

湘鄂皖连香树种群的年龄结构和点格局分析

李文良^{1,2}, 张小平^{1,2,*}, 郝朝运^{1,2}, 吴建勋^{1,2}, 王磊^{1,2}, 王静^{1,2}, 张姗姗^{1,2},
程东升³, 黄海明³

(1. 安徽师范大学生物环境与生态安全安徽省高校重点实验室,安徽芜湖 241000;

2. 安徽师范大学安徽省重要生物资源保护与利用研究重点实验室,安徽芜湖 241000;

3. 安徽省池州市贵池区林业局野保站,安徽池州 247100)

摘要:连香树(*Cercidiphyllum japonicum* Sieb. et Zucc.)为国家二级保护植物,种群数量与规模已非常有限。在全面踏查湖北后河、湖南壶瓶山、湖北木林子和安徽老山共4个连香树分布地的基础上,对选定区域内的连香树进行每木调查,记录株高、胸径等指标,采用高度级和径级代替年龄的方法分析种群年龄结构;对全部连香树植株进行定位,并绘制分布点图,利用Programita软件对各种群进行点格局分析。结果表明,4个种群中,后河种群的年龄结构连续且呈明显的纺锤型,种群处于衰退之中,而其它3个种群无完整的年龄结构,已完全衰退。后河种群在16m以下尺度呈随机分布,16m以上各尺度下均为集群分布。其它种群在个别尺度下呈集群分布,绝大多数尺度下呈随机分布。分析认为,生境异质性是导致后河种群在大尺度上呈集群分布的主要原因,而环境条件相似、种子均匀散布等原因造就了后河种群在小尺度上的随机分布。其它3个种群衰退程度加剧,使得连香树由集群分布向随机分布过度,其成因可能是萌发对于环境要求的极端苛刻、有限的林窗、种间竞争以及生境条件的恶化等。最后对连香树的保护工作提出建议。

关键词:连香树(*C. japonicum*) ; Programita 软件; 点格局分析; 种群结构

文章编号:1000-0933(2009)06-3221-10 中图分类号:Q145, Q948.1 文献标识码:A

Age structure and point pattern analysis of four *Cercidiphyllum japonicum* populations in three provinces of Hunan, Hubei and Anhui

LI Wen-Liang^{1,2}, ZHANG Xiao-Ping^{1,2,*}, HAO Chao-Yun^{1,2}, WU Jian-Xun^{1,2}, WANG Lei^{1,2}, WANG Jing^{1,2},
ZHANG Shan-Shan^{1,2}, CHENG Dong-Sheng³, HUANG Hai-Ming³

1 Key Laboratory of Conservation and Employment of Biological Resources of Anhui, Anhui Normal University, Wuhu 241000, China

2 Key Laboratory of Biotic Environment and Ecological Safety of College in Anhui Province, Anhui Normal University, Wuhu 241000, China

3 Guichi District, Chizhou Forestry Bureau, Chizhou 247100, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(6): 3221 ~ 3230.

Abstract: *Cercidiphyllum japonicum* Sieb. et Zucc. was listed as one of national protected plants at second category in Chinese Plant Red Book because of its population in extremely low quantity and small size. In the four selected populations from the geographic distribution areas occupied by the species of Houhe, Hubei; Hupingshan, Hunan; Mulinzi, Hubei and Laoshan, Anhui, each individual tree of *C. japonicum* was surveyed to get the data such as height and diameter at breast height. The age structure of every population was clarified by height class and diameter class instead of age class, and then the point maps were drawn based on the orientation data obtained from location instruments. Finally, the point pattern analysis was performed using Programita software. The results showed that the age structure of Houhe population presented

基金项目:安徽省教育厅自然科学研究重点项目(KJ2007A092);安徽省自然科学基金资助项目(050430501);国家教育部高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20060370001)

收稿日期:2008-09-05; **修订日期:**2008-12-18

致谢:野外调查过程中承蒙各保护区所在地林业部门、各保护区管理局、曾祥作、王永超、刘国安等的协助与支持;感谢德国 Buenos Aires 大学的 Thorsten Wiegand 教授提供软件和指导。

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: pinghengxu@sina.com.cn

the type of obviously uninterrupted spindle, which has meant a tendency of the population toward declining, whereas the other three populations didn't show uninterrupted age structures, indicating that they had declined. The Houhe population has the spatial distribution pattern of randomly distributing at scales < 16m, but of clumped at scales > 16m, while the other three populations tended to be randomly distributed at most of scales < 100m. The analysis demonstrated that heterogeneous habitat in Houhe population might possibly result in formation of clumped distribution at bigger scales, while the similar environment and random seed dispersal could be responsible for random distribution at smaller scales. The reasons for decline and random distribution of the other three populations was due mainly to rigorous germination condition the species requires, few gap appearance, interspecific competition, habitat deterioration and so on. Some suggestions were also made for conservation of the species *C. japonicum*.

Key Words: *Cercidiphyllum japonicum*; Programita software; point pattern analysis; population structure

连香树(*Cercidiphyllum japonicum* Sieb. et Zucc.)，又名五君树、山白果、子母树、云义树、紫荆叶木^[1~3]，系连香树科(Cercidiphyllaceae)连香树属(*Cercidiphyllum* Sieb. Et Zucc.)落叶大乔木，第三纪孑遗植物之一，被列为国家二级保护植物^[4]。连香树不仅在园林、林业、化工、食品、医药等方面具有较高的经济价值，而且对于研究第三纪植物区系起源以及中国与日本植物区系关系等具有很高的科研价值^[4~7]。该种目前零星分布于我国的皖、湘、鄂、川、豫、晋、陕、甘、赣、浙等省以及日本的本州、九州、四国，其多生于海拔600~2000m的沟谷两侧，种群数量与规模已非常有限，甚至呈单株生长^[4]。目前国内对于连香树的研究工作涉及系统分类^[8~11]、化学成分^[12~17]、育苗技术^[18,19]、DNA提取^[20]、单株萌生枝的年龄结构与动态^[21]、幼苗生长的影响因素^[22]、叶片内生菌^[23]等多个方面，但对其种群结构和分布格局方面的研究尚未见报道。

种群的年龄结构和分布格局都是植物本身生物学特性与环境因素相互作用的结果^[24]，二者不仅可以反映濒危物种的现实状况，更能反映种群演变的历史与未来的发展趋势，所以研究现有连香树种群的年龄结构和分布格局，对于连香树的保护、增殖与利用具有十分重要的现实意义。本文采用新颖的野外调查方法对湘鄂皖三省共4个连香树种群进行详细调查，并对其种群结构与格局进行研究，以期解决以下问题：(1)连香树种群植株数量稀少，其种群结构是否依然完整，其未来命运如何？(2)连香树种群分布格局与其生存现状的相互关系如何，什么是导致目前分布格局的主要原因？(3)如何对残留的连香树种群进行有效保护？

1 研究地区概况和研究方法

1.1 研究地区概况

本研究涉及的连香树种群分别位于湖北后河(HH)、湖南壶瓶山(HPS)、湖北木林子(MLZ)以及安徽老山(LS)4个自然保护区(图1、表1)内。前3处保护区同属武陵山脉，且均处于北纬30°线上，具有以下共同

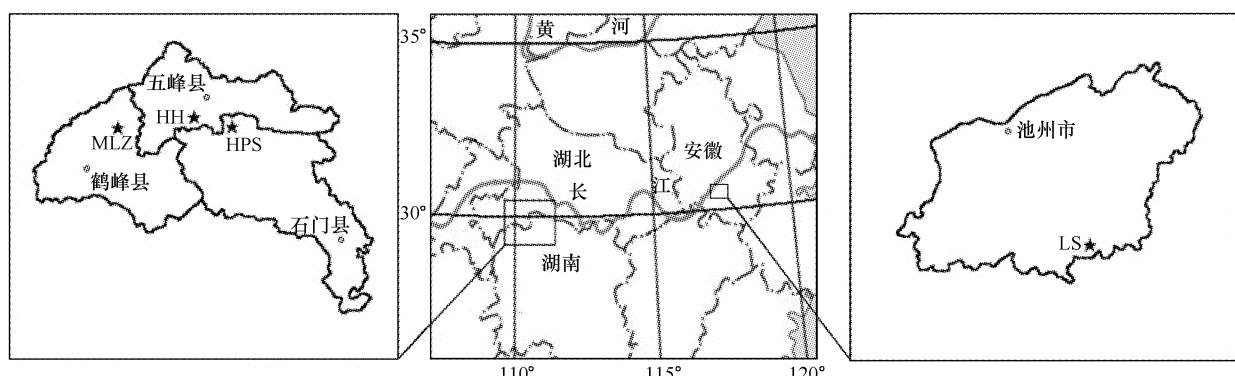


图1 4个连香树天然种群的地理位置示意图

Fig. 1 The location of four populations of *Cercidiphyllum japonicum*

特点:地势高且地形复杂,喀斯特地貌明显,夏季温热多雨,冬季干寒不长,全年雨量充沛无旱期,温暖湿润的山地小气候和复杂多样的小生境造就了极其丰富的原始森林资源,植被类型垂直带谱明显,秦岭大巴山的屏障作用使3处受第四纪冰川运动的影响小,成为孑遗植物天然的“避难所”以及第三纪植物区系重要的保存地,是我国十分重要的生物多样性关键地区和生物基因库。安徽老山保护区也处于北纬30°线附近,但海拔较低,具有典型的亚热带植物群落类型。在各保护区内,连香树多与其它乔木树种构成混交林,表2列出了各分布地内主要的连香树伴生种。

表1 4处保护区概况^[25,26]

Table 1 The characteristics of four reserves

保护区名称 Reserve	后河国家级自然保护区 Houhe National Nature Reserve (HH)	壶瓶山国家级自然保护区 Hupingshan National Nature Reserve (HPS)	木林子省级自然保护区 Mulinzi Provincial Nature Reserve (MLZ)	老山省级自然保护区 Laoshan Provincial Nature Reserve (LS)
所在地 Locus	湖北省五峰土家族自治县 Wufeng Tujia autonomous county of Hubei Province	湖南省石门县 Shimen county of Hunan Province	湖北省鹤峰县 Hefeng county of Hubei Province	安徽省池州市贵池区 Guichi district, Chizhou city of Anhui Province
地理坐标 Geographic coordinate	110°29' ~ 110°40'E 30°02' ~ 30°08'N	110°29' ~ 110°59'E 29°28' ~ 30°09'N	109°59' ~ 110°17'E 29°55' ~ 30°10'N	117°39' ~ 117°48'E 30°19' ~ 30°27'N
总面积 Area(hm ²)	10340	66568	20838	16909
最高峰海拔 Peak elevation(m)	2252.2	2098.7	2098.1	1156
年平均气温 Average annual Temperature(°C)	11.5	13.1	15.0	16.0
年平均降水量 Average annual rainfall (mm)	1814	1733	1 700 ~ 1 900	1700
年平均蒸发量 Average annual evaporation (mm)	1100	—	—	1447
年平均日照 Average annual sunshine hours(h)	1533.2	—	—	1900.7
无霜期 Frost-free Period(d)	211	—	265	215
维管束植物 Vascular plants	193科 817属 2087种 193 families, 817 genera, 2087 species	228科 1026属 2836种 228 families, 1026 genera, 2836 species	211科 932属 2642种 211 families, 932 genera, 2642 species	136科 676属 1557种 136 families, 676 genera, 1557 species
国家重点保护植物种数 Number of key national protection of plants	29	34	30	10

— 无气象记录 Means no meteorological record

1.2 野外调查

鉴于天然种群内连香树植株数量少、间距较大的实际情况,在对个别典型样地进行样方调查的基础上,本研究采用全面踏查的方式,对各保护区不同面积区域(图4)内的全部连香树进行逐一调查,记录其高度,胸径,冠幅,第一枝下高等指标,当树桩上生有多个分株时,仅记录其中最大的一株;此外,详细记录分布地内其它伴生种、岩石裸露度、海拔高度、坡度、坡向等生境指标。同时利用GPS、森林罗盘仪和超声波测距仪等仪器,对植株进行定位,方法是:用GPS对各分布地发现的第一株连香树进行定位(GPS偏差≤15m时读数,下同),以后发现的植株,当与前一植株间距小于50m时,利用森林罗盘仪和超声波测距仪,确定其相对于前一

株的方位角、高度角和距离,从而确定其相对位置;当间距大于50m时,利用GPS重新定位。

表2 各连香树分布地主要伴生种

Table 2 The main companion species of *Cercidiphyllum japonicum* in four habitats

伴生种 Companion species		
乔木层 Tree layer	灌木层 Shrub layer	草本层 Herb layer
后河 (HH)	珙桐 <i>Davidia involucrata</i>	薄叶鼠李 <i>Rhamnus leptophylla</i>
	鸡爪槭 <i>Acer palmatum</i>	胡颓子 <i>Elaeagnus pungens</i>
	鹅耳枥 <i>Carpinus turczaninowii</i>	山楠 <i>Phoebe chinensis</i>
	天师栗 <i>Aesculus wilsonii</i>	瓜木 <i>Alangium platanifolium</i>
	君迁子 <i>Diospyros lotus</i>	红楠 <i>Machilus thunbergii</i>
	青钱柳 <i>Cyclocarya paliurus</i>	柃木 <i>Eurya japonica</i>
壶瓶山 (HPS)	水青树 <i>Tetracentron sinense</i>	箬竹 <i>Indocalamus latifolius</i>
	天师栗 <i>Aesculus wilsonii</i>	长柄绣球 <i>Hydrangea longipes</i>
木林子 (MLZ)	珙桐 <i>Davidia involucrata</i>	常春藤 <i>Hedera nepalensis</i>
	银鹊树 <i>Tapiscia sinensis</i>	细辛 <i>Asarum sieboldii</i>
	白辛树 <i>Pterostyrax psilophylla</i>	庐山楼梯草 <i>Elatostema stewardii</i>
	水青树 <i>Tetracentron sinense</i>	蛇根草 <i>Ophiorrhiza japonica</i>
	多脉青冈 <i>Cyclobalanopsis multinervis</i>	野大豆 <i>Glycine soja</i>
	鸡爪槭 <i>Acer palmatum</i>	牛膝 <i>Achyranthes bidentata</i>
老山 (LS)	银鹊树 <i>Tapiscia sinensis</i>	半蒴苣苔 <i>Hemiboea henryi</i>
	香果树 <i>Emmenopterys henryi</i>	变豆菜 <i>Sanicula chinensis</i>
	紫楠 <i>Pheobe sheareri</i>	庐山楼梯草 <i>Elatostema stewardii</i>
	枫杨 <i>Pterocarya stenoptera</i>	玉竹 <i>Polygonatum odoratum</i>
		箬竹 <i>Indocalamus latifolius</i>
		常春藤 <i>Hedera nepalensis</i>
		细辛 <i>Asarum sieboldii</i>
		庐山楼梯草 <i>Elatostema stewardii</i>
		蛇根草 <i>Ophiorrhiza japonica</i>
		动蕊花 <i>Kinostemon ornatum</i>
		变豆菜 <i>Sanicula chinensis</i>
		络石 <i>Trachelospermum jasminoides</i>
		悬铃叶苎麻 <i>Boehmeria tricuspid</i>

1.3 高度级和径级结构

年轮是木本植物年龄的直接标志,然而出于对珍稀濒危植物的保护,本研究采用空间代替时间的方法,即胸径和高度代替年龄进行种群结构分析^[27,28]。结合前人研究方法和连香树生活史特性,将连香树胸径分为I~XII共12个径级,I级胸径≤4cm,之后每级级距设为10cm,即4~14cm为第Ⅱ级、14~24cm为第Ⅲ级……,最后,胸径大于104cm的统一记为XII级。

首先进行高度和胸径相关性的回归分析,验证以高度代替年龄进行种群结构分析的可靠性。再将连香树高度分为a~k共11级,满足a≤1.5m< b≤3m< c≤6m< d≤9m< e≤12m< f≤15m< g≤18m< h≤21m< i≤24m< j≤27m< k。

1.4 点格局分析

整理植株定位数据,并结合植株胸径数据,利用Google earth和Photoshop软件绘制各连香树种群的个体点分布图,由图上坐标重新确定各点的实际坐标值,采用点格局分析法^[29~31]进行种群分布格局分析。其原理不再赘述,涉及的计算公式如下:

$$\hat{K}(t) = \frac{A}{n^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{1}{W_{ij}} I_t(u_{ij}) \quad (i \neq j) \quad (1)$$

$$\hat{L}(t) = \sqrt{\frac{\hat{K}(t)}{\pi}} - t \quad (2)$$

式中,A为样地面积;n为样地内连香树个体数;u_{ij}为两植株i和j的间距;当u_{ij}≤t时,I_t(u_{ij})为1,反之为0;W_{ij}为以点i为圆心,以u_{ij}为半径的圆落在A中的比例。所有种群的空间尺度统一采用0~100m,100次Monte Carlo模拟得到99%的置信区间。若 $\hat{L}(t)$ 值在上下包迹线以内,则在相应尺度下种群为随机分布;而若在包迹线以上,则符合集群分布;若在包迹线以下,则为均匀分布。点格局分析过程使用生态学软件

Programita(Wiegand, 2008 版)完成^[32]。

2 结果与分析

2.1 种群结构

2.1.1 种群径级结构

连香树胸径可以代替实际年龄间接地表现种群的年龄结构^[21,33,34]。如图 2 所示,虽然后河种群仅有连香树 24 株,但径级结构连续,小于 IX 级的各径级均有植株分布,却无 IX 级及以上各级大树,所以较之其它种群,其应该是一个相对年轻的种群;后河种群径级结构呈显著的纺锤形,峰值出现在第 IV 径级,表示种群已经处于衰退之中。其它 3 个种群植株数量更少,径级结构均有不同程度的中断,呈现多个峰值。如木林子种群,虽然最大和最小径级上均有植株分布,但只在 I、IV ~ VI、VII ~ XII 共 7 个径级有 1 ~ 3 株不等的植株分布,缺失其它径级的植株;又如老山种群,植株集中于 VII 级以下,但缺失 I 级和 IV 级植株,两个明显的峰值出现在 II 级和 VI 级。另外由图可见,后河和木林子两个种群各有一株 I 级小树(胸径分别为 1cm 和 1.5cm),这表明两个种群近年曾经通过种子萌发的方式成功地进行过繁殖,种群仍具有微小的自我更新能力。

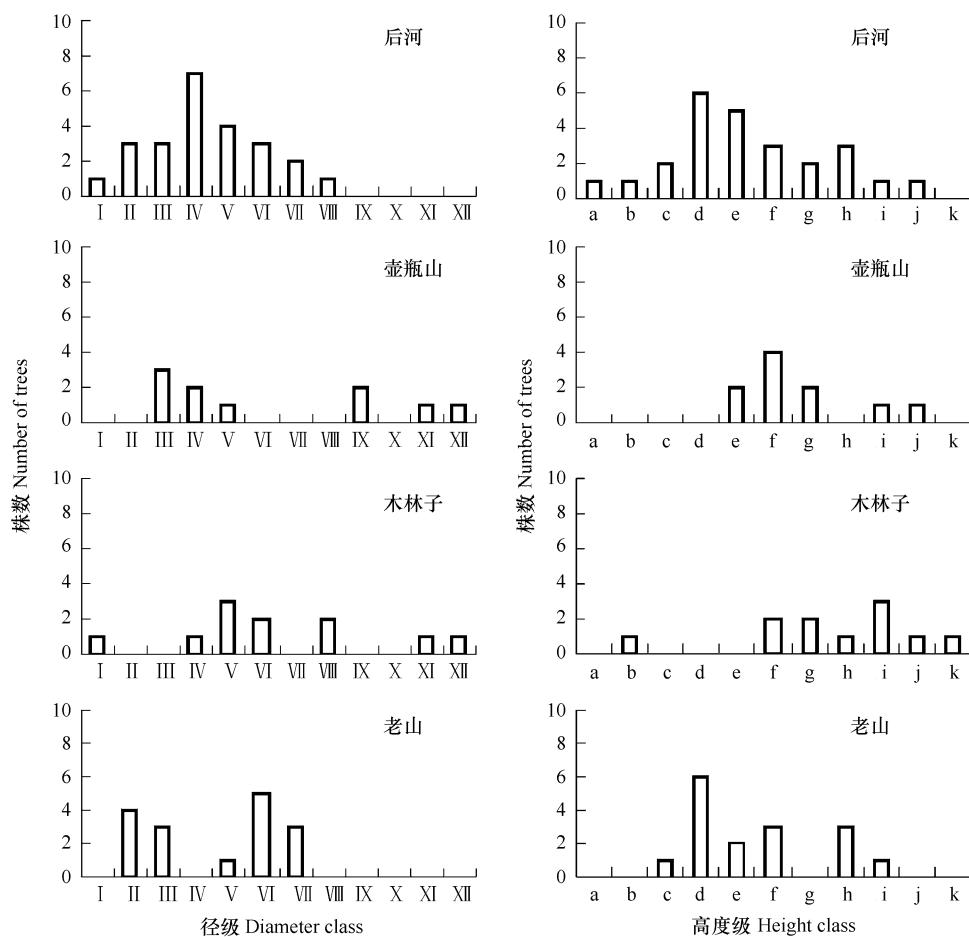


图 2 各分布地内连香树的径级、高度级数量分布图

Fig. 2 The individual number distribution in different *Cercidiphyllum japonicum* habitat

2.1.2 种群高度级结构

胸径代替年龄描述种群结构的方法应用广泛,可靠性毋庸置疑,以往也多有用高度级代替年龄的种群结构研究^[27,35,36],而连香树树龄较长且生境复杂,其高度级结构能否较为准确地描述种群结构呢?本研究通过对胸径与树高相关性的回归分析加以验证:图 3 表示 3 种可能的曲线模型,3 种模型相关系数 R 分别为 0.571, 0.580, 0.734, 且均显示二者相关性极显著($P < 0.001$)。但鉴于幂函数方程 $Y = 1.799X^{0.575}$ 符合胸径为

0时树高也为0,而胸径无限增大时树高不再生长的一般常识,推测其是最合理的胸径与树高关系方程,表明连香树树高与胸径存在极显著的曲线相关性,树高同样可以从一个侧面,代替年龄进行连香树种群结构分析。

由图2可见,后河种群高度级结构最为完整,除无最大的k级植株外,其它高度级均有植株分布,高度级结构呈纺锤形,同样证明种群处于衰退阶段。其它3个种群高度级结构均有不同程度的中断,呈现多个峰值。如木林子种群,在b和f~k共7个高度级有植株分布,却缺少a和c~e4个高度级的植株。又如老山种群,植株集中于c~i级之间,但其中缺失g级植株,两个明显的峰值出现在d级和h级。

2.2 不同种群的分布格局

图4为4个保护区不同面积样地内的连香树分布点图。由于连香树分布面积大、密度小,要想在大尺度上全面了解整个种群的分布格局,样方调查并不适用。所以本研究首先对分布地进行全面踏查,了解连香树的分布范围,然后对这些分布地附近的区域(大于图4所示矩形区域)进行细致调查:不仅要确定连香树的存在,即图上“点”的存在,更重要的是确定连香树的不存在,即图上空白部分确实无“点”存在。回到实验室后,将定位数据进行整理和转化,做出植株分布点图,然后重新确定一个小于调查范围的矩形,标出各植株在此矩形中的坐标,以此进行点格局分析。此调查方法虽然工作量大,但对于类似的珍稀濒危植物的分布格局研究,则较之样方法更为可靠。

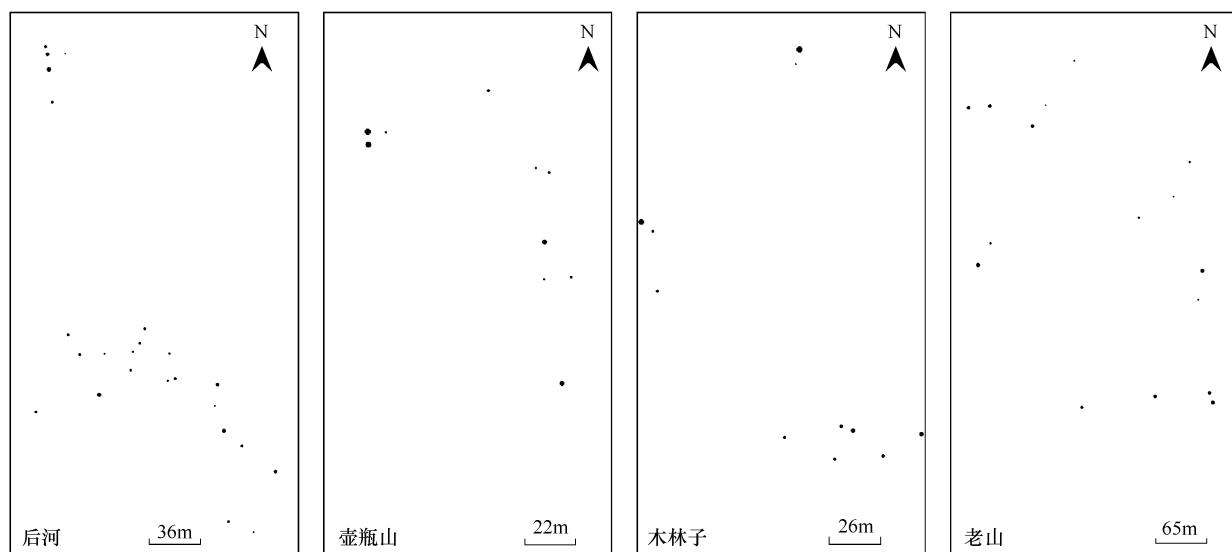


图4 4个分布地内连香树个体空间分布点图

Fig. 4 Mapped point pattern of *Cercidiphyllum japonicum* in 4 habitats

点大小统一代表植株径级大小,不遵循地图比例尺 The point size denotes diameter class, and is independent of the map scale

图5为4个种群的点格局分析的结果。图中实线是用实际数据计算的 $\hat{L}(t)$,虚线是拟合的上下包迹线,

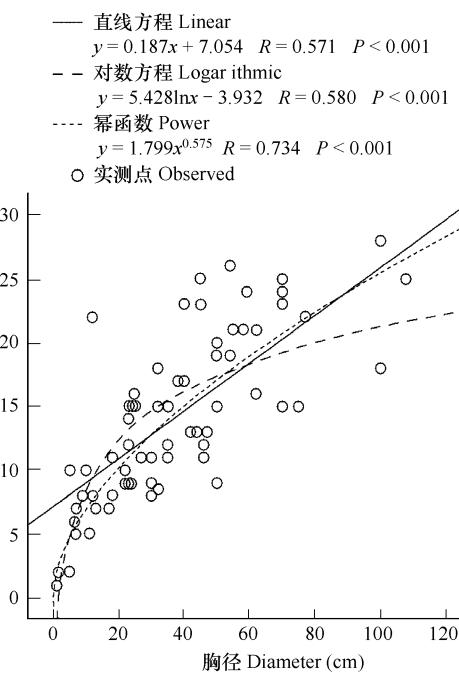


图3 3种可能的胸径与树高关系模型

Fig. 3 Three possible diameter-height models

分析时取 t 的间隔为 1m, t 的最大值为 100m。对于后河种群,在 16m 以下尺度,其为随机分布,而 16~100m 的各尺度下,均为集群分布。壶瓶山种群仅在 9m 尺度下呈集群分布,其它尺度下均为随机分布。木林子种群仅在 7~13, 17~18, 35m 尺度下呈集群分布,其它尺度下均为随机分布。老山种群在全部尺度下,均呈显著的随机分布。

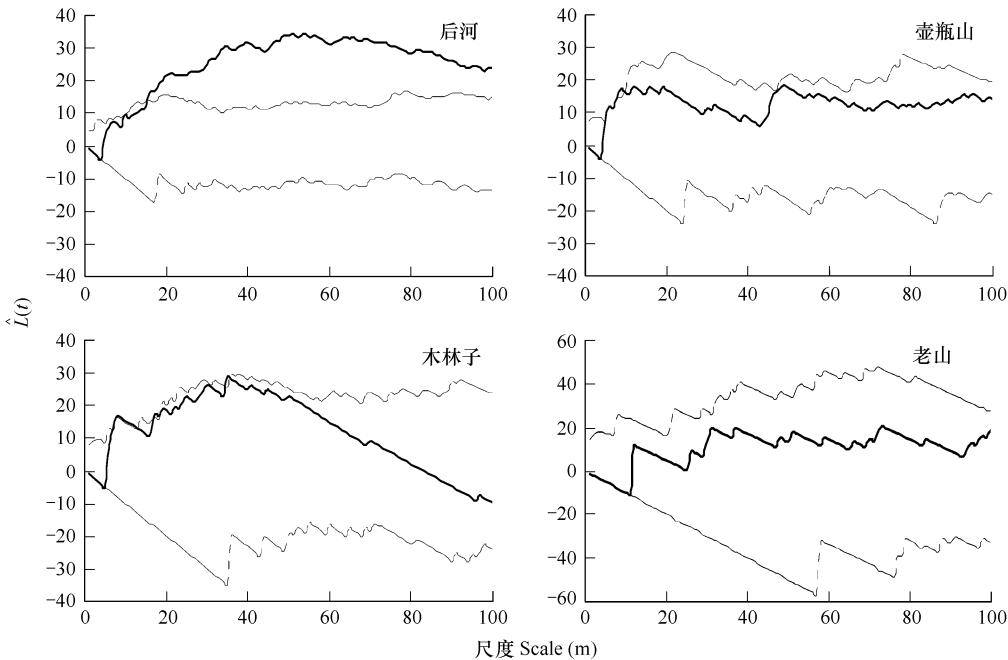


图 5 4 个连香树分布地的点格局分析结果图

Fig. 5 Point pattern analysis for 4 habitats of *Cercidiphyllum japonicum*

3 结论与讨论

种群的年龄结构可以反映种群的动态变化和群落的发展趋势^[37]。后河种群的年龄结构呈衰退型,而其它种群已衰退至无完整年龄结构的程度,这符合长寿命的古老孑遗物种的种群趋于衰退^[38,39]的一般规律。种群衰退表明连香树在竞争中处于劣势地位,加之种群内现存个体数量已十分有限,如果不及时对其进行有效保护,目前现有的种群终将消亡。先前的研究^[40]认为,连香树采取产生大量小种子以占据更多安全位的生殖策略,小种子不足以抵御萌发期受到的严重环境筛选作用,致使种群内幼苗稀缺,种群更新困难,所以连香树自身的繁殖特性可能是导致种群衰退的根本原因之一。虽然后河种群仅由 24 株个体构成,但种群结构完整而连续,呈显著的纺锤型,这可能暗示,即使在衰退之前,该种群的规模也不大。可见,在长期的演化过程中,连香树逐渐被动地形成了与其它乔木树种构成混交林,而植株数量相对稀少的状况。

种群的空间分布格局通常是植物自身的生物学特性与环境因素共同作用的结果^[24]。由种群结构研究结果已知,其它种群较之后河种群的衰退程度更大;而点格局分析结果表明,除后河种群在 16m 尺度以上呈集群分布外,其它种群在多数尺度上均呈随机分布。据此推断,随着种群衰退的加剧,连香树种群格局会由集群分布向随机分布过度。因为连香树种子的传播依赖溪流、萌发需要较高的湿度、以及河谷两侧更容易出现林窗,所以连香树均生长于河谷两侧山坡,这决定了连香树对生境的要求十分苛刻,据此推断生境异质性可能是导致后河种群在大尺度上呈集群分布的主要原因。但随着竞争的加剧,它疏作用甚至自疏作用不断加强,大量植株死亡,最终导致其它 3 个种群分布格局在各尺度上向随机分布转变。总之,连香树种子的萌发特性对于环境要求的极端苛刻^[40],激烈的种间竞争^[22]和极其有限的林窗,以及生境条件的恶化等多种因素,都可能决定这些残存种群的随机分布格局。谢宗强^[41]认为银杉 (*Cathaya argyrophylla*) 在银杉-银木荷 (*Schima argentea*) 群落中呈随机分布的主要原因是环境条件相似、种子散布均匀,后河种群在 16m 以下尺度上呈随机

分布的原因可能与此相似,但其它3个种群呈随机分布的原因明显与此不同,因为银杉-银木荷群落中银杉的随机分布在未来可能随生境条件的恶化而向集群分布转变,而3个连香树种群的随机分布格局,则很可能是在生境异质性所导致的集群分布之后,种群继续衰退的结果。随着衰退的加剧,连香树种群分布格局经历着一个“随机-集群-随机”的过程。

由于调查面积大且研究对象分布稀疏的特殊性,本试验特别采取多种定位、测距仪器相结合的办法对大面积样地进行研究,即近距离依赖森林罗盘仪和超声波测距仪的相对定位数据,远距离依赖GPS卫星定位数据。因为近距离时GPS误差距离可能大于植株间距,远距离时GPS误差距离却可以忽略不计,所以该方法不仅可以避免GPS误差对于临近植株定位数据精度的影响,也解决了远距离复杂情况下无法直接测距定位的问题。在进行大面积样地内分布较稀疏的木本植物种群点格局分析时,采用该方法基本可以还原植株本来的分布原貌,是值得推广的较为简便的调查方法。另外,本文仅对分布于湘鄂皖3省的4个连香树种群的分布格局进行了研究和对比,对不同发育阶段连香树的分布格局与关联,以及连香树与伴生优势种之间的相互关系有待研究。其中,前者的不可行性在于连香树植株数量的稀少,而后的难度在于连香树分布较为稀疏。

综合以上分析可见,连香树种群逐渐衰退是由于生境异质性、连香树固有的生物学特性以及人类活动的干扰。鉴于此,建议在连香树等珍稀濒危植物的保护工作中,不仅要对植物本身进行保护,更重要的应该是对其伴生物种和原始生境进行有效保护,杜绝盲目的旅游开发和乱砍滥伐,对处于衰退末期的种群,应积极制定合理的保护方案予以挽救。

References:

- [1] Wang P J. Rare endangered plant *Cercidiphyllum japonicum*. Journal of Henan University, 1986, 3, 59–61.
- [2] Xiong D, Chen F J, Liang H W, et al. Study on seed germination of the rare endangered plant *Cercidiphyllum japonicum*. Journal of Fujian Forestry Science and Technology, 2007, 34(1): 36–39.
- [3] Yao L F, Liu H C, Li H Y, et al. Propagation and utilization of an endangered tree *Cercidiphyllum japonicum* Sieb. et Zucc. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2005, 33 (11): 2060–2061.
- [4] Qian X H. *Cercidiphyllum japonicum* Sieb. et Zucc. In: Fu L G ed. China plant red data book Vol. 1. Beijing: Science Press, 1992. 212–213.
- [5] Wu G L. The biological features and conservation of *Cercidiphyllum japonicum* Sieb. et Zucc. Journal of Anqing Teachers College (Natural Science Edition), 2006, 12(2): 106–119.
- [6] Peng P H, Mu K H, Chen A Q, et al. National key protected wild plant-*Cercidiphyllum japonicum*. China Nature, 2000, 3: 22.
- [7] Mai M M, Shi D X, Wang M L. Development and utilization of endangered plant *Cercidiphyllum japonicum*. Subtropical Plant Science, 2005, 34 (4): 60–62.
- [8] Wang D, Gao S Z. A study on the relationships of Cercidiphyllaceae I. leaf architecture and vasculature changes of petiole. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 1990, 10 (1): 37–41.
- [9] Wang D, Gao S Z. Study on the relationships of Cercidiphyllaceae II. anatomy and morphology study on secondary xylem. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 1991, 11(4): 287–290.
- [10] Feng Y X, Wang X Q, Pan K Y, et al. rbcL gene sequence analysis of tree branches and even-Daphniphyllum location of the re-evaluation system—On the relationship between class and low Jin Lvmei. Journal of Systematics and Evolution, 1998, 36(5): 411–422.
- [11] Zhang Q, Nie X P, Shi S H, et al. Phylogenetic affinities of Cercidiphyllaceae based on matK sequences. Ecologic Science, 2003, 22(2): 113–115.
- [12] Takaishi K. Isolation of maltol from *Cercidiphyllum japonicum*. Phytochemistry, 1971, 10(12): 3302.
- [13] Takasugi M, Katui N. A biphenyl phytoalexin from *Cercidiphyllum japonicum*. Phytochemistry, 1986, 25 (12): 2751–2752.
- [14] Tada M, Sakurai K. Antimicrobial compound from *Cercidiphyllum japonicum*. Phytochemistry, 1991, 30 (4): 1119–1120.
- [15] Curty C, Engel N. Detection, isolation and structure elucidation of a chlorophyll a catabolite from autumnal senescent leaves of *Cercidiphyllum japonicum*. Phytochemistry, 1996, 42(6): 1531–1536.
- [16] Sarker D S, Whiting P, Lafont R, et al. Cucurbitacin D from *Cercidiphyllum japonicum*. Biochemical Systematics and Ecology, 1997, 25 (1): 79–80.
- [17] Wang J R, Duan J A, Zhou R H. Chemical constituents from the bark of *Cercidiphyllum japonicum*. Acta Botanica Sinica, 1999, 41(2): 209–

212.

- [18] Ren Q J, Yu J P. Old rare plant *Cercidiphyllum japonicum*. Chinese Wild Plant Resources, 1998, 17(4) : 37—38.
- [19] Cao J W, Tang W D, Zhu X Y. Community survey and planting technology of *Cercidiphyllum japonicum*. China Forestry Science and Technology, 2002, 16(6) : 30—32.
- [20] Huang S H, Fang Y M. DNA extraction of the endangered tree species *Cercidiphyllum japonicum* based on the modified method of SDS-CTAB. Journal of Wuhan Botanical Research, 2007, 25(1) : 98—101.
- [21] Kubo M, Sakio H, Shimano K, et al. Age structure and dynamics of *Cercidiphyllum japonicum* sprouts based on growth ring analysis. Forest Ecology and Management, 2005, 213(1-3) : 253—260.
- [22] Kubo M, Sakio H, Shimano K, et al. Factors influencing seedling emergence and survival in *Cercidiphyllum japonicum*. Folia Geobotanica, 2004, 39 (3) : 225—234.
- [23] Li J, Zhao G Z, Chen H H, et al. Rhodococcus cercidiphylli sp. nov., a new endophytic actinobacterium isolated from a *Cercidiphyllum japonicum* leaf. Systematic and Applied Microbiology, 2008, 31(2) : 108—113.
- [24] Crawly M J. Plant Ecology. London: Blackwel Scientific Publications, 1986. 97—185.
- [25] Wu X Q, Zhu J M. A preliminary research on the seed flora quantity classification in 19 Areas. Journal of Fujian Forestry Science and Technology, 2001, 28(2) : 20—25.
- [26] Song C S, Liu S X. After river nature reserve in Hubei scientific expedition set. Beijing: China Forestry Press, 1999. 14—33.
- [27] Kang H J, Chen Z L, Liu P, et al. The population structure and distribution pattern of *Emmenopterys henryi* in Dapanshan Natural Reserve of Zhejiang Province. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27 (1) : 389—396.
- [28] Jin Z X. A study on *Heptacodium Miconioides* community in the Tiantai Mountains of Zhejiang Province. Acta Ecologica Sinica, 1998, 18 (2) : 127—132.
- [29] Diggle P J. Statistical analysis of spatial point patterns. New York: Academic, 1983.
- [30] Kenkel N C. Pattern of self-thinning in Jack pine: testing the random mortality hypothesis. Ecology, 1988, 69, 1017—1024.
- [31] Zhang J T. Analysis of spatial point pattern for plant species. Acta Phytoecologica Sinica, 1988, 22(4) : 344—349.
- [32] Wiegand T, Moloney K A. Rings, circles, and null-models for point pattern analysis in ecology. Oikos, 2004, 104 : 209—229.
- [33] Li J N, Li Z Y, Wang F R. The brief introduction of ecological features and cultivation technology of *Cercidiphyllum japonicum*. Shaanxi Forest Science and Technology, 1984,(2) : 24—25.
- [34] Jin Z X. A study of population structure and distribution pattern of *Heptacodium miconioides* in the Tiantai Mountain, Zhejiang. Chinese Journal of Ecology, 1997, 16 (4) : 15—19.
- [35] Lieberman M, Lieberman D. Age-size relationships and growth behavior of the palm *Welfia georgii*. Biotropica, 1988, 20(4) : 270—273.
- [36] Song K, Da L J, Yang T H, et al. Age structure and growth characteristic of *Castanopsis fargesii* population. Chinese Journal of Applied Ecology, 2007, 18(2) : 254—260.
- [37] Wu X P, Zheng Y, Ma K P. Population distribution and dynamics of *Quercus liaotungensis*, *Fraxinus rhynchophylla* and *Acer mono* in Dongling Mountain, Beijing. Acta Botanica Sinica, 2002, 44(2) : 212—223.
- [38] Zhang W H, Zhu Y G, Liu G B. Population ecological characteristics and analysis on endangered cause of ten endangered plant species. Acta Ecologica Sinica, 2002, 22 (9) : 1512—1520.
- [39] Zhang W H, Xu X B, Zhou J Y, et al. Population dynamics of endangered plant species *Abies chensiensis*. Chinese Journal of Applied Ecology, 2005, 16 (10) : 1799—1804.
- [40] Li W L, Zhang X P, Hao C Y, et al. Characteristics of Seed Germination of the Rare Plant *Cercidiphyllum japonicum*. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28 (11) : 5445—5453.
- [41] Xie Z Q, Chen W L, Liu Z Y, et al. Spatial distribution pattern of *Cathaya argyrophylla* population. Acta Botanica Sinica, 1999, 41 (1) : 95—101.

参考文献:

- [1] 王磐基. 珍稀濒危物种连香树. 河南大学学报, 1986, 3, 59~61.
- [2] 熊丹, 陈发菊, 梁宏伟, 等. 珍稀濒危植物连香树种子萌发的研究. 福建林业科技, 2007, 34(1) : 36~39.
- [3] 姚连芳, 刘会超, 李宏瀛, 等. 濒危物种连香树资源繁育与开发利用. 安徽农业科学, 2005, 33 (11) : 2060~2061.
- [4] 钱啸虎. 106. 连香树. 见:傅立国主编. 中国植物红皮书——稀有濒危植物(第一册). 北京:科学出版社, 1992. 212~213.
- [5] 吴甘霖. 连香树的生物学特性及其资源保护. 安庆师范学院学报(自然科学版), 2006, 12(2) : 106~119.
- [6] 彭培好, 牟克华, 陈安全, 等. 国家重点保护野生植物——连香树. 大自然, 2000, (3) : 22.

- [7] 麦苗苗, 石大兴, 王米力. 濒危植物连香树的开发与利用. 亚热植物科学, 2005, 34(4): 60~62.
- [8] 王东, 高淑贞. 中国连香树科的系统研究 I. 叶的宏观结构及叶柄维管束变化. 西北植物学报, 1990, 10 (1): 37~41.
- [9] 王东, 高淑贞. 中国连香树科的系统研究 II. 次生木质部的显微和超微结构. 西北植物学报, 1991, 11(4): 287~290.
- [10] 傅宇星, 汪小全, 潘开玉, 等. *rbcL* 基因序列分析对连香树科和交让木科系统位置的重新评价——兼论低等金缕梅类的关系. 植物分类学报, 1998, 36(5): 411~422.
- [17] 王静蓉, 段金蕨, 周荣汉. 连香树树皮化学成分的研究. 植物学报, 1999, 41(2): 209~212.
- [18] 任全进, 于金平. 古老稀有植物——连香树. 中国野生植物资源, 1998, 17(4): 37~38.
- [19] 曹基武, 唐文东, 朱喜云. 连香树的森林群落调查及栽培技术. 林业科技开发, 2002, 16(6), 30~32.
- [20] 黄绍辉, 方炎明. 改进的 SDS-CTAB 法提取濒危植物连香树总 DNA. 武汉植物学研究, 2007, 25(1): 98~101.
- [25] 吴小琴, 朱锦懋. 19 个地区种子植物区系数量分类的初步研. 福建林业科技, 2001, 28(2): 20~25.
- [26] 宋朝枢, 刘胜祥. 湖北后河自然保护区科学考察集. 北京: 中国林业出版社, 1999.
- [27] 康华靖, 陈子林, 刘鹏, 等. 大盘山自然保护区香果树种群结构与分布格局. 生态学报, 2007, 27 (1): 389~396.
- [28] 金则新. 浙江天台山七子花群落研究. 生态学报, 1998, 18 (2): 127~132.
- [31] 张金屯, 植物种群空间分布的点格局分析. 植物生态学报, 1988, 22(4): 344~349.
- [33] 李纪南, 黎志云, 王福儒. 连香树生态特性及培育技术简介. 陕西林业科技, 1984,(2): 24~25.
- [34] 金则新. 浙江天台山七子花种群结构与分布格局研究. 生态学杂志, 1997, 16 (4): 15~19.
- [36] 宋坤, 达良俊, 杨同辉, 等. 楤树种群的年龄结构及其生长特征. 应用生态学报, 2007, 18(2): 254~260.
- [38] 张文辉, 祖元刚, 刘国彬. 十种濒危植物的种群生态学特征及致危因素分析. 生态学报, 2002, 22 (9): 1512~1520.
- [39] 张文辉, 许晓波, 周建云, 等. 濒危植物秦岭冷杉种群数量动态. 应用生态学报, 2005, 16 (10): 1799~1804.
- [40] 李文良, 张小平, 郝朝运, 等. 珍稀植物连香树的种子萌发特性. 生态学报, 2008, 28(11): 5445~5453.
- [41] 谢宗强, 陈伟烈, 刘正宇, 等. 银杉种群的空间分布格局. 植物学报, 1999, 41(1): 95~101.