

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3142.2013.04.013

彭焱松, 张晓波, 桂忠明, 等. 庐山香果树毛竹混交林空间格局研究[J]. 广西植物 2013, 33(4): 502-507

Peng YS, Zhang XB, Gui ZM, et al. Spatial distribution pattern in *Emmenopterys henryi* and *Phyllostachys edulis* mixed forest in Lushan Mountain [J]. *Guihaia* 2013, 33(4): 502-507

庐山香果树毛竹混交林空间格局研究

彭焱松, 张晓波, 桂忠明, 杜娟, 周赛霞*

(江西省中国科学院庐山植物园, 江西 庐山 332999)

摘要: 为了解庐山毛竹入侵对香果树的影响, 采用 Ripley's $K(t)$ 函数分析香果树毛竹混交林群落空间分布格局和种间关联关系。结果表明: 香果树幼树在较小的尺度上呈聚集分布, 较大尺度上随机分布直至均匀分布; 香果树成年树在较小的尺度上呈随机分布, 较大尺度上聚集分布; 毛竹在所有的研究尺度上为显著聚集分布, 且随着尺度的增大, 聚集强度增加。毛竹与香果树幼树在较小的尺度上没有明显关联性, 在较大的尺度上呈显著负相关; 毛竹与香果树成年树在一系列尺度上均表现为显著负相关。根据空间关联性分析结果, 应从幼龄起对生长有香果树的森林群落进行必要的管理, 伐除毛竹及一些影响较大的其它乔木树种, 挖除地下竹鞭, 为香果树提供良好的生长环境, 进而恢复其种群的天然合理配置。否则, 香果树这一珍贵的植物资源在庐山将有灭绝的危险。

关键词: 毛竹入侵; 空间格局; 香果树; 庐山

中图分类号: Q948.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2013)04-0502-06

Spatial distribution pattern in *Emmenopterys henryi* and *Phyllostachys edulis* mixed forest in Lushan Mountain

PENG Yan-Song, ZHANG Xiao-Bo, GUI Zhong-Ming, DU Juan, ZHOU Sai-Xia*

(Lushan Botanical Garden, the Chinese Academy of Sciences, Lushan 332999, China)

Abstract: In order to understand the effects of *Phyllostachys edulis* expansion on *Emmenopterys henryi* in Lushan Mountain, a typical plot of 50 m×50 m was surveyed and Ripley's $K(t)$ function was applied to diagnose spatial patterns and spatial associations between species pairs. *Phyllostachys edulis* saplings showed aggregated distributions at relatively smaller scales and tended to be randomly or regularly distribution at larger scales. Adult *Emmenopterys henryi* showed random distribution at smaller scales and aggregated distribution at larger scales. The spatial pattern of *Phyllostachys edulis* was aggregated distribution at all scales, the aggregation degree increased with the scales. No significant correlation was observed between *Phyllostachys edulis* and *Emmenopterys henryi* saplings at smaller scales, but there was generally a significantly negative correlation between them on the larger scales. There was significantly negative correlation between adult *Emmenopterys henryi* and *Phyllostachys edulis* at all scales. Population patterns and spatial association depended on spatial scales, individual sizes and so did their inter-specific. Necessary management should be taken to the forest communities where *Emmenopterys henryi* grew. Harvesting bamboos including rhizome and some other larger trees would provide a good environment for *Emmenopterys henryi* and restore its nature and reasonable population configuration. Otherwise, *Emmenopterys henryi* as a rare

收稿日期: 2012-11-30 修回日期: 2013-02-12

基金项目: 国家科技支撑项目(2011BAC13B03); 江西省重大科技专项(20111BBB27001)

作者简介: 彭焱松(1975-) 男, 江西九江人, 硕士, 助理研究员, 研究方向为植物分类和植物生态学 (E-mail) yansongpen@sohu.com。

* 通讯作者: 周赛霞, 硕士, 助理研究员, 主要研究方向为植物保护和植被生态学 (E-mail) zhousaixia420@sohu.com。

and endangered species would be in danger of extinction in Lushan Mountain.

Key words: *Phyllostachys edulis* invasion; spatial distribution pattern; *Emmenopterys henryi*; Lushan Mountain

判定种群的空间分布类型和空间关联性是空间格局研究的两个主要内容。空间分布类型和空间关联性是种群生态关系在空间格局上的两种表现形式,且两者具有一致性(张金屯 2004; 杨洪晓等 2006)。植物种群空间分布有 3 种基本形式: 聚集分布、随机分布和均匀分布。种群的空间关联也有 3 种表现方式: 空间正关联、空间负关联和空间无关联。聚集分布和空间正关联体现了种群间或种群内相互有利的生态关系,均匀分布和空间负关联反映了相互排斥的生态关系,随机分布和空间无关联则意味着没有明确的生态关系(Brissson *et al.*, 1994; Kenkel, 1988)。种群空间格局决定了种群之间的竞争势及其空间生态位,在很大程度上决定了群落的稳定性、发展方向和经营管理方式。Ripley(1977)提出的点格局方法能很好地从多尺度上理解植物种群的分布格局。自 20 世纪 90 年代以来,我国学者陆续运用点格局分析法研究森林或草地物种的种群分布类型或空间关联性(刘振国等 2004; 张金屯等 2004)。

香果树(*Emmenopterys henryi*)为茜草科高大落叶乔木,我国特有单种属植物,第四纪冰川幸存古老孑遗植物之一。香果树自然条件下种子萌发力极低,天然更新能力差(熊丹等 2006),现存数量有限,濒于灭绝,被列为国家二级重点保护植物。庐山香果树主要分布在庐山山体西南面和南面的部分地段,单株或数株散生,数量很少,庐山黄龙寺前坦谷现存较多,形成与毛竹(*Phyllostachys edulis*)共优势的群落。自然生态系统中的竹种物种多样性丰富,空间结构复杂、稳定,然而在全球气候变化和人类活动影响下,很容易发生区域性竹种入侵,影响区域生态系统生物多样性(李伟成等 2006)。庐山毛竹林面积正在逐渐扩大,并蚕食着周围各类型植被,已在很大程度上破坏了庐山自然保护区的生物多样性及珍稀濒危物种的保护。本文对庐山香果树与毛竹混交林空间分布格局进行探讨,旨在阐明庐山最大的香果树群落种群格局、生存状况及未来发展趋势,进而为濒危植物香果树的种群恢复、科学保护提供理论依据。

1 研究地区概况

庐山位于江西省九江市,地处长江南岸,鄱阳湖

西畔,位于长江与鄱阳湖交汇处,是屹立于长江中下游大平原中心的一座独立的山体。庐山南北长约 28 km,东西宽约 16 km,地理坐标为 29°30′~29°41′N, 115°51′~116°07′E。庐山冬长夏短,春迟秋早,风大,降水及云雾多(刘信中等 2010)。庐山地形复杂,垂直高度差异显著,海拔 1 100 m 的庐山牯岭镇,年均温 11.9℃,极端最高温 32℃,极端最低温 -16.8℃,年平均降水 1 918 mm,雨日 168 d,相对湿度 78% 以上,云雾日 184 d,无霜期仅 135 d,年平均日照量 1 932.7 h,表现出独特的山地气候特点,孕育了极其丰富的植物资源。庐山黄龙寺前坦谷保留有成片的香果树林,是庐山现存最大的香果树群落。群落冠层为落叶阔叶树,次林层分布较多毛竹,下层灌木和草本覆盖度较高。土壤为山地黄棕壤,pH 值 4.5~5.5,土壤质地疏松,常呈潮湿状态,地表枯枝落叶层丰富,分解良好。目前,该区在发展庐山旅游过程中,通过引种生长快,绿化美化效果明显的毛竹,为当地创造了不少的观赏价值。但由于不受人为控制,毛竹通过其快速无性繁殖,迅速入侵香果树群落中,形成香果树毛竹混交林,香果树原生生态环境遭到很大的破坏。

2 研究方法

2.1 样地调查

数据采集点位于庐山黄龙寺前坦谷。2011 年 8 月,在黄龙寺前香果树比较集中地段设置大小为 50 m×50 m 的方形临时标准地,地理坐标为 29°32′0″N, 115°57′42.8″E,海拔 840 m,并对临时标准地采用相邻网格法进行调查,网格大小为 5 m×5 m。调查时对临时标准地内全部乔木个体(包括毛竹)及乔木幼树进行定位。乔木起测胸径为 5 cm,记为成年树,胸径 5 cm 以下记为幼树;同时记录每株植物物种名称、高度和盖度。香果树种群的更新苗包括有性繁殖的实生苗和无性繁殖的萌生苗两种形式,当萌生植株与原植株萌生部位在距基部 1.3 m 以上时,只记为一株,胸径测量部位仍为 1.3 m 处,坐标记录基部中心位置坐标;当萌生部位在 1.3 m 以下时,分别作为独立植株记录胸径和坐标。

2.2 分析方法

以样地调查数据为基础,利用统计软件 ADE4

对样地内主要树种分别进行种内和种间的点格局分析,讨论各树种空间分布的聚集度以及主要建群种间的竞争格局;处理数据时,林木个体坐标以每个样方网格左下角为原点的实测坐标进行全局化处理后得到。

通过调查数据,得到样地内各物种的相对位置坐标。通过单变量和双变量 Ripley K 函数进行空间点格局分析。Ripley 函数(Ripley,1977)是生态学研究描述空间格局最常用的方法。 $K(t)$ 和 $K_{12}(t)$ 分别用于描述空间分布类型和空间关联性。为了更直观地解释结果,一般将 $K(t)$ 和 $K_{12}(t)$ 进行线性化转换分别得到 $L(t)$ 和 $L_{12}(t)$ 。用 $L(t)-t$ 和 $L_{12}(t)-t$ 作图,能够判断研究对象的空间格局,或者两类点集的空间关系(Tirado *et al.* 2003)。空间分布类型和空间关联性计算方法及公式意义解释见文献 Salas *et al.* (2006)。本文步长设为 0.25 m。Monte-Carlo 模拟 200 次 95% 的置信区间,代表 0.05 水平的显著性。以 t 为自变量,以 $L(t)$ 和 $L_{12}(t)$ 作为因变量分别作图,判断群落内乔木、乔木幼树、毛竹空间格局以及空间关联性。如果在某一尺度处 $L(t)$ 值高于置信区间的上限,该物种在该尺度是聚集性分布;若在置信区间之间,是随机分布;低于置信区间的下限,则是均匀分布。 $L(t)$ 第一个峰值所对应的 t 值表示聚集的典型空间尺度,第一峰值的高度 $L(t)$ 值可以用来度量聚集分布强度。在双变量 $L_{12}(t)$ 分析中, $L_{12}(t)$ 值落在置信区间以上,类间显著正关联;若在置信区间以内,则符合类间相互独立;若在置信区间以下,则类间显著负关联。 $L_{12}(t)$ 的第一个峰值对应 t 值可以看作两者最大相关尺度(卢志军 2009)。

3 结果与分析

3.1 群落数量特征

经统计,样地内有胸径大于 5 cm 香果树 8 株,平均胸径 48.3 cm,胸径小于 5 cm 香果树幼树 70 株;毛竹 354 株,平均胸径 11.6 cm;伴生其它乔木树种 10 种 37 株,平均胸径 33.5 cm,乔木树种幼树 32 种 398 株。乔木树种主要有杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、枫香(*Liquidambar formosana*)、槲木樱(*Padus buergeriana*)等,乔木幼树主要是枫香、拐枣(*Hovenia acerba*)、黄丹木姜子(*Litsea elongata*)、鸡爪槭(*Acer palmatum*)和槲木樱等。乔木层中香果树

树体相对高大,枝繁叶茂,占有一定的优势,占据冠层;毛竹数量较多,但胸径、高度、冠幅相对较小,处于亚冠层。

3.2 空间分布类型分析

3.2.1 香果树空间分布类型分析 在 0~11.75 m 的尺度上,以某棵香果树成年树为中心,以 t 为半径的圆内观测到的香果树成年树观测数目与期望数目差异不显著($P>0.05$),香果树成年树符合随机分布。而在 11.75~25.00 的尺度上,观测数目显著高于符合随机分布的期望数目($P<0.05$)。在这个尺度范围内,香果树成年树为聚集分布,聚集强度波动变化(图 1)。由图 1 可知,在 0~18.75 m 的尺度上,香果树幼树呈聚集分布($P<0.05$),在 18.75~23.50 m 尺度上随机分布($P>0.05$),在 23.50~25.00 m 尺度上有均匀分布趋势($P<0.05$)。

3.2.2 毛竹空间分布类型 毛竹的分布格局在所有的研究尺度 0~25.00 m 上均为显著聚集分布($P<0.05$),且随着尺度的增大,聚集强度增加。

3.2.3 其它乔木树种分布类型 为了更好地了解香果树在群落中所处的地位和作用,对其它乔木树种也进行了分布格局研究。在较小的尺度内(0~1.50 m),乔木树种聚集分布($P<0.05$),在较大的尺度上(1.50~25.00 m),乔木树种随机分布($P>0.05$);乔木幼树在所有的尺度内(0~25.00 m)均为显著聚集分布($P<0.05$),且随研究尺度的增加,聚集强度没有明显变化。

3.3 空间关联性分析

3.3.1 毛竹与香果树的关联性 毛竹与香果树成年树在研究的一系列尺度上均表现为显著负相关($P<0.05$),毛竹与香果树幼树只在较小的尺度上(0~2.75 m)表现为无明显空间关联性($P>0.05$),在 2.75~25.00 m 一系列尺度上均表现出显著负关联性($P<0.05$)(图 2)。

3.2.2 毛竹与其它乔木树种关联性 毛竹与其它乔木树种成年树在所有尺度上正相关($P<0.05$),毛竹与其它乔木树种幼树表现出相似的空间关联性,仅在 0~1.00 m 尺度上相互独立($P>0.05$),其它尺度上正相关($P<0.05$)。

3.2.3 其它乔木树种与香果树空间关联性分析 乔木树种成年树与香果树成年树在较小的尺度上(0~1.75 m)表现为正相关($P<0.05$),1.75~12.25 m 尺度上无明显空间相关性($P>0.05$),大于 12.5 m 尺度上表现出负相关性($P<0.05$);乔木树种大树在

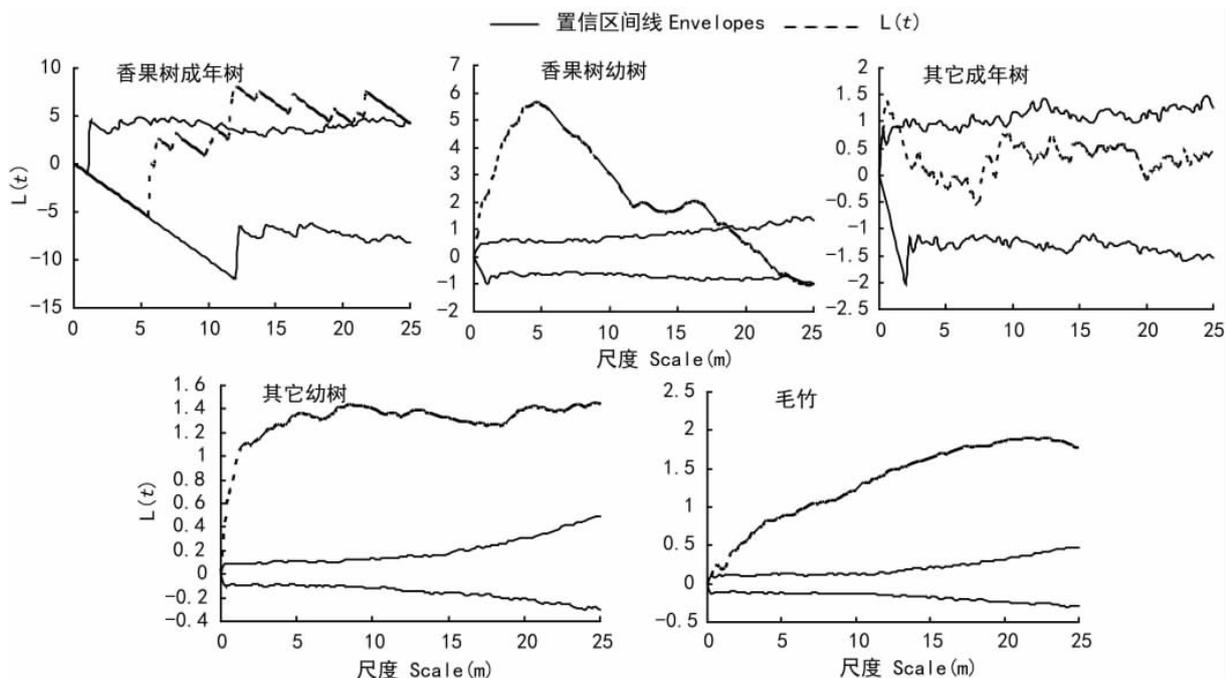


图 1 树种的空间分布格局

Fig. 1 Spatial distribution patterns of tree species in *Emmenopterys henryi* and *Phyllostachys edulis* mixed forest in Lushan Mountain

小于 7.75 m 尺度内与香果树幼树无明显相关性 ($P < 0.05$), 在大于该尺度时则表现出负相关性 ($P < 0.05$)。

其它乔木树种幼树与香果树成年树在 0 ~ 7.25 m 尺度上表现出相互独立性 ($P < 0.05$), 在较大尺度上 (7.25 ~ 25.00 m) 为显著负相关性 ($P < 0.05$); 乔木树种幼树与香果树幼树在 0 ~ 6 m 尺度上正相关 ($P < 0.05$), 6.00 ~ 9.00 m 相互独立 ($P > 0.05$), 9.00 ~ 25.00 m 显著负相关 ($P < 0.05$)。

3.2.4 香果树空间关联性 香果树成年树与幼树在 0 ~ 25.00 m 所有研究尺度上均表现出无明显关联性 ($P > 0.05$)。

3.2.5 毛竹与其它乔木树种关联性 毛竹对其它乔木树种幼树在 0 ~ 1.00 m 尺度上, 表现为无明显关联性 ($P > 0.05$); 在研究的其它尺度上, 则表现为显著正相关 ($P < 0.05$)。毛竹与其它树种成年树在全部 0 ~ 25.00 m 尺度上为明显正相关 ($P < 0.05$)。

4 讨论

4.1 香果树的空间格局

香果树幼树在较小的尺度上聚集分布, 较大尺

度上随机分布直至均匀分布; 而香果树成年树在较小的尺度上随机分布, 较大尺度上聚集分布, 与康华靖 (2007) 得出的结论基本一致, 由于本文取样尺度更大, 更能阐明在较大尺度上的分布格局。一般来说, 决定种群分布格局的原因有多方面, 比如环境条件、物种的生物学特性、种内、种间竞争等 (Condit *et al.* 2000); 物种在较低的林层呈明显的聚集分布, 而在较高的林层则呈随机或者均匀分布 (Condit *et al.* 2000; 张健等 2007)。香果树幼树主要呈聚集分布, 其分布格局主要是由它本身的生物学特性所决定的。香果树繁殖方式有 2 种, 一是种子萌发实生苗长成的植株, 二是由根系或树桩萌孽形成的植株。香果树萌生能力较强, 通常几株幼树萌生在同一倒木上或大树的根际处, 同时, 香果树喜生长在沟谷溪流两侧和阳光充足的疏林地, 造成香果树实生苗的聚集分布, 这些均导致香果树在幼树阶段空间分布聚集程度较高。当聚集程度增大时, 种内竞争加剧, 相互间争夺光、水分和养分等资源, 个体间趋向于分散, 导致香果树幼树在较大尺度随机分布的格局。处于冠层的香果树成年树, 在较小的尺度上, 可能是因为在自然状态下, 竞争机会均等, 通过长时间的演替, 个体趋向于随机分布; 从较大尺度来看,

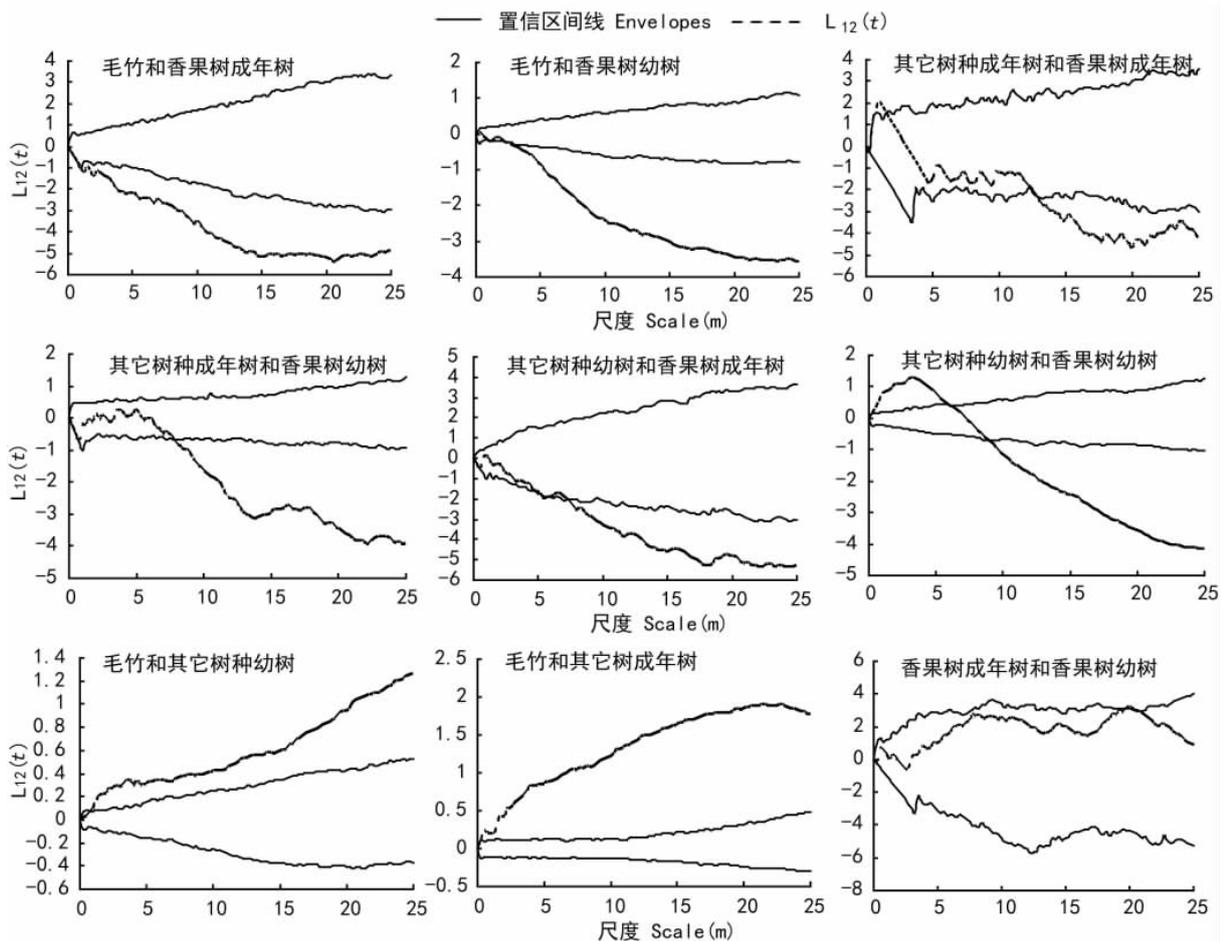


图2 树种的空间关联性

Fig. 2 Spatial associations of tree species in *Emmenopterys henryi* and *Phyllostachys edulis* mixed forest in Lushan Mountain

香果树因其自身的生物学特性决定其生长在适合的生境,本样地中香果树在沟谷两侧分布较多,呈现出聚集分布状态。

4.2 毛竹与香果树关联性分析

毛竹与香果树幼树在较小的尺度上没有明显相关性,可能源于香果树忌强光直射,又需要一定阳光的生物学特性,毛竹的冠幅与 2.75 m 的尺度非常接近,毛竹枝叶稀疏,透光性强,且根系多数分布在土壤浅层(郑成洋等,2003),推测毛竹对香果树幼树的生长在目前状态下,在小尺度范围内未造成大的影响。毛竹与香果树成年树和幼树大部分尺度之间表现出强烈的负相关关系,作为该样地主要的竞争种,这种相互排斥的空间分布可能是由两者的生物学特性决定的。毛竹通过地下竹鞭进行无性繁殖,其地下根状茎的生长能力和繁殖能力极强,每年从土壤中吸收大量养分,而毛竹凋落物少,养分归还速度慢,易引起地力衰退,形成板结、不透水、不透气的

状况(吴家森等,2008;王微等,2006),对香果树的生长造成不利影响。香果树成年树树体高大,枝繁叶茂,处于冠层,毛竹相对较矮,居于次林层,两者之间发生重叠现象,产生对营养空间的竞争。

4.3 其它树种与香果树关联性分析

除香果树之外的乔木树种在小尺度上对香果树幼树和成年树无明显胁迫,关系松散。可能是由于群落在长期的演替过程中,生态学特性的差异、种内种间的竞争,各物种都占据有利于自己的位置,群落组成成分逐渐趋于稳定,和谐共处,相互竞争大为减弱。样地中香果树多分布于雨水冲积沟两侧,其它树种对环境要求不严,在样地中分布具有随机性,各自占据适宜的生态条件,彼此相互独立分享生境资源所致。在较大尺度上,其它乔木树种成年树与香果树成年树及香果树幼树均为负相关,笔者推测可能由于毛竹的介入,对样地环境造成相当大的影响,在土壤、光照和水分等的资源利用方面引起了相

对较大的竞争,由此推断林木群体正处于相互激烈影响时期,强者生长迅速,弱者生长将明显受抑,林分结构将发生很大变化。

4.4 毛竹与其它乔木树种关联性分析

点格局的空间关联分析结果是种群空间关系的表象,正负关联特征可能是物种间相互作用结果,也可能是物种生境趋同或趋异的表现(王伯荪等,1989)。其它乔木树种成年树或幼树与毛竹在所有研究尺度上都为正相关,表明两类林木具有相似的生态位,毛竹对其它乔木树种的生长和更新不存在明显的空间竞争,两者可以生长在相同的环境中。

5 结论

Ripley 函数只考虑个体空间位置,对于林木胸径、树冠面积、高度等指标未作分析,虽然物种的空间格局及其关联性的分析提供了许多关于其潜在的生态学过程的信息,但仅靠物种空间格局的分析不能对很多问题给予合理的回答,因为不同的过程可产生相同的格局,而相同的格局也许是几个生态学过程的共同作用。毛竹作为特殊林种,通过地下竹鞭进行快速无性繁殖,利用空间尺度表示的点格局是否能较好地衡量毛竹香果树混交林中毛竹对香果树和其它乔木树种的实际影响,有待进一步讨论。根据空间关联性分析及香果树更新较困难的现状,应从幼龄起对生长有香果树的森林群落进行必要的抚育管理,伐除毛竹及挖除地下竹鞭,间伐一些影响较大的其它乔木树种,为香果树提供良好的生长环境,进而恢复其天然种群的合理配置。否则,随着毛竹不断扩鞭繁殖,其它乔木树种更激烈的竞争,香果树这一珍贵植物资源在庐山将有濒临灭绝的危险。

参考文献:

王伯荪,李鸣光,彭少麟. 1989. 植物种群学[M]. 广州: 中山大学出版社: 115-120
 刘信中,王琅等. 2010. 江西省庐山自然保护区生物多样性考察与研究[M]. 北京: 科学出版社: 3-5
 张金屯. 2004. 数量生态学[M]. 北京: 科学出版社: 243-297
 Brisson J, Reynolds JF. 1994. The effects of neighbors on root distribution a creosotebush (*Larrea tridentata*) population [J]. *Ecology*, **75**: 1 693-1 702
 Condit R, Ashton PS, Baker P *et al.* 2000. Spatial patterns in the distribution of tropical tree species [J]. *Science*, **288**: 1 414-1 418
 Kang HJ(康华靖), Chen ZL(陈子林), Liu P(刘鹏) *et al.* 2007. The population structure and distribution pattern of *Emmenopterys*

henryi in Dapanshan Natural Reserve of Zhejiang Province(大盘山自然保护区香果树种群结构与分布格局) [J]. *Acta Ecol Sin* (生态学报), **27**(1): 389-396
 Kenkel NC. 1988. Pattern of self-thinning in Jack pine: testing the random mortality hypothesis [J]. *Ecology*, **69**: 1 017-1 024
 Li WC(李伟成), Sheng HY(盛海燕), Zhong ZK(钟哲科). 2006. Importance of long-term location investigation for bamboo ecosystem(竹林生态系统及其长期定位观测研究的重要性) [J]. *Sci Silv Sin*(林业科学), **42**(8): 95-101
 Liu ZG(刘振国), Li ZQ(李镇清). 2004. Fine-scale spatial pattern of *Artemisia frigida* population under different grazing intensities(不同放牧强度下冷蒿种群小尺度空间格局) [J]. *Acta Ecol Sin*(生态学报), **24**(2): 227-234
 Lu ZJ(卢志军), Wang W(王巍), Zhang WH(张文辉) *et al.* 2009. Spatial-temporal patterns of *Bashania fargesii* bamboo shoot emergence and giant panda herbivory(巴山木竹发笋和大熊猫取食的时空格局及相关性分析) [J]. *Biodiv Sci*(生物多样性), **17**(1): 1-9
 Ripley BD. 1977. Modeling spatial patterns [J]. *Appl Stat-J Roy Stat Soc (Series B)*, **39**: 172-212
 Salas C, LeMay V, Núñez P, *et al.* 2006. Spatial patterns in an old-growth *Nothofagus obliqua* forest in south-central Chile [J]. *For Ecol Manag*, **231**: 38-46
 Tirado R, Pugnaire FI. 2003. Shrub spatial aggregation and consequences for reproductive success [J]. *Oecologia*, **136**: 296-301
 Wang W(王微), Tao JP(陶建平), Song LX(宋利霞) *et al.* 2006. Advances on the researches of bamboo population ecology (竹类植物种群生态学研究进展与展望) [J]. *Guihaia*(广西植物), **26**(4): 412-417
 Wu JS(吴家森), Jiang PK(姜培坤), Wang ZL(王祖良). 2008. The effects of *Phyllostachys pubescens* expansion on soil fertility in national nature reserve of Mount Tianmu(天目山自然保护区毛竹扩张对林地土壤肥力的影响) [J]. *Acta Agric Univ Jiangxi*(江西农业大学学报), **30**(4): 689-692
 Xiong D(熊丹), Cheng FJ(陈发菊), Li XP(李雪萍) *et al.* 2006. Genetic diversity of endangered emmenopterys in Shennongjia region of Hubei province(神农架地区濒危植物香果树的遗传多样性研究) [J]. *Acta Bor-Occ Sin*(西北植物学报), **26**(6): 1 272-1 276
 Yang HX(杨洪晓), Zhang JT(张金屯), Wu B(吴波) *et al.* 2006. Point pattern analysis of *Artemisia ordosica* population in the Mu Us sandy land(毛乌素沙地油蒿种群点格局分析) [J]. *Acta Phytoecol Sin*(植物生态学报), **30**(4): 563-570
 Zhang J(张健), Hao ZQ(郝占庆), Song B(宋波) *et al.* 2007. Spatial distribution patterns and associations of *Pinus koraiensis* and *Tilia amurensis* in broad-leaved Korean pine mixed forest in Changbai Mountains(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]. *Chin J Appl Ecol*(应用生态学报), **18**(8): 1 681-1 687
 Zhang JT(张金屯), Meng DP(孟东平). 2004. Spatial pattern analysis of individuals in different age-classes of *Larix principis-rupprechtii* in Luya mountain reserve, Shanxi, China(芦芽山华北落叶松林不同龄级立木的点格局分析) [J]. *Acta Ecol Sin*(生态学报), **24**(1): 35-40
 Zheng CY(郑成洋), He JY(何建源), Luo CM(罗春茂) *et al.* 2003. Changes of species diversity at different cultivation intensities of bamboo (*Phyllostachys pubescens*) forest(不同经营强度条件下毛竹林植物多样性的变化) [J]. *Chin J Ecol*(生态学杂志), **22**(6): 1-6