的分布可发现,林上层林木在相隔五年前后,聚集分布或均匀分布的尺度基本吻合,而林间层和林下层林木分布的尺度差异很大;可能是因为林上层锐齿栎处在演替的后期阶段,接近顶级状态,分布逐渐趋于稳定。林间层和林下层林木在尺度上聚集分布的频率比均匀分布高,这符合锐齿栎多杂木相伴生长的生物学特性。整体上,树种锐齿栎在尺度

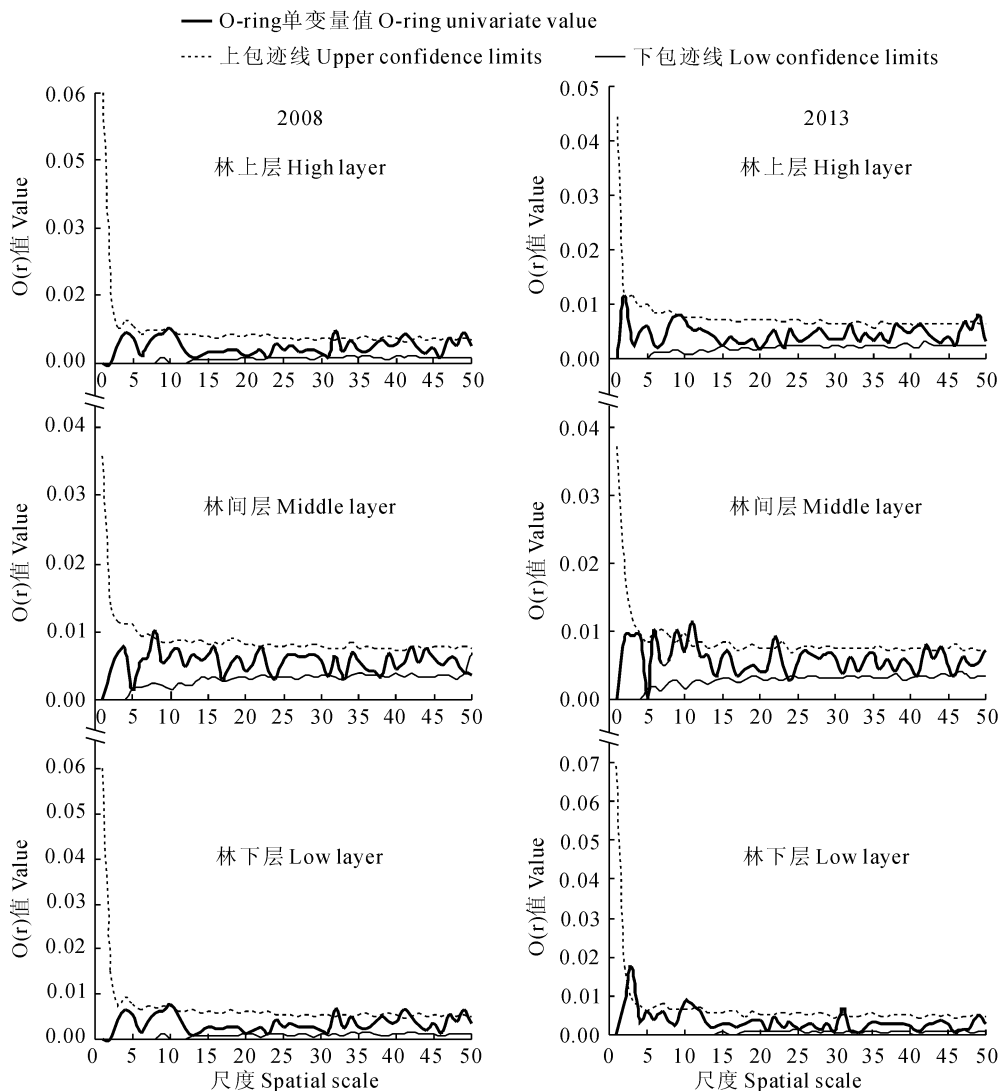


图1 不同调查时间锐齿栎空间分布格局

Fig.1 Spatial distribution pattern of *Quercus aliena* var. *acuteserrata* Maxim. in different survey time

上随机分布为主,出现聚集或均匀分布的情况较少。

结合表2,2008年与2013年,林分中主要树种膀胱果和青榨槭的株数均不超过树种锐齿栎的30%,若分层讨论其点格局分布,反而使各林层林木株数更少,对其讨论的意义不大。

由图2可以看出,2008年树种膀胱果在34~38 m、43~50 m尺度上随机分布,在7~17 m尺度上完全聚集分布;在18~33 m的尺度上林木仍然聚集分布为主。在18、23、27、30 m尺度范围内,林木处在随机分布状态;就整个尺度范围内,树种膀胱果在大尺度上随机分布,小尺度上聚集分布。到2013年,树种膀胱果分布状态表现为聚集分布降低,随机分布增加,部分尺度上出现轻微的均匀分布;观察前后两次O-ring曲线波动情况,其格局分布的趋向有多尺度吻合现象。

图3表明,在2008年,树种青榨槭在2、35、36、38 m尺度上聚集分布,在8、13、31 m的尺度上呈均匀分布;相比2008年,2013年树种青榨槭在大多尺度范围内为随机分布,仅在2、36 m的尺度上林木聚集分布,在18、24 m尺度上均匀分布。

3.3 主要树种空间关联性

图4反映了树种锐齿栎、膀胱果及青榨槭在空间尺度上的相互关系;就2008年的曲线分布可以看出,林分中锐齿栎和膀胱果在16~20 m、22~25 m、27~30 m范围及10、14、50 m的尺度上明显呈负相关,说明树种间竞争激烈相互排斥,高林层林木抑制低林层林木的生长;在其它尺度范围内,锐齿栎和膀胱果空间关联性不大;与2008年相比,树种锐齿栎和膀胱果在11、33~35 m尺度上表现为正相关,即它们相伴为生;在20、22、29 m的尺度上两种林木

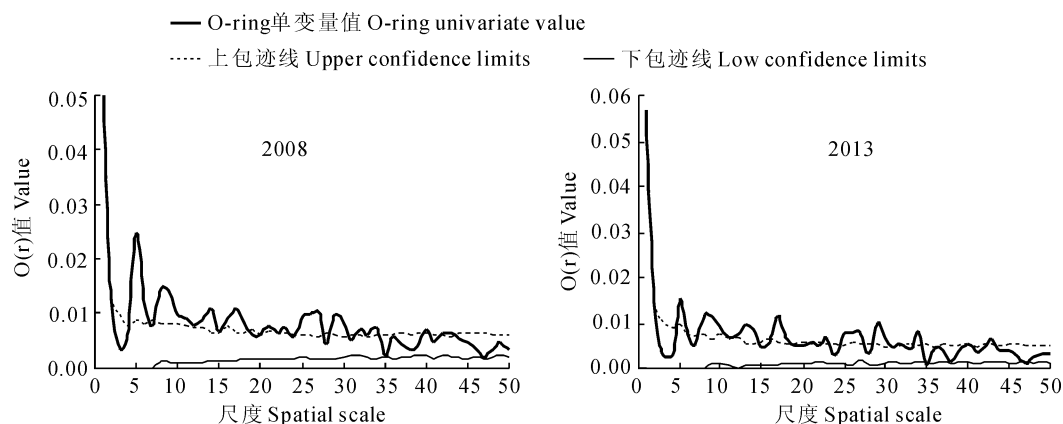


图2 不同调查时间膀胱果空间分布格局

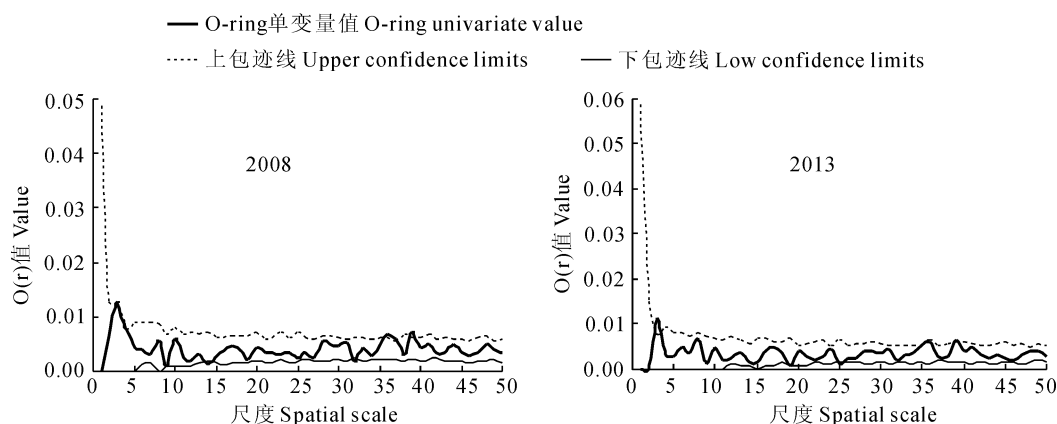
Fig. 2 Spatial distribution pattern of *Staphylea holocarpa* Hemsl. in different survey time

图3 不同调查时间青榨槭空间分布格局

Fig. 3 Spatial distribution pattern of *Acer davidii* Franch. in different survey time

又表现为负相关;对比前后两次的点格局分布可发现,两树种间关系出现负相关的情况,五年前后差异很大。

2008年与2013年,树种锐齿栎和青榨槭在大部分尺度上相互独立;2008年,在5 m尺度上林木呈显著正相关,在22、24 m的尺度上负相关;2013年,林木在24 m的尺度上仍然呈负相关,尺度上表现正相关的情况明显增多。2008年,树种青榨槭和膀胱果在所有尺度上相互独立;2013年,在8、21、28、32 m的尺度上二者则表现为显著负相关。

4 讨论

本研究结果表明,不同调查时间锐齿栎林主要树种的空间分布格局对其尺度依赖性强,林木分布格局的尺度吻合程度较高,林分整体上为随机分布,说明五年前后林分空间格局基本没变。就主要树种而言,各林层锐齿栎空间分布存在显著差异,锐齿栎

在林上层分布相对稳定,随机分布占主导地位,在林间层分布均匀,在林下层则多聚集生长,其各林层分布格局的变化符合群落种群发育的规律;分析其成因,认为除与树种锐齿栎自身萌生性强、喜光生长的生物学特性有关外,林下层多幼木,邻近的中成龄林木、灌木对其影响也较大^[18];从幼龄阶段起,下层林木就为拓展生存空间,争夺营养资源而相互竞争,后期因优胜劣汰导致林木“自疏”,最终形成林上层格局稳定的局面。树种膀胱果虽属耐阴植物,喜灌丛生长,但只在小范围内存在轻微的聚集分布,并随着时间变化,其随机分布的尺度增多;而树种青榨槭大部分尺度上随机分布,出现聚集与均匀分布的情况较少,可能主要是株数稀少的缘故。

分析种间关联性发现,林分种群空间格局变化与种群结构及演替阶段有关,如幼树期的膀胱果与锐齿栎在尺度上多为斑块状聚集,相互间竞争激烈;发育到一定阶段,膀胱果幼树又依靠大径阶锐齿栎

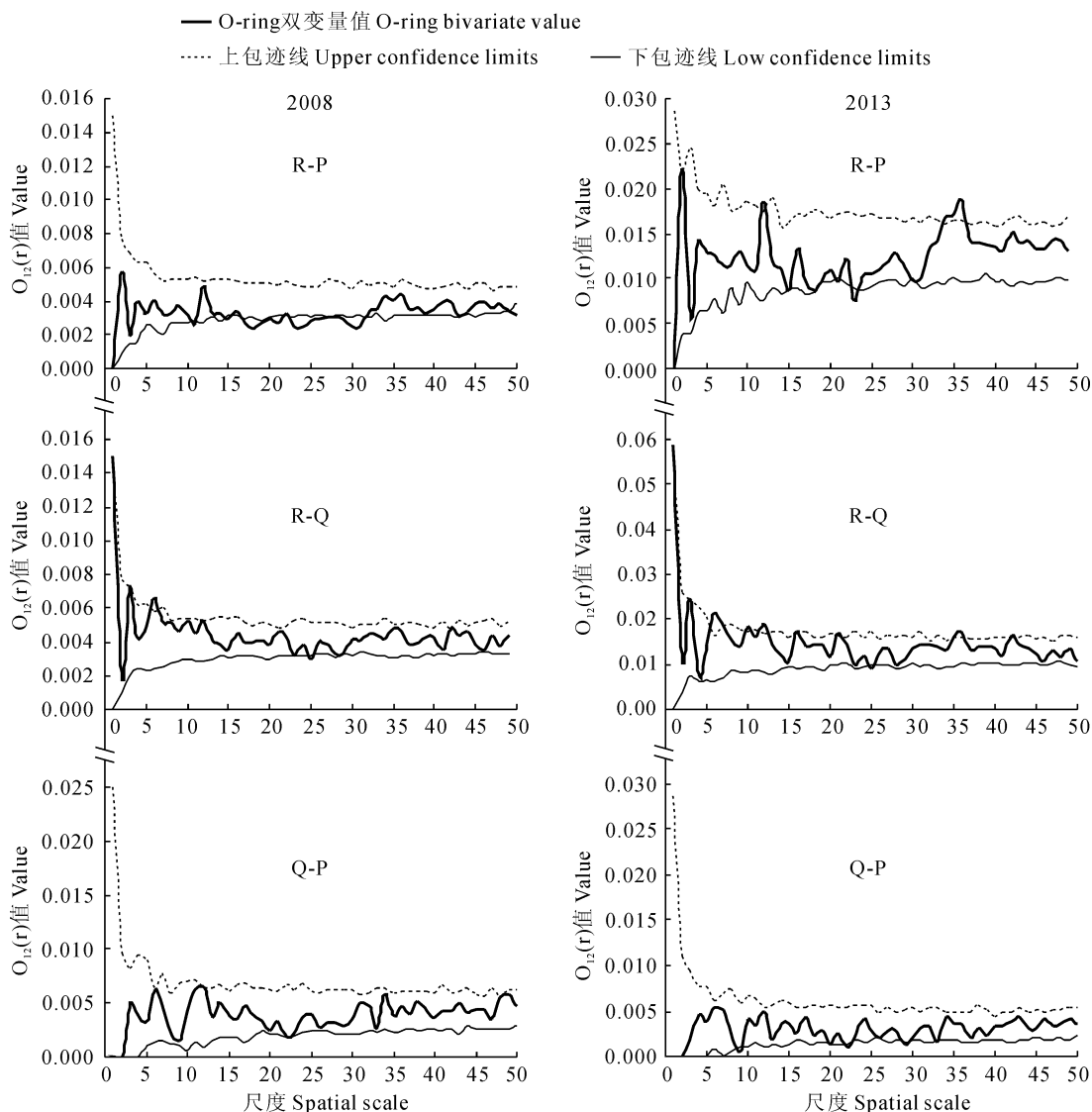


图4 不同调查时间主要树种空间关联性

R-P. 锐齿栎-膀胱果;R-Q. 锐齿栎-青榨槭;Q-P. 青榨槭-膀胱果

Fig. 4 Spatial correlation of dominant tree species in different survey time

R-P. *Quercus aliena* var. *acuteserrata* and *Staphylea holocarpa*; R-Q. *Quercus aliena* var. *acuteserrata* and *Acer davidii*; Q-P. *Acer davidii* and *Staphylea holocarpa*

为其遮阴庇护维持生长,二者相伴促生,反映了林木在大部分尺度上互为负相关,发展为小部分尺度上存在关联性的变化过程。在群落演替初期,种群未形成稳定的种间关系,种间关系以随机为主;随着演替的持续,种间竞争不断加剧且形成复杂的种间关系,不同物种空间上表现为正相关或负相关^[19-20],如五年前树种锐齿栎和青榨槭整体上多表现为相互独立,五年后在小部分尺度上呈明显的正相关以及个别尺度上的负相关;类似的,五年前树种青榨槭与膀胱果趋于无关联性;随时间变化,在局部尺度上逐渐表现为种间负相关。

锐齿栎林是小陇山林区典型的天然次生林,首

次使用点格局 O-ring O(t) 函数分析法研究林分空间分布格局的变化,在全面把握林分整体随机分布的基础上,也得到林分局部上存在聚集分布的信息,无疑对指导森林经营实践有重要意义。需要指明的是,本研究所选的林分并未是理想条件下发育形成的群落,受诸多因素的干扰和影响,因而其分布格局势必也是其它外界条件和林木自身相互作用的结果,而树种生物学特性可能是其主要的内因;此外,该林分分布格局尽管在五年前后保持稳定的状态,但就群落演替过程而言,五年期限不足以表征整座林分的演替规律,若要深入了解整座林分格局如何更新变化,还需拓宽年限做进一步的探讨。

参考文献:

- [1] NICOLAS P, AVNER BAR-HEN, FREDERIC M. Understanding the dynamics of an undisturbed tropical rain forest from the spatial pattern of trees[J]. *Journal of Ecology*, 2009, 97: 97–108.
- [2] 惠刚盈, KLAUS VON GADOW, 徐海. 结构化森林经营[M]. 北京: 中国林业出版社, 2007.
- [3] A. POMMERENING. Approaches to quantifying forest structures[J]. *Forestry*, 2002, 75: 305–324.
- [4] ROZAS V, ZAS R, SOLLA A. Spatial structure of deciduous forest stands with contrasting human influence in northwest Spain[J]. *European Journal of Forest Research*, 2009.
- [5] 张会儒, 汤孟平, 舒清志. 森林生态采伐的理论与实践[M]. 北京: 中国林业出版社, 2006.
- [6] SUO A N(索安宁), JU T ZH(巨天珍), ZHANG J H(张俊华), *et al.* Analysis of biomass characteristic of *Quercus aliena* var. *acuteserrata* community on Mt. Xiaolongshan in Gansu[J]. *Journal of Mountain* (山地学报), 2006, 24(1): 123–128 (in Chinese).
- [7] SUO A N(索安宁), JU T ZH(巨天珍), ZHANG J H(张俊华), *et al.* Analysis of biodiversity characteristics of *Quercus aliena* var. *acuteserrata* community on Mt. Xiaolong in Gansu[J]. *Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin.* (西北植物学报), 2004, 24(10): 1 877–1 881 (in Chinese).
- [8] WANG Q H(王勤华), JU T ZH(巨天珍), CHANG CH H(常成虎). Study on the structure of *Quercus aliena* var. *acuteserrata* population Xiaolongshan, Gansu[J]. *Guihaia* (广西植物), 2006, 26(1): 38–42 (in Chinese).
- [9] ZHANG S ZH(张宋智), LIU W ZH(刘文桢), GUO X L(郭小龙), *et al.* Individual tree size distribution and species diversity of *Quercus aliena* var. *acuteserrata* community in the West of Qinling[J]. *Forest Research* (林业科学研究), 2010, 23(1): 65–70 (in Chinese).
- [10] ZHAO ZH H(赵中华), HUI G Y(惠刚盈), YUAN SH Y(袁士云), *et al.* Spatial structure characteristic of *Quercus aliena* var. *acuteserrata* natural forest in Xiaolongshan[J]. *Scientia Silvae Sinicae* (林业科学), 2009, 45(3): 1–6 (in Chinese).
- [11] JU T ZH(巨天珍), HAO Q(郝青), GE J T(葛建团), *et al.* Study on the spatial distribution pattern of *Quercus aliena* var. *acuteserrata* Population in Xiaolongshan, Gansu[J]. *Forest Resource Management* (林业资源管理), 2010, (4): 27–30 (in Chinese).
- [12] 王蒙. 甘肃小陇山主要植物种群动态与空间分布格局研究[D]. 兰州: 西北师范大学, 2012.
- [13] DU ZH(杜志), KANG X G(亢新刚), BAO Y J(包昱君), *et al.* Spatial distribution patterns and associations of tree species during different succession stages in spruce-fir forests of Changbai Mountains, Northeastern China[J]. *Journal of Beijing Forestry University* (北京林业大学学报), 2012, 34(2): 14–19 (in Chinese).
- [14] WIEGAND T, MOLONEY K A. Rings, circles, and null models for point pattern analysis in ecology[J]. *Oikos*, 2004, 104: 209–229.
- [15] ZHANG J(张健), HAO ZH Q(郝占庆), SONG B(宋波), *et al.* Spatial distribution patterns and associations of *Pinus koraiensis* and *Tilia amurensis* in broad-leaved Korean pine mixed forest in Changbai Mountains[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2007, 18(8): 1 681–1 687 (in Chinese).
- [16] 张金屯. 数量生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2011.
- [17] 孟宪宇. 测树学[M]. 北京: 中国林业出版社, 2006.
- [18] YANG H Y(杨海裕), ZHANG S ZH(张宋智), LIU X L(刘小林), *et al.* Interspecific associations among tree species in natural deciduous broadleaved forests in western Qinling, Northwest China[J]. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), 2012, 31(10): 2 513–2 520 (in Chinese).
- [19] LOU Y J(娄彦景), ZHAO K Y(赵魁义). Analysis of interspecific association of *Carex lasiocarpa* community in recent 30-year succession in Sanjiang Plain[J]. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), 2008, 27(4): 509–513 (in Chinese).
- [20] GUO Y X(郭垚鑫), KANG B(康冰), LI G(李刚), *et al.* Species composition and point pattern analysis of standing trees in secondary *Betula albosinensis* forest in Xiaolongshan of west Qinling Mountains[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2011, 22(10): 2 574–2 580 (in Chinese).