

· 研究报告 ·

翅果油树群落主要物种空间分布格局及其关联性

许强, 吕金枝, 苗艳明*, 毕润成*

山西师范大学, 临汾 041000

摘要 以山西省翅果油树自然保护区翅果油树(*Elaeagnus mollis*)种群为研究对象, 采用点格局分析中的O-ring统计方法, 利用Programita软件对翅果油树群落中主要物种翅果油树、荆条(*Vitex negundo* var. *heterophylla*)和黄刺玫(*Rosa xanthina*)种群的分布格局及其相互关系进行了分析。结果表明: (1) 各种群在相对小的尺度上聚集分布特征明显, 随尺度增加各种群主要表现出随机分布特征; (2) 各树种间的空间关联性主要表现在小尺度范围, 随尺度加大空间关联性逐渐不明显; (3) 翅果油树种群径级I、II和III在较小尺度时存在明显的聚集分布, 径级IV、V和VI在所有尺度上均呈现随机分布; (4) 翅果油树种群径级I和II与径级IV、V和VI存在正关联, 同时径级I与VI, 径级II与V在一定尺度上表现出空间负关联, 相邻径级在空间分布上相关性不显著。

关键词 翅果油树, 空间格局, 点格局分析, 空间关联

许强, 吕金枝, 苗艳明, 毕润成 (2016). 翅果油树群落主要物种空间分布格局及其关联性. 植物学报 51, 49–57.

植物种群空间格局分析是研究种群生物学特性、种内和种间关系以及种群与环境关系的重要方法, 一直是植物生态学的研究热点(Greig-Smith, 1983; Wiegand and Moloney, 2004; 王磊等, 2012)。植物种群空间格局是种群个体在水平空间的配置状况或分布状态, 是种群自身特征、种内种间关系及环境条件综合作用的结果(张金屯, 1995)。植物种群在群落中的分布格局和种间关系都与空间尺度密切相关, 不同研究尺度所获得的格局信息特征也会不同(闫海冰等, 2010), 这对深入探讨植物种群特征、种群间相互作用及种群与环境之间的关系以及揭示种群的形成和维持机制有着重要意义(Greig-Smith, 1983; 张金屯, 1995; Dale, 1999; Hou et al., 2004; Wiegand and Moloney, 2004; Nathan, 2006; 闫海冰等, 2010; 郭垚鑫等, 2011; 王磊等, 2012; 楚光明等, 2014; 许彦明等, 2014)。传统的样方取样和分析方法所采用的样方大小不能全面反映种群在空间的分布特点和种间的相互关系, 而点格局分析法在很大程度上克服了传统分析法的不足, 从不同尺度揭示了植物种群的生态学特性和形成过程, 取得了良好的效果(张金屯和孟东平, 2004; 汤孟平等, 2006; 杨洪晓等, 2006; 牛丽

丽等, 2008; 岳永杰等, 2008; 缪宁等, 2009; 刘小恺等, 2009; 陈丽等, 2011)。以往国内外有关物种空间格局的研究多采用RipleyK函数, 但RipleyK函数具有积累效应, 会影响结果的准确性, 在大尺度格局分析时易受到小尺度累积效应的影响。近年来, O-ring统计方法因能避免累积效应, 可以更真实地反映种群任意尺度的空间分布格局而得到了广泛的应用(Condit et al., 2000; 韩文衡等, 2010; 郭垚鑫等, 2011; 王磊等, 2012)。

翅果油树(*Elaeagnus mollis*)属胡颓子科胡颓子属, 落叶大灌木或小乔木, 是第四纪冰川作用后的孑遗植物之一(宋朝枢等, 1989; 于永福, 1999; 张直峰等, 2010), 具无性繁殖特性, 野外多见其萌生苗(张钦弟等, 2006), 果实具有重要的经济价值(王志红等, 2002), 是我国的特有物种(谢树莲等, 1994; 上官铁梁和张峰, 2001)。翅果油树在生物多样性保护领域中具有重要地位。1999年8月4日, 国务院公布了《国家重点保护野生植物名录(第一批)》, 将翅果油树列为国家2级珍稀濒危物种(于永福, 1999)。目前对于翅果油树的研究多集中在种群生态、群落分布、叶性特征以及分子遗传等方面(上官铁梁等, 1992; 张峰等,

收稿日期: 2014-11-15; 接受日期: 2015-03-04

基金项目: 山西省化学优势重点学科生态化学子项目(No.912019)、山西省青年科技研究基金(No.2013021030-3)、山西师范大学校科学研究基金(No.ZR1218)和山西师范大学生命学院科学研究基金(No.SMYKZ-19)

* 通讯作者。E-mail: mym8207@126.com; sxrcbi@126.com

1993, 2001; 张峰和上官铁梁, 1994, 1996, 1999, 2000a, 2000b; 上官铁梁和张峰, 2001; 苗艳明等, 2012), 而对于翅果油树种群分布格局的研究国内外均未见报道。山西翅果油树自然保护区是翅果油树的重要集中分布区, 因此本研究采用该保护区翅果油树群落数据, 运用点格局分析中的O-ring统计方法, 研究翅果油树种群分布特征和群落中主要物种的空间分布格局及空间关联性, 以期能够更准确地反映翅果油树种群和群落的形成以及潜在的维持机制, 为翅果油树种群的保护和可持续利用提供理论依据。

1 研究方法

1.1 研究区概况

实验地点位于山西省中条山西段低山丘陵区的甘泉林场翅果油树自然保护区(110°36'E–110°52'E, 34°52'N–36°05'N, 海拔780–1 400 m)。该区是翅果油树(*Elaeagnus mollis* Diels)的主要分布地之一, 属暖温带大陆性气候, 年均气温12.3°C, 极端最高气温41.3°C, 极端最低气温–19.1°C, 常年年均降雨量542.8 mm, 无霜期227天(张峰等, 2001)。

实验地植被以天然翅果油树灌丛为主, 灌木层的层盖度在70%以上, 主要有翅果油树、荆条(*Vitex negundo* var. *heterophylla*)、黄刺玫(*Rosa xanthina*)和杠柳(*Periploca sepium*)。由于灌木层郁闭度较大, 林下草本层发育较差, 层盖度在30%左右或更低, 主要有大披针藁草(*Carex lanceolata*)、白羊草(*Bothriochloa ischaemum*)、茜草(*Rubia cordifolia*)、地黄(*Rehmannia glutinosa*)和蒿属(*Artemisia* ssp.)植物。

1.2 野外调查

在翅果油树集中分布区, 设置50 m×50 m样地1块, 采用逐木调查法测定翅果油树的基径、高度和冠幅等, 并对植物群落进行全面调查, 同时对应测量翅果油树个体以及群落中的主要灌木荆条和黄刺玫空间位置坐标, 坐标值直接用距离(单位: m)表示。

1.3 数据处理

1.3.1 样地设置及径级划分

年龄结构是种群的重要特征, 种群年龄结构的分析是

探索种群动态的有效方法。众多学者在研究工作中采用树木大小(径级)结构分析法替代年龄结构, 效果良好; 本文将翅果油树依基径的实际大小划分为6个径级。径级I: <2 cm; 径级II: 2–7 cm; 径级III: 7–12 cm; 径级IV: 12–17 cm; 径级V: 17–22 cm; 径级VI: >22 cm。

1.3.2 点格局分析方法

本研究中, 单个种群的空间分布格局采用单变量O-ring分析方法, 比较翅果油树群落中种群两两间和不同径级的种间关联性采用双变量O-ring分析方法。

在单变量O-ring分析中, 用成对相关函数 $g(r)$ 来决定种群多个特定尺度上的空间格局:

$$g(r) = (2\pi r)^{-1} dK(r)/dr$$

若 $g(r)$ 值高于置信区间上限, 则该树种在该距离为聚集性分布; 若 $g(r)$ 在置信区间之间, 则为随机分布; 若 $g(r)$ 低于置信区间的下限, 则为均匀分布。

在成对相关函数进行双变量点格局分析时, 函数为:

$$g_{12}(r) = (2\pi r)^{-1} dK_{12}(r)/dr$$

若 $g(r)$ 值高于置信区间的上限, 则种间在距离 r 处显著正关联; 若低于置信区间的下限, 则种间在距离 r 处显著负关联; 若在置信区间之间, 则表明两个种之间相互独立或没有显著关联性(闫海冰等, 2010)。

由于树种之间的竞争可能是非对称的(Wiegand et al., 2007), 因此在双变量统计时, 首先保持一个树种的位置固定, 用异质性Poisson过程零假设对另一个树种的空间分布位置进行随机化, 分析两个树种的空间关联性的变化。然后, 保持后一个树种的位置不变, 用异质性Poisson过程零假设对前一个树种的空间分布位置进行随机化, 再次分析两个树种的空间关联性的变化(闫海冰等, 2010)。

用双变量O-ring统计比较翅果油树不同径级空间的关联性时, 假设高径级个体对低径级个体的生长有影响, 而低径级个体对高径级个体没有影响。数据分析使用生态学软件Programita完成, 采用的空间尺度为0–25 m, 步长为0.5 m, 经100次Monte Carlo模拟得到99%的置信区间(杨秀清和韩有志, 2010; 王磊等, 2012)。

2 结果与讨论

2.1 树种的空间分布格局

对样地内3种主要树种的调查可以看出, 各树种在样地内的空间分布密度随空间位置有较大变化(图1A, B), 表现出明显的空间异质性。对样地内3种主要树种进行空间点格局单变量O-ring统计分析表明(图1B), 翅果油树在0-7 m尺度为聚集分布, 19-22 m尺度为轻微均匀分布, 其余尺度均呈现随机分布; 荆条在0-15 m尺度为明显聚集分布, 18 m尺度为轻微聚集分布, 其余尺度均呈现随机分布; 黄刺玫在0-5 m尺度为聚集分布, 其余尺度均呈现随机分布。3个种群总体表现为在小尺度上呈聚集性分布格局, 在较大尺度上则趋于随机分布, 但具体在不同尺度上的分布类型却存在较大差异。

2.2 树种间空间关联性

采用双变量O-ring统计分析调查样地内树种间空间关联性(表1), 在1-3 m和11 m的尺度, 荆条与翅果油树的种间空间呈正相关, 其余尺度均无相关性; 而黄刺玫与翅果油树在11 m尺度内表现为正相关, 其余尺度均无相关性。在1-3 m的尺度内翅果油树与荆条呈正相关, 其余尺度均无相关性; 而翅果油树与黄刺玫在10-11 m尺度表现为正相关, 其余尺度均无相关性。以上研究结果表明, 翅果油树与荆条在较小尺度内相关性明显, 表明两者在较小尺度上可能存在某种相互依赖关系, 而在较大的尺度上基本无相关性, 翅果油树与黄刺玫总体相关性较小。

2.3 翅果油树种群各径级分布格局

植物种群的空间格局在不同发育阶段有明显差别, 这与森林群落的自然稀疏过程、干扰以及环境条件有密切关系(谢宗强等, 1999; 张金屯和孟东平, 2004; 牛丽丽等, 2008)。即使同一径级的个体, 不同尺度下的分布格局也有差别, 主要是由环境的异质性造成的。

图2为样地(50 m×50 m)内翅果油树6个径级空间分布图, 对其进行单变量O-ring统计分析发现(图3), 随着尺度的变化, 不同径级的空间分布格局各异。从图3可以看出, 各径级的 $g(r)$ 值普遍位于包迹线内, 主要呈随机分布。径级I、II和III的值有超出上包迹线的现象, 表明径级I、II和III在一定尺度内呈现集群分

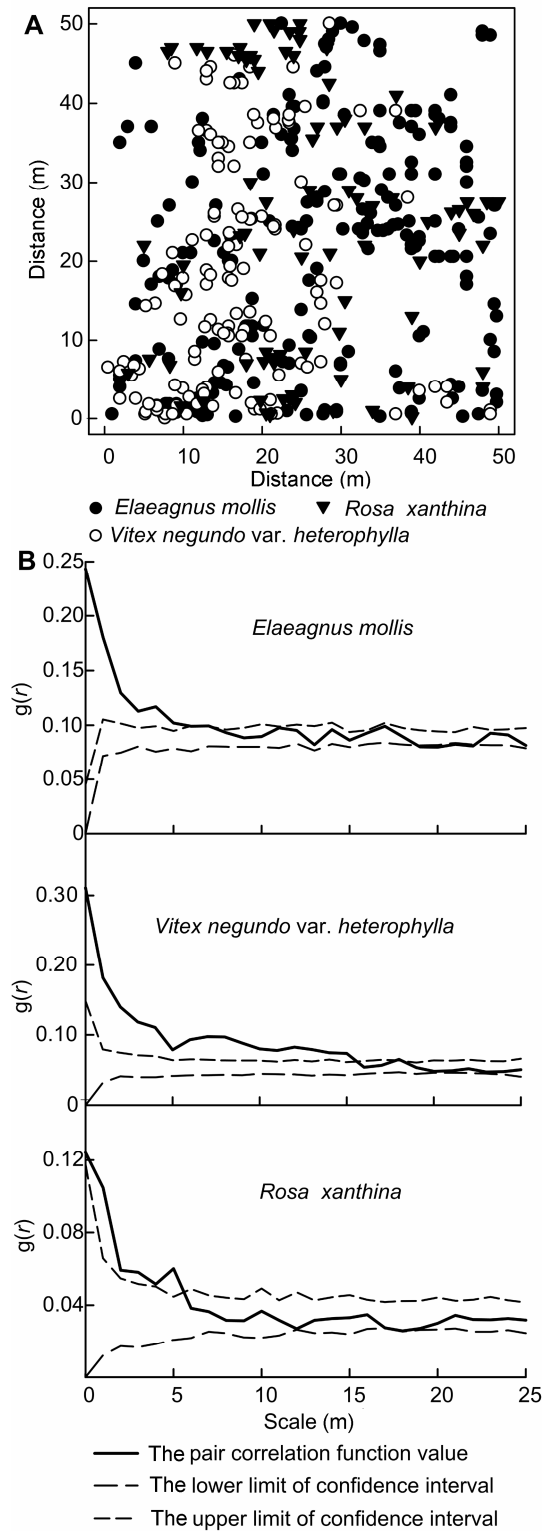


图1 树种空间分布
(A) 散点图; (B) 点格局分析

Figure 1 Species distribution in sample plot
(A) Scatterplot; (B) Point pattern analysis

表1 物种间空间关联性

Table 1 Spatial associations of species

Species 1	Species 2	Scale (m)																									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
<i>Elaeagnus mollis</i>	<i>Vitex negundo</i>	r	+	+	+	r	r	r	r	r	r	r	+	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r
<i>E. mollis</i>	<i>Rosa xanthina</i>	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	+	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r
<i>V. negundo</i>	<i>E. mollis</i>	r	+	+	+	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r
<i>R. xanthina</i>	<i>E. mollis</i>	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	+	+	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r

+: 正相关; r: 无相关性

+: Stands for positive association; r: Stands for no spatial association

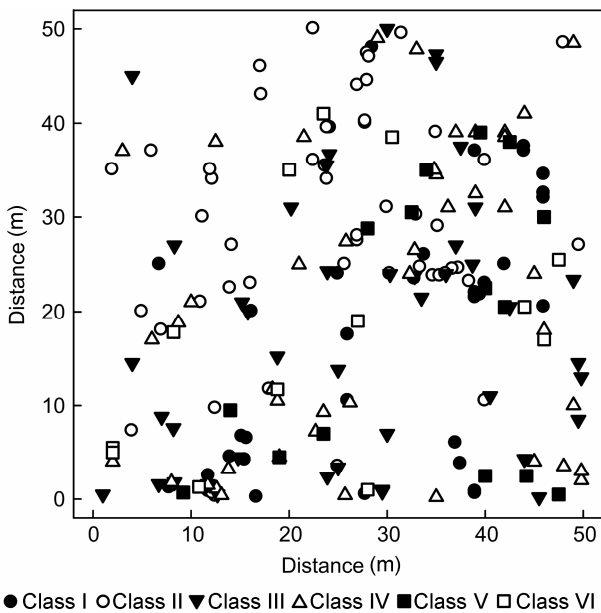


图2 翅果油树各径级个体空间分布散点图

Figure 2 Scatterplot of spatial distributions of different classes of *Elaeagnus mollis*

布, 径级I在0、2、7和22 m尺度内呈现聚集分布, 在其余尺度上呈现随机分布。径级II在0、1和6 m尺度上呈现聚集分布, 在其余尺度上呈现随机分布。径级III在1和6 m尺度内呈现聚集分布, 在25 m尺度内呈现均匀分布, 表明其存在着一定程度的竞争, 其余尺度上呈现随机分布; 径级IV、V和VI在所有尺度上均呈现随机分布, 这表明翅果油树径级I、II和III的分布格局与尺度关系密切, 而径级IV、V和VI的分布格局则与尺度无关。当尺度较小时, 径级I、II和III存在明显的聚集分布, 随着尺度的增加, 其格局主要呈随机分布; 而径级IV、V和VI可能由于个体较大, 在群落

竞争中占绝对优势, 所以在所有尺度下均呈随机分布。

2.4 翅果油树种群不同径级的空间关联

由表2可知, 翅果油树种群的径级I分别与径级II和III在整个分析尺度上无空间关联性; 与径级IV在8和14 m尺度上呈正关联; 与径级V在14 m尺度上呈正关联; 与径级VI在5 m尺度上呈正关联, 在10 m尺度上呈负关联。翅果油树种群的径级II与径级III在8和14 m尺度上呈正关联; 与径级IV在11-12 m尺度上呈正关联; 与径级V在11 m尺度上呈正关联, 在20 m尺度上呈负关联; 与径级VI在整个分析尺度上无关联。翅果油树种群的径级III与IV在整个分析尺度上无关联; 与径级V在11 m尺度上呈正关联; 与径级VI在整个分析尺度上无空间关联性。翅果油树种群的径级IV与V在0和4 m尺度上呈正关联; 与径级VI在1 m尺度上呈正关联。翅果油树种群的径级V与VI在整个分析尺度上无空间关联性。径级I分别与径级IV和V, 径级II分别与径级IV和V呈正关联性, 表明幼苗、幼树对径级较大的个体存在一定的依赖性, 这可能与翅果油树种子落地点距母体较近有关, 同时径级I与径级VI, 径级II与径级V在一定尺度上表现出空间负关联, 表明较大的个体对幼苗幼树或小树的生长有一定程度的抑制作用。由于翅果油树种子具有较高的经济价值, 这种空间负关联的出现也可能与人为干扰较严重, 导致该翅果油树种群的天然更新较差有关。

2.5 讨论

2.5.1 翅果油树群落中主要物种的空间分布格局

植物种群空间格局分布可直观地体现种群结构的合

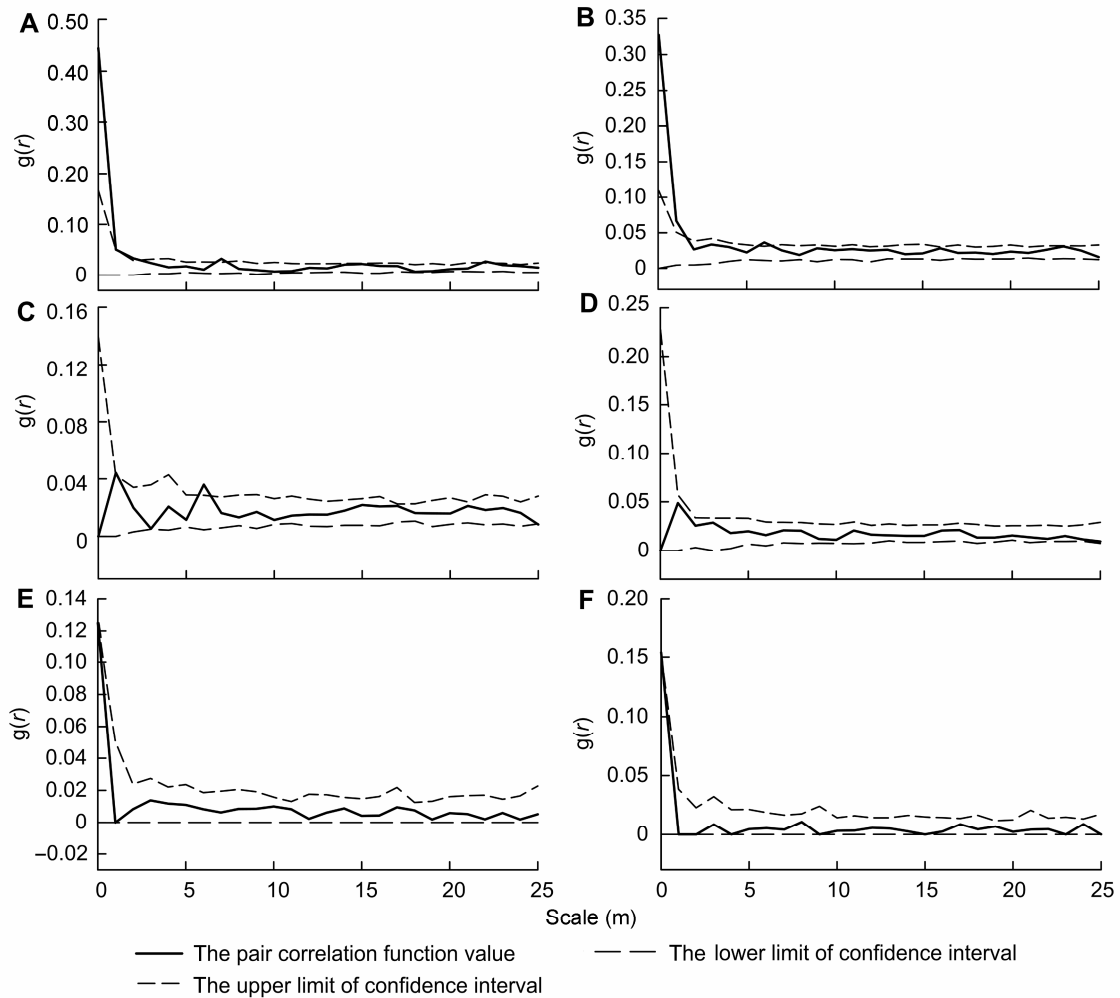


图3 翅果油树各径级点格局分析结果
(A) Class I; (B) Class II; (C) Class III; (D) Class IV; (E) Class V; (F) Class VI

Figure 3 Results of point pattern analysis for four classes of *Elaeagnus mollis*
(A) Class I; (B) Class II; (C) Class III; (D) Class IV; (E) Class V; (F) Class VI

理性, 是研究种群与群落动态性以维持其稳定性的重要科学方法, 但受到物种本身生物学特性和生存环境的共同制约(尤海舟等, 2010)。众多学者对同一群落内不同植物种群的空间分布格局及其空间关联性进行了研究, 对更深层次地理解植物本身的生态学特性及种群动态和稳定性变化具有重要意义(张金屯和孟东平, 2004; 汤孟平等, 2006; 张健等, 2007; 缪宁等, 2009; 闫海冰等, 2010)。本研究结果体现了翅果油树群落中3个主要种群的空间格局具有一定的尺度依赖性。对比翅果油树、荆条和黄刺玫种群的空间格局, 虽然聚集尺度存在一定的差异, 即翅果油树主

要在0-7 m尺度表现为聚集分布, 荆条主要在0-15 m尺度表现为明显聚集分布, 黄刺玫主要在0-5 m尺度表现为聚集分布, 但3个种群均在总体上呈现小尺度聚集分布。翅果油树群落小尺度聚集分布有利于其物种之间相互庇护, 增强群落共同抵御恶劣环境的能力, 以提高存活几率(尤海舟等, 2010)。荆条属强阳性物种, 主要在翅果油树群落林隙或边缘呈聚集分布, 所以聚集分布特征明显。随着尺度的增大, 种群趋向于随机分布, 形成不同的空间分布格局, 这可能与种间竞争过程中种群自调节机理不同有关, 主要是物种与环境长期相互适应和相互作用的结果(李俊清,

表2 径级间空间关联性

Table 2 Spatial associations of class

Class	Class	Scale (m)																									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Class VI	Class I	r	r	r	r	r	+	r	r	r	r	-	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r
Class VI	Class II	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r
Class VI	Class III	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r
Class VI	Class IV	r	+	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r
Class VI	Class V	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r
Class V	Class I	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	+	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r
Class V	Class II	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	+	r	r	r	r	r	r	r	r	r	-	r	r	r	r	r
Class V	Class III	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	+	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r
Class V	Class IV	+	r	r	r	+	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r
Class IV	Class I	r	r	r	r	r	r	r	r	+	r	r	r	r	+	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r
Class IV	Class II	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	+	+	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r
Class IV	Class III	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r
Class III	Class I	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r
Class III	Class II	+	r	r	r	+	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r
Class II	Class I	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r

+: 正相关; r: 无相关性; -: 负相关

+: Stands for positive association; r: Stands for no spatial association; -: For negative association

1986)。在较小尺度范围内, 物种主要受到种内或种间竞争以及种子散布等条件的限制; 而在较大尺度上, 主要是受到物种的生物特性和分布的异质性, 以及有限的无机环境(光照、地形、土壤养分和土壤持水量等)异质性的制约(杨秀清和韩有志, 2010)。

2.5.2 种群空间关联性

不同树种间在小尺度范围表现为正关联或负关联, 随着尺度的增大空间关联性逐渐削弱, 并趋于不关联(刘振国和李镇清, 2005)。在对翅果油树与荆条进行种间关联性检验时, 无论保持那一个种的位置不变, 在较小的尺度(1-3 m)内, 翅果油树与荆条均存在明显的相关性, 表明两者在较小尺度上可能存在相互依存的生态特征; 而在较大的尺度上基本无相关性。而翅果油树与黄刺玫相互正相关发生在11 m尺度内, 这体现了种群空间格局对尺度的依赖性, 表明翅果油树与荆条个体间在一定尺度的空间阈值内才会发生相互作用, 如果超出阈值, 这种相互作用将被明显减弱。这种空间分布特征可能是由于荆条和黄刺玫率先进入林地, 成为次生林的先锋树种, 随其生存过程逐渐改善了林地环境, 为翅果油树种子萌发提供了优良的环境, 有利于翅果油树的繁

殖更新, 上述格局的形成正是由于翅果油树群落物种对空间尺度的依赖及相互关联导致的。

2.5.3 翅果油树种群各径级分布格局分析

在一定条件下, 树种的龄级和径级对环境的反映规律具有一致性(Frost and Rydin, 2000), 种群径级空间格局反映种群的龄级空间格局特征。有研究表明, 不同年龄级会表现出不同的空间格局, 群落在景观尺度上的随机配置格局与自然稀疏过程、干扰格局以及环境变化有着密切的关系(武小钢和郭晋平, 2009)。本研究中小龄级翅果油树在较小尺度上的空间分布特征呈现聚集性, 与翅果油树花粉传播率低、种子散播范围小, 从而导致种子聚集萌发有关(上官铁梁和张峰, 2001), 也可能是由于干扰或死亡木形成的林隙林窗, 为幼苗幼树的生长和存活提供了有利条件, 成为翅果油树灌丛下更新的主要途径, 因此幼苗、幼树和小树呈集群分布(王伟玲等, 2012); 翅果油树种在较大径级IV、V和VI的分布格局表现为随机分布, 除了与翅果油树本身的生态学特征, 如种子有坚硬外壳和萌发率低(上官铁梁和张峰, 2001)有关之外, 也与土壤质地和养分等因素有关, 使得翅果油树植株密度和稳定性均较低, 因此其格局主要呈现随机分布(张

峰和上官铁梁, 2000b; 上官铁梁和张峰, 2001)。

2.5.4 翅果油树种群不同径级的空间关联

对于翅果油树不同径级的空间关联, 由于种群内部关系对空间尺度有很强的依赖性, 翅果油树种群的空间尺度与空间关联在较小尺度上主要体现为空间正或负关联; 而在较大尺度上, 则主要表现为无关联(张健等, 2007)。翅果油树种群之间, 主要在小尺度阈值范围内才会体现出对有限资源的竞争, 以及个体间互相庇护以抵御外界环境等特征, 超过这个阈值, 种群之间的生态联系就会被大大的减弱(Riggle, 1981; Condit et al., 2000; 刘振国和李镇清, 2005; Harper et al., 2006; 张健等, 2007; 楚光明等, 2014)。由于翅果油树在调查样地内并非是单优建群种, 不仅种内关系决定其空间格局, 而且其它物种也对其空间分布有一定的影响, 如荆条和黄刺玫种群就会对翅果油树空间分布产生一定的影响。另外, 翅果油树相邻径级在空间分布上基本呈现不显著相关, 表明龄级相近的翅果油树个体在空间分布上是相互独立的, 个体间形体大小相近度与它们之间的协调关系成正比。翅果油树种群个体间的这种空间关系, 有利于翅果油树种群对有限资源环境的充分利用。

群落空间格局对尺度特征尤为敏感, 观察尺度的不同会反映出群落生态学特征的不同层面, 而点格局的O-ring统计方法对尺度很敏感。本文以单变量和双变量O-ring统计方法, 分别对种群多尺度的空间格局和种群之间的空间关联进行了分析, 利用这一分析方法能直观地观察到翅果油树群落的空间分布格局, 有助于更好地理解翅果油树种群维持与动态变化的机制, 为更好地保护和利用翅果油树资源提供科学依据。

参考文献

陈丽, 王伟, 王东波, 王永利 (2011). 扩展点格局分析方法在灌木种群空间分布格局研究中的应用. 生态学杂志 **30**, 2700–2705.

楚光明, 王梅, 张硕新 (2014). 准噶尔盆地南缘洪积扇无叶假木贼种群空间点格局. 林业科学 **50**, 8–14.

郭垚鑫, 康冰, 李刚, 王得祥, 杨改河, 王大伟 (2011). 小陇山红桦次生林物种组成与立木的点格局分析. 应用生态学报 **22**, 2574–2580.

韩文衡, 向悟生, 叶铎, 吕仕洪, 丁涛, 李先琨 (2010). 广西木论保护区喀斯特常绿落叶阔叶混交林优势种空间格局及其相关性. 应用生态学报 **21**, 2769–2776.

李俊清 (1986). 阔叶红松林中红松的分布格局及其动态. 东北林业大学学报 **14**, 33–38.

缪宁, 刘世荣, 史作民, 喻泓, 刘兴良 (2009). 川西亚高山红桦-岷江冷杉林优势种群的空间格局分析. 应用生态学报 **20**, 1263–1270.

刘小恺, 刘茂松, 黄峥, 徐驰, 张明娟, 王汉杰 (2009). 宁夏沙湖4种干旱区群落中主要植物种间关系的格局分析. 植物生态学报 **33**, 320–330.

刘振国, 李镇清 (2005). 植物群落中物种小尺度空间结构研究. 植物生态学报 **29**, 1020–1028.

苗艳明, 吕金枝, 毕润成, 闫桂琴 (2012). 翅果油树叶性特征的动态变化. 植物学报 **47**, 257–263.

牛丽丽, 余新晓, 岳永杰 (2008). 北京松山自然保护区天然油松林不同龄级立木的空间点格局. 应用生态学报 **19**, 1414–1418.

上官铁梁, 张峰 (2001). 我国特有珍稀植物翅果油树濒危原因分析. 生态学报 **21**, 502–505.

上官铁梁, 张峰, 毕润成 (1992). 山西翅果油树灌丛的生态地理分布和群落学特征. 植物生态学与地植物学学报 **16**, 283–291.

宋朝枢, 徐荣章, 张清华 (1989). 中国珍稀濒危保护植物(第2卷). 北京: 中国林业出版社. pp. 325–326.

汤孟平, 周国模, 施拥军, 陈永刚, 吴亚琪, 赵明水 (2006). 天目山常绿阔叶林优势种群及其空间分布格局. 植物生态学报 **30**, 743–752.

王磊, 孙启武, 郝朝运, 田胜尼, 张姗姗, 陈一锟, 张小平 (2012). 皖南山区南方红杉种群不同龄级立木的点格局分析. 应用生态学报 **21**, 272–278.

王祎玲, 张钦弟, 郝晓杰, 闫桂琴 (2012). 山西七里峪茶条槭的种群结构与空间分布格局. 西北植物学报 **32**, 1027–1035.

王志红, 张坤, 周维芝, 张峰, 上官铁梁 (2002). 山西翅果油树资源及可持续利用研究. 山西大学学报(自然科学版) **25**, 358–360.

武小钢, 郭晋平 (2009). 关帝山华北落叶松天然更新种群结构与空间格局研究. 武汉植物学研究 **27**, 165–170.

谢树莲, 凌元洁, 黄淑萍, 谢苏靖, 李绍清, 张菊莲 (1994). 翅果油树体内矿质元素的初步研究. 植物研究 **14**, 94–97.

谢宗强, 陈伟烈, 刘正宇, 江明喜, 黄汉东 (1999). 银杉种群的空间分布格局. 植物学报 **41**, 95–101.

- 许彦明, 张彦东, 孙海龙, 刘炜洋 (2014). 水曲柳天然林种群的点格局分析. 东北林业大学学报 **42**, 40–45.
- 闫海冰, 韩有志, 杨秀清, 王丽艳, 项小英 (2010). 华北山地典型天然次生林群落的树种空间分布格局及其关联性. 生态学报 **30**, 2311–2321.
- 杨洪晓, 张金屯, 吴波, 李晓松, 张友炎 (2006). 毛乌素沙地油蒿种群点格局分析. 植物生态学报 **30**, 563–570.
- 杨秀清, 韩有志 (2010). 关帝山次生杨桦林种群结构与立木的空间点格局. 西北植物学报 **30**, 1895–1901.
- 尤海舟, 刘兴良, 缪宁, 何飞, 马钦彦 (2010). 川滇高山栎种群不同海拔空间格局的尺度效应及个体间空间关联. 生态学报 **30**, 4004–4011.
- 于永福 (1999). 我国野生植物保护的里程碑. 植物 **5**, 1–11.
- 岳永杰, 余新晓, 武军, 朱建刚, 李维 (2008). 北京山区天然次生林种群空间分布的点格局分析——以雾灵山自然保护区为例. 中国水土保持科学 **6**, 59–64.
- 张峰, 韩书权, 上官铁梁 (2001). 翅果油树地理分布与生态环境关系分析. 山西大学学报(自然科学版) **24**, 86–88.
- 张峰, 上官铁梁 (1994). 翅果油树群落的数量分类. 生态学报 (增刊), 138–140.
- 张峰, 上官铁梁 (1996). 逐步聚类及其应用. 植物生态学报 **20**, 561–567.
- 张峰, 上官铁梁 (1999). 山西翅果油树群落的多样性研究. 植物生态学报 **23**, 471–474.
- 张峰, 上官铁梁 (2000a). 山西翅果油树种群间关系的数量分析. 植物生态学报 **24**, 351–355.
- 张峰, 上官铁梁 (2000b). 山西翅果油树群落优势种群分布格局研究. 植物生态学报 **24**, 590–594.
- 张峰, 上官铁梁, 李素珍 (1993). 关于灌木生物量建模方法的改进. 生态学杂志 **12**, 67–69.
- 张健, 郝占庆, 宋波, 叶吉, 李步杭, 姚晓琳 (2007). 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 **18**, 1681–1687.
- 张金屯 (1995). 植被数量生态学方法. 北京: 中国科学技术出版社.
- 张金屯, 孟东平 (2004). 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 **24**, 35–40.
- 张钦弟, 秦永燕, 安志鹏, 高瑞如, 闫桂琴 (2006). 濒危植物翅果油树种群传粉生物学研究. 西北植物学报 **26**, 1584–1587.
- 张直峰, 杨佳佳, 邵芬娟, 冯慧, 闫桂琴 (2010). 翅果油树叶片总黄酮两种提取工艺的比较研究. 山西大学学报(自然科学版) **24**, 88–91.
- Condit R, Ashton PS, Baker P, Bunyavejchewin S, Gunatilleke S, Gunatilleke N, Hubbell SP, Foster RB, Itoh A, LaFrankie JV, Lee HS, Losos E, Manokaran N, Sukumar R, Yamakura T (2000). Spatial patterns in the distribution of tropical tree species. *Science* **288**, 1414–1418.
- Dale MRT (1999). *Spatial Pattern Analysis in Plant Ecology*. Cambridge: Cambridge University Press. pp. 207–276.
- Frost I, Rydin H (2000). Spatial pattern and size distribution of the animal-dispersed *Quercus rubur* in two spruce-dominated forests. *Ecoscience* **7**, 38–44.
- Greig-Smith P (1983). *Quantitative Plant Ecology*. Oxford: Blackwell Scientific Publication. pp. 54–104.
- Harper KA, Bergeron Y, Drapeau P (2006). Changes in spatial pattern of trees and snags during structural development in *Picea mariana* boreal forests. *J Veg Sci* **17**, 625–636.
- Hou JH, Mi XC, Liu CR, Ma KP (2004). Spatial patterns and associations in a *Quercus-Betula* forest in northern China. *J Veg Sci* **15**, 407–414.
- Nathan R (2006). Long-distance dispersal of plants. *Science* **313**, 786–788.
- Riggle BD (1981). *Spatial Statistics*. New York: Wiley. pp. 10–200.
- Wiegand T, Gunatilleke S, Gunatilleke N (2007). Species associations in a heterogeneous Sri Lankan dipterocarp forest. *Am Nat* **170**, E77–E95.
- Wiegand T, Moloney KA (2004). Rings, circles, and null-models for point pattern analysis in ecology. *Oikos* **104**, 209–229.

Spatial Distribution Patterns and Association of Major Species in *Elaeagnus mollis* Communities

Qiang Xu, Jinzhi Lü, Yanming Miao*, Runcheng Bi*

Shanxi Normal University, Linfen 041000, China

Abstract *Elaeagnus mollis* was used as the object of study in the nature sanctuary of Yicheng County, Shanxi province, using O-ring statistics in point pattern analysis and Programita software. We studied the spatial distribution patterns and associations of *E. mollis*, *Vitex negundo* var. *heterophylla* and *Rosa xanthina*, the major species in *E. mollis* communities. Three populations showed significantly aggregated distributions at relatively smaller scales and random distributions at larger scales, and the degree of aggregation decreased with increasing spatial scales. Spatial associations among tree species were mainly found at smaller scales and gradually disappeared with increasing scales. *E. mollis* population size class I, II and III exist in significantly aggregated distribution at smaller scales; size class IV, V and VI in all scales showed random distributions. We found a positive correlation between *E. mollis* size class I, II and IV, and V and VI, whereas size class I and VI, and II and V exhibited a negative association at a given scale; adjacent size class presenting basic spatial associations was not significant.

Key words *Elaeagnus mollis*, spatial pattern, point pattern analysis, spatial association

Xu Q, Lü JZ, Miao YM, Bi RC (2016). Spatial distribution patterns and association of major species in *Elaeagnus mollis* communities. *Chin Bull Bot* **51**, 49–57.

* Authors for correspondence. E-mail: mym8207@126.com; sxrcbi@126.com