

# 人为干扰对风水林群落林下木本植物组成和多样性的影响

吕浩荣<sup>1,2\*</sup> 刘颂颂<sup>1,3</sup> 朱剑云<sup>1,2</sup> 叶永昌<sup>1</sup> 陈红跃<sup>2</sup> 莫罗坚<sup>1</sup>

1 (东莞市林业科学研究所, 东莞 523106)

2 (华南农业大学林学院, 广州 510642)

3 (华南农业大学资源环境学院, 广州 510642)

**摘要:** 华南地区的风水林是乡村聚落的一种特色林分, 具有守护村庄的象征意义。在过去的数百年中, 风水林在乡村的社会文化习俗的影响下而受到保护, 对当地的生物多样性保育有着重要作用。为揭示人为干扰对风水林的影响, 我们选择广东省东莞市大岭山镇同一林分起源的3个具有相似地形的风水林, 研究了在不同干扰强度下其林下木本植物种类组成和物种多样性。多响应置换过程(multi-response permutation procedures, MRPP)分析表明, 人为干扰显著改变了风水林林下木本植物组成( $P = 0.001$ ,  $A = 0.3886$ ), 沿着干扰由弱至强的梯度呈现出中生性植物减少、阳生性植物递增的趋势。多样性指数变化趋势为重度干扰>中度干扰>轻度干扰, 但没有表现出统计学意义上的差异( $P > 0.05$ )。随着干扰强度的增大, 3个风水林群落相互间的林下物种相似性降低, 物种替代率呈增加趋势。双向聚类分析较好地反映出林下物种因受不同人为干扰强度影响而表现出在空间分布上的差异。指示种分析进一步确定了不同干扰强度下具有显著指示值( $IV \geq 60$ )的指示种。综合分析表明, 人为干扰有利于阳性物种在风水林内定居生长, 并明显地改变了林下木本植物组成, 但未能引起物种多样性的显著差异。此外, 找出对人为干扰产生关键生态响应的林下指示种, 对增进风水林的生物多样性保育以及生态系统管理有着重要的理论意义和实践价值。

**关键词:** 干扰, 风水林, 林下植物, 多样性保育, 指示种

## Effects of human disturbance on understory woody species composition and diversity in *fengshui* forests

Haorong Lü<sup>1,2\*</sup>, Songsong Liu<sup>1,3</sup>, Jianyun Zhu<sup>1,2</sup>, Yongchang Ye<sup>1</sup>, Hongyue Chen<sup>2</sup>, Luo Jian Mo<sup>1</sup>

1 Dongguan Institute of Forestry Science, Dongguan 523106

2 College of Forestry, South China Agricultural University, Guangzhou 510642

3 College of Resources and Environment, South China Agricultural University, Guangzhou 510642

**Abstract:** In southern China, *fengshui* forests are distinctive woodlands that are treated as a protective barrier behind rural villages. Likely due to their socio-cultural importance to indigenous people, these forests have been conserved over the past several hundred years and play a significant role in conservation of local biodiversity. To reveal the effects of human disturbance on *fengshui* forests, we compared the species composition and diversity of understory woody plants among three *fengshui* forests with similar topographic situation and identical origin under different degrees of disturbance intensity in Dalingshan Town of Dongguan City, Guangdong Province. The low, medium and high disturbance level of *fengshui* forest stands were identified according to impact factors such as road length, agricultural land, residential area, factory area, cutting degree and garbage cover. Multi-response permutation procedures (MRPP) analysis showed that the composition of understory woody species ( $P = 0.001$ ,  $A = 0.3886$ ) differed among forest stands. Meanwhile, the proportion of mesophytes decreased with disturbance and the proportion of heliophytes increased. Though not

收稿日期: 2009-06-30; 接受日期: 2009-09-08

基金项目: 东莞市科技计划资助项目(2007101201053)和香港嘉道理农场暨植物园资助项目(4400-G05002)

\* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: klenmen@126.com

statistically significant ( $P > 0.05$ ), diversity indices consistently showed the following trend: high disturbance > medium disturbance > low disturbance. Jaccard coefficients of understory species similarity among the three *fengshui* stands declined with increasing intensity of human disturbance, indicating that species replacement occurred. Two-way cluster analysis of the relationships between plant species and forest stands indicated that the spatial distribution of understory species differed among stands. Indicator species analysis (ISA) identified species that were indicative (importance value  $\geq 60$ ) of the three forest stands studied, and therefore potential indicators of different disturbance regimes. We conclude that human disturbance of *fengshui* forests appeared to alter understory species composition, and favor the establishment and growth of heliophytes, but failed to affect species diversity. Furthermore, identification of candidate understory indicators which capture key ecological responses to human disturbance may have significant implications for improving biodiversity conservation and ecosystem management of *fengshui* forests.

**Key words:** disturbance, *fengshui* forest, understory plants, biodiversity conservation, indicator species

生物多样性调节着生态系统的功能和稳定性,是人类生存和进行经济活动的基础(Singh, 2002)。但人类活动导致的栖息地破碎化与丧失、环境污染、外来种入侵等因素已经使物种的生存受到了不同程度的威胁(陈阳等, 2002)。各种自然和人为因素所导致的生物多样性丧失已经成为当今最重大的环境问题之一(Ehrlich & Wilson, 1991; Channell & Lomolino, 2000)。其中, 人类活动引起的森林退化和生境毁坏被认为是导致全球生物多样性丧失的主要原因(Sukumaran *et al.*, 2008)。在生物多样性持续受威胁的背景下, 深入认识人为干扰引起的生物多样性丧失对自然群落及其结构特征的影响非常重要(Mishra *et al.*, 2004)。

华南地区的风水林是分布在乡村聚落的一种特色林分, 具有守护村庄的象征意义。同时, 风水林还能附近的农田、果园以及弃耕地提供自然恢复或林分改造的种质来源, 在维持区域生态环境的物种多样性与生态平衡中发挥着重要作用(吕浩荣等, 2009a)。风水林作为中国文化的一部分已有很长历史, 如今有必要从环境保护、生物多样性保育和文化遗产的角度对其进行深入认识和理解(Yuan & Liu, 2009)。在过去数百年中, 风水林与村落的传统习俗息息相关, 不断的农耕进程对风水林产生了深远影响。这种复合的人为干扰通过对风水林内水热资源的有效性产生作用, 从而引起不同生活史的物种对资源的竞争或分享, 进而影响群落的生物多样性和结构特征。

林下植物作为生态系统的重要组成部分, 影响着系统内的养分循环和能量流动(Chapin III, 1983), 并在保护森林物种多样性, 提供动物庇护生境, 调

节森林小气候以及维护生态功能稳定性和持续立地生产力方面具有独特的功能和作用(Ramovs & Roberts, 2003; 刘苑秋等, 2004)。同时, 林下木本植物还代表着群落的更新潜力, 并影响着群落的物种组成和演替过程(Sagar, 2008)。

干扰在景观尺度上决定着生境斑块化的特征, 进而影响着森林生境中的定居物种(Moora *et al.*, 2007)。随着社会经济的发展和城市化进程的加速, 镶嵌在城市景观当中的风水林在生境面积不断受蚕食、环境污染和人为砍伐干扰等因素的交织作用下, 受到不同程度的破坏, 影响了其特有的生态功能(吕浩荣等, 2009a)。目前, 风水林研究工作主要集中在其物种组成、外貌结构、物种多样性、种群分布格局以及土壤理化性质等方面(蔡锡安等, 1998; Jim, 2003; 刘颂颂等, 2005; 张永夏等, 2007; 吕浩荣等, 2009b), 而对人为干扰下其物种组成和多样性的研究工作仍然非常有限(吕浩荣等, 2009a)。本文中我们选择位于广东省东莞市中部同一林分起源的3个具有相似地形的风水林群落, 对其林下木本植物进行调查分析, 探讨了不同干扰强度对其林下木本植物组成和多样性变化的影响, 从而为风水林的生物多样性保育和生态系统管理提供依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 研究区自然概况

东莞市位于广东省中南部, 珠江口东岸, 是珠江三角洲地区经济实力较强的地级市之一, 社会经济发达, 外来人口众多, 人地矛盾突出。研究样地位于该市中部大岭山镇的大沙村、鸡翅岭村和金橘村3个村后风水林内, 地理坐标  $113^{\circ}50'17''$ —

113°50'47"E, 22°55'36"—22°56'40"N, 面积分别为3.5 ha、2.5 ha和3 ha。该地区气候类型为南亚热带季风海洋性气候, 全年温暖多雨, 年平均气温约22.1℃, 最冷月(1月)平均气温13.4℃, 极端最低温低于0℃, 最热月(7月)平均气温28.2℃, 极端最高温37.9℃; 年平均降水量1,800 mm, 分配不均, 4—9月为雨季, 降雨量占全年的80%以上, 并以台风雨居多。地貌类型为低丘台地, 土壤为发育于花岗岩母质的赤红壤, 土层较深厚。

## 1.2 样地选择与数据收集

样地的选择依据以下标准: (1)海拔相近(53—66 m), 气候状况相似; (2)地形条件基本一致, 3块风水林地地势平坦, 林分内的相对高差均不超过5 m; (3)土壤和植被条件相同: 土壤均为发育于花岗岩母质的赤红壤, 植被起源于南亚热带低地常绿阔叶林。根据实地踏查, 3块风水林的建群种均为越南山龙眼(*Helicia cochinchinensis*)(吕浩荣等, 2009a), 相互之间的平均距离仅为1.16 km, 因村落的形成和村民不断的农业耕作而逐渐分隔。随着当地社会经济的发展, 这3个风水林在面积骤减、环境污染和人为砍伐干扰等因素的交织作用下, 出现生境破碎化、物种局域灭绝等问题。

本研究选取道路长度、农业土地面积、居民区面积、工厂面积、砍伐程度以及林内垃圾等6个因素对3个风水林受干扰程度进行定量评价。其中, 道路长度、农业土地面积、居民区面积和工厂面积4个干扰因素的数据通过卫星图片获取; 砍伐程度为林内所有伐桩的基面积之和; 垃圾则根据林内生活垃圾、废弃物的覆盖面积计算。

在上述3个风水林内采用典型取样法各设置调查样地3个, 其中大沙村的样地编号为Stand01—03, 金橘村的样地编号为Stand04—06, 鸡翅岭村的样地编号为Stand07—09。样地面积为20 m×20 m, 将每个样地划分成4个10 m×10 m的样方, 在每个10 m×10 m样方中心设置1个5 m×5 m小样方进行林下植物调查, 测定胸径(DBH)<1 cm, 高度(h)在0.2—2.5 m的所有林下木本植物(乔木幼苗、灌木以及木质藤本)的株数和盖度, 并现场鉴定和记录植物种名。

## 1.3 数据处理与分析

### 1.3.1 重要值计算

采用重要值(IV)作为各物种在群落中的优势度指标, 以表达不同物种在群落中的功能地位(刘秋

锋等, 2006)。计算公式为:

$$IV = (\text{相对多度} + \text{相对频度} + \text{相对盖度})/3$$

### 1.3.2 多样性测度

根据马克平等(1995a)对多个多样性指数的分析结果, 选取丰富度指数和多样性指数测度9个样地的 $\alpha$ 多样性。公式如下:

Margalef丰富度指数( $d_{mg}$ ) (Margalef, 1958):

$$d_{mg} = (S-1)/\ln N \quad (1)$$

Simpson指数( $D$ ) (Simpson, 1949):

$$D = 1/\sum P_i^2 \quad (2)$$

Shannon-Wiener指数( $H'$ ) (Shannon & Weaver, 1949):

$$H' = -\sum P_i \ln P_i \quad (3)$$

式中,  $S$ 为样地的植物种类总和;  $P_i$ 为种 $i$ 的个体数占所有种的个体数的比率;  $N$ 为样地所有物种的个体数之和。

采用Jaccard群落相似性系数测算3个风水林的林下木本植物组成相似性(马克平等, 1995b), 计算公式为 $S_j = a/(b+c-a)$ ,  $a$ 为两个风水林共有物种数;  $b$ 和 $c$ 分别为风水林A和B的物种数。以 $1-S_j$ 来度量不同干扰强度之间的群落物种替代率(Magurran, 2004)。

### 1.3.3 多元统计分析

(1)多响应置换过程分析(multi-response permutation procedures, MRPP)。不同干扰强度下风水林林下木本植物组成的差异性采用多响应置换过程进行检验。MRPP是一种用于检验预先设定的不同组间的差异性的非参数分析方法, 并不要求数据正态分布和方差齐性, 在生态学研究中有广泛应用(Zimmerman *et al.*, 1985; Stallins, 2002)。

(2)双向聚类分析(two-way cluster analysis)。该方法同时对植物和样地数据矩阵(或行列数据矩阵)进行聚类分析(Madeira & Oliveira, 2004), 输出的聚类图能够直观地显示物种在不同样地中分布的差异性。应用双向聚类分析可有效地揭示出林下木本植物分布对不同干扰强度的响应。为了减少林下偶见种对双向聚类分析的影响, 去掉了数量少于2株的21个物种(McCune & Grace, 2002)。

(3)指示种分析(indicator species analysis, ISA)。采用指示种分析找出对不同人为干扰强度具有明显指示作用的物种(Dufrene & Legendre, 1997), 并应用蒙特卡罗方法(Monte Carlo permutation test)检

表1 3个风水林的人为干扰强度  
Table 1 Human disturbance intensity of the three fengshui forests

干扰因素 Disturbance factors	干扰强度 Disturbance intensity		
	大沙村 Dasha Village	金橘村 Jinju Village	鸡翅岭村 Jichiling Village
道路长度 Road length	1.59	1.00	2.01
农业土地 Agricultural land	1.22	1.00	2.25
居民区 Residential area	1.00	1.63	1.06
工厂区 Factory area	1.00	5.01	11.99
砍伐程度 Cutting degree	0	1.00	1.21
垃圾覆盖 Garbage cover	1.93	1.71	1.00
合计 Total	6.74 (LD)	11.35 (MD)	19.52 (HD)

LD: 轻度干扰; MD: 中度干扰; HD: 重度干扰。LD, Low disturbance; MD, Medium disturbance; HD, High disturbance.

验每个干扰强度下每一植物种的显著性。

多元统计分析在生态学软件PC-ORD 5.0 (McCune & Mefford, 1999)上进行。

1.3.4 干扰强度量化

采用相对影响方法(Sagar *et al.*, 2003; Zhu *et al.*, 2007)计算6个影响因素对3个风水林干扰程度的相对值。如金橘村的道路长度为576 m, 大沙村为913 m, 鸡翅岭村为1,156 m, 设道路因素对金橘村风水林产生干扰的相对值为1, 则对大沙村的为1.59 (913 m/576 m), 对鸡翅岭村的为2.01 (1,156 m/576 m)。其余5个因素对风水林产生干扰的相对值依此计算(表1); 然后, 将6个干扰因素对3个风水林干扰强度的相对值的总和作为人为干扰强度。为便于下文表述, 分别用轻度干扰、中度干扰和重度干扰表示大沙村、金橘村和鸡翅岭村3个风水林。

2 结果

2.1 林下木本植物的组成

根据3个风水林样地的统计, 林下木本植物个体共有2,751株, 隶属于29科50属58种。轻度、中度和重度干扰强度下的3个风水林的林下木本植物种数分别为30、33和38种, 总个体数依次为967、608和999株。在轻度干扰群落中, 桂木(*Artocarpus nitidus*)重要值高达21.32, 其次为朱砂根(*Ardisia crenata*)和九节(*Psychotria rubra*), 分别为12.42和11.54。在中度干扰群落中, 林下植物重要值较大的是阴香(*Cinnamomum burmannii*)和扭肚藤

(*Jasminum elongatum*), 分别为17.69和10.87。在重干扰群落中, 假鹰爪(*Desmos chinensis*)、九节、罗伞树(*Ardisia quinqueгона*)、越南山龙眼和银柴(*Aporosa dioica*)的重要值分别是11.63、9.18、8.12、7.22和6.99。总体来看, 3个风水林中的不同林下物种的重要值在人为干扰梯度下产生较大差别, 其中轻度干扰群落物种的重要值相对集中于极少数种上(如桂木、朱砂根以及九节等物种重要值合计达45.28), 而中度干扰和重度干扰的物种重要值则相对分散。

多响应置换过程(MRPP)分析结果表明, 不同干扰强度下3个风水林的林下木本植物组成存在着显著差异( $P = 0.001$ ,  $A = 0.3886$ )。轻度干扰和中度干扰( $P = 0.0215$ ,  $A = 0.5047$ ), 轻度干扰和重度干扰( $P = 0.0221$ ,  $A = 0.3443$ ), 以及中度干扰和重度干扰( $P = 0.0239$ ,  $A = 0.1762$ )的风水林两两之间也均存在显著差异。

林下植物的生长演替在很大程度上取决于林内的光照条件, 而遭受干扰后的森林往往有利于阳性先锋植物的侵入定居。参照文献汪殿蓓等(2003), 根据植物的生态习性将林下木本植物划分为中生性植物和阳生性植物。在轻度、中度和重度干扰下, 中生性植物分别占各自物种数的比例为56.67%(17种)、42.43%(14种)和39.47(15种), 阳生性植物的比例则分别为43.33%(13种)、57.57%(19种)和60.53%(23种)。可见, 随着干扰强度的增加, 林下植物总体表现为中生性植物减少, 阳生性植物递增。

2.2 林下木本植物多样性

随着干扰强度由弱至强, Simpson指数分别是0.8314、0.8434和0.8611, Shannon-Wiener指数分别为3.0989、3.3039和3.4866, Margalef丰富度指数相应为3.2295、3.7000和4.0840, 这3个多样性指数都表现为重度干扰>中度干扰>轻度干扰(图1)。方差分析(ANOVA)结果表明, 这3个 $\alpha$ 多样性指数均没有表现出统计学意义上的差异( $P>0.05$ )。

优势度曲线(K-dominance)可以较直观地表示群落的物种丰富度和均匀度, 并有效阐明由演替或干扰影响而引起物种集聚的变化(Magurran, 2004)。不同干扰强度下, 3个风水林群落林下木本植物的优势度曲线与3个 $\alpha$ 多样性指数的变化趋势相反(图2), 即优势度曲线越向上递升, 群落集聚的物种数、均匀度以及多样性越少。在轻度干扰下, 群落林下木本植物

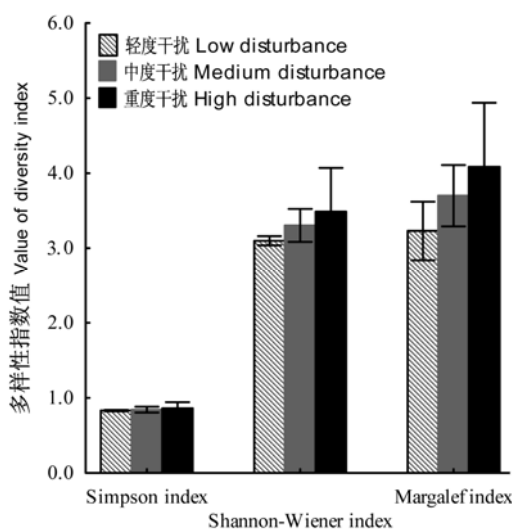


图1 不同干扰强度下风水林林下木本植物的 $\alpha$ 多样性  
Fig. 1  $\alpha$ -diversity of understory woody plants along a disturbance gradient in three fengshui forests

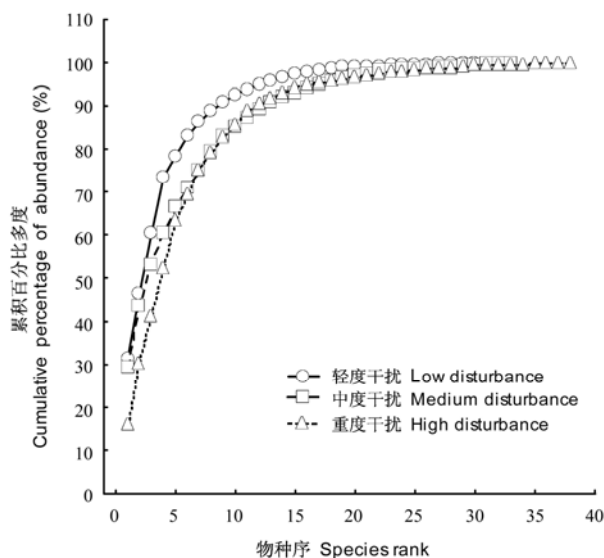


图2 不同干扰强度下风水林林下木本植物的优势度曲线  
Fig. 2 K-dominance curves of understory woody plants along a disturbance gradient in three fengshui forests

优势度最高, 其次为中度干扰和重度干扰。

在群落物种相似性方面, 3个风水林群落林下木本植物相互间的Jaccard相似性系数分别是: 轻度与中度干扰为0.465, 轻度与重度干扰为0.388, 中度与重度干扰为0.340; 群落的物种代替率分别为0.535、0.612和0.660。随着干扰强度的增大, 这3个

风水林群落相互间的林下物种相似性降低, 物种替代率呈增加趋势。由于Jaccard相似性系数的大小取决于两群落间本身的物种数量以及共有种数量, 3个风水林林下植物的相似性差异主要体现在群落的物种组成上。这在很大程度上归因于遭受强度干扰后的风水林, 生境异质性更高, 为阳性先锋植物的补充提供了条件, 从而引起物种替代过程发生。

### 2.3 林下木本植物对干扰的响应

人为干扰引起的环境条件变化常常对林下植物的生长更新和分布产生制约, 生态习性相似的不同物种因对生境的适应而聚集在一起, 并表现出在空间分布上的差异。以37个林下木本植物在9个样地中的多度分布数据进行双向聚类分析, 结果见图3。双向聚类分析较好地揭示出37个林下物种在9个样地中因受生境因子影响而体现在空间分布上的差异, 可将其划分为3个生态种组。桂木、假玉桂(*Celtis timorensis*)、嘉赐树(*Casearia glomerata*)、香港大沙叶(*Pavetta hongkongensis*)、紫玉盘(*Uvaria microcarpa*)、朱砂根、罗伞树和九节等8种物种聚为一类, 并主要分布在轻度干扰的风水林内。此外, 罗伞树、九节和香港大沙叶在不同干扰强度的风水林样地均存在, 表明这3个灌木植物对不同的干扰强度具有更广的生态幅。阴香、华润楠(*Machilus chinensis*)、倒吊笔(*Wrightia pubescens*)、假苹婆(*Sterculia lanceolata*)、山小桔(*Glycosmis parviflora*)和鲫鱼胆(*Maesa perlaris*)主要局限在中度干扰的风水林样地中, 表现出对中度干扰生境的适应。其余23种林下植物绝大部分规律地分布在重度干扰下的风水林群落中, 在很大程度上说明这些木本植物在与轻度干扰和中度干扰风水林样地的林下植物生长更新竞争中处于劣势, 而重度干扰的群落生境更有利于其种群幼苗的更新补充。

3个风水林群落的指示种分析结果表明(表2), 共有10个物种的指示值 $IV \geq 60$  ( $P < 0.05$ )。其中, 6种为灌木植物, 4种为乔木幼苗。轻度干扰下的指示种是紫玉盘、朱砂根和桂木幼苗, 中度干扰下的指示种为阴香幼苗, 重度干扰下的指示种分别是龙船花(*Ixora chinensis*)、假鹰爪、鬼灯笼(*Clerodendrum fortunatum*)、白背叶(*Mallotus apelta*)以及银柴和山蒲桃(*Syzygium levinei*)幼苗。

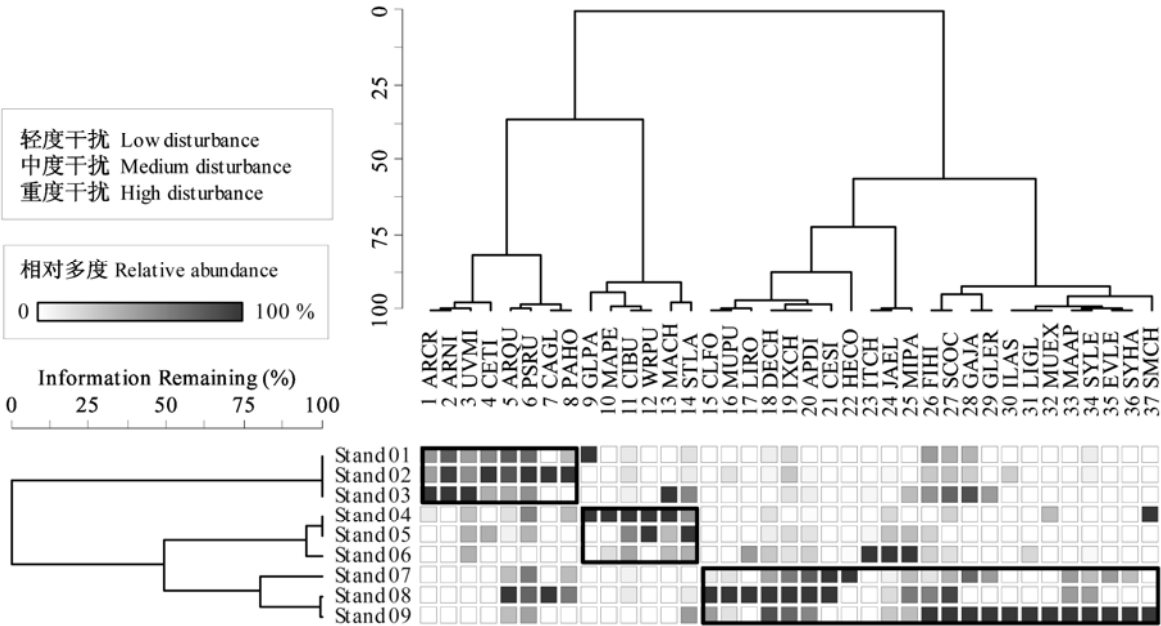


图3 3个风水林样地及其林下木本植物的双向聚类分析  
Fig. 3 Two-way cluster dendrogram of stands and understory woody plants in three *fengshui* forests

1	ARCR	朱砂根	<i>Ardisia crenata</i>	20	APDI	银柴	<i>Aporosa dioica</i>
2	ARNI	桂木	<i>Artocarpus nitidus</i>	21	CESI	朴树	<i>Celtis sinensis</i>
3	UVMi	紫玉盘	<i>Uvaria microcarpa</i>	22	HECO	越南山龙眼	<i>Helicia cochinchinensis</i>
4	CETI	假玉桂	<i>Celtis timorensis</i>	23	ITCH	鼠刺	<i>Itea chinensis</i>
5	ARQU	罗伞树	<i>Ardisia quinqueгона</i>	24	JAEL	扭肚藤	<i>Jasminum elongatum</i>
6	PSRU	九节	<i>Psychotria rubra</i>	25	MIPA	破布叶	<i>Microcos paniculata</i>
7	CAGL	嘉赐树	<i>Casearia glomerata</i>	26	FIHI	粗叶榕	<i>Ficus hirta</i>
8	PAHO	香港大沙叶	<i>Pavetta hongkongensis</i>	27	SCOC	鸭脚木	<i>Schefflera octophylla</i>
9	GLPA	山小桔	<i>Glycosmis parviflora</i>	28	GAJA	梔子	<i>Gardenia jasminoides</i>
10	MAPE	鲫鱼胆	<i>Maesa perlaris</i>	29	GLER	毛果算盘子	<i>Glochidion eriocarpum</i>
11	CIBU	阴香	<i>Cinnamomum burmannii</i>	30	ILAS	梅叶冬青	<i>Ilex asprella</i>
12	WRPU	倒吊笔	<i>Wrightia pubescens</i>	31	LIGL	潺槁树	<i>Litsea glutinosa</i>
13	MACH	华润楠	<i>Machilus chinensis</i>	32	MUEX	九里香	<i>Murraya exotica</i>
14	STLA	假苹婆	<i>Sterculia lanceolata</i>	33	MAAP	白背叶	<i>Mallotus apelta</i>
15	CLFO	鬼灯笼	<i>Clerodendrum fortunatum</i>	34	SYLE	山蒲桃	<i>Syzygium levinei</i>
16	MUPU	玉叶金花	<i>Mussaenda pubescens</i>	35	EVLE	三桠苦	<i>Evodia lepta</i>
17	LIRO	豺皮樟	<i>Litsea rotundifolia</i>	36	SYHA	红鳞蒲桃	<i>Syzygium hancei</i>
18	DECH	假鹰爪	<i>Desmos chinensis</i>	37	SMCH	菝葜	<i>Smilax china</i>
19	IXCH	龙船花	<i>Ixora chinensis</i>				

3 讨论

3.1 人为干扰对风水林林下植物多样性的影响

人为干扰改变了生境异质性和物种间的竞争格局,同时创造新的生境,提高或制约了物种多样性(Denslow, 1995)。为此,森林群落的林下植物物种多样性在很大程度上依赖于过去和现在的干扰强

度。Denslow(1985)认为在生态系统内,物种会对不同的干扰水平产生适应性进化,物种多样性在相似的干扰机制下最大。于立忠等(2006)的研究表明,实施间伐的红松(*Pinus koraiensis*)人工林林下植物的Shannon-Wiener指数和Simpson指数随着人为干扰强度的加大而增加。Zhu等(2007)对东北山区次生林的研究也表明,林下物种丰富度表现出随着干扰强

表2 不同干扰强度下水风水林林下木本植物指示种  
Table 2 Indicator species of understory woody plants along a disturbance gradient in three *fengshui* forests

指示种 Indicator species	生长型 Growth form	最大指示值组 Group identifier for group with maximum observed indicator value	指示值 Indicator value	P值 P-value
紫玉盘 <i>Uvaria microcarpa</i>	灌木 Shrub	轻度干扰 Low disturbance (LD)	65.3	0.019*
朱砂根 <i>Ardisia crenata</i>	灌木 Shrub	轻度干扰 Low disturbance (LD)	95.4	0.031*
桂木 <i>Artocarpus nitidus</i>	乔木幼苗 Tree seedling	轻度干扰 Low disturbance (LD)	100	0.031*
阴香 <i>Cinnamomum burmannii</i>	乔木幼苗 Tree seedling	中度干扰 Medium disturbance (MD)	70.2	0.034*
龙船花 <i>Ixora chinensis</i>	灌木 Shrub	重度干扰 High disturbance (HD)	64.0	0.033*
假鹰爪 <i>Desmos chinensis</i>	灌木 Shrub	重度干扰 High disturbance (HD)	75.7	0.033*
银柴 <i>Aporosa dioica</i>	乔木幼苗 Tree seedling	重度干扰 High disturbance (HD)	82.4	0.033*
山蒲桃 <i>Syzygium levinei</i>	乔木幼苗 Tree seedling	重度干扰 High disturbance (HD)	90.9	0.033*
鬼灯笼 <i>Clerodendrum fortunatum</i>	灌木 Shrub	重度干扰 High disturbance (HD)	100	0.033*
白背叶 <i>Mallotus apelta</i>	灌木 Shrub	重度干扰 High disturbance (HD)	100	0.033*

\*表示使用Monte Carlo方法检验植物种的指示值显著( $P < 0.05$ )。\* indicates statistically significant for the maximum indicator values for a given species in a particular group using Mote Carlo test ( $P < 0.05$ ).

度的增大而增加。本研究中3个风水林的Simpson指数、Shannon-Wiener指数和Margalef丰富度指数都表现出重度干扰>中度干扰>轻度干扰,与上述研究工作的结果一致。

林下植物多样性高一般归因于样地内光环境、养分和水分的异质性(Huebner *et al.*, 1995)。在本研究中,偷伐林木形成的林窗和工厂废气污染导致树木枯梢死亡改变了风水林内生境资源的有效性,为物种的侵入定居提供了环境条件,有利于林下植物的更新补充,尤其是阳性先锋植物。Khan等(1987)对印度东北部受宗教信仰保护的神圣林(sacred groves)的研究也证实:林窗(或开阔的林冠)通过增加森林地被层的太阳辐射和表土温度,减少与林冠层的竞争,促进林下植物种的萌发及幼苗生长。另外,阳生性植物在这3个风水林中的比例分别为轻度43.33% (13种)、中度57.57%(19种)和重度60.53% (23种),随着干扰强度的增加而递增,说明高强度的人为干扰更有助于阳性植物在林下进行定居和生长更新,维持或提高物种多样性。

3.2 人为干扰对风水林演变趋势的影响

风水林与当地村落的日常生活和经济活动密切相关,如采摘药用植物、捡取木柴、收获林果产品等(Zhuang & Corlett, 1997)。研究表明,砍伐成熟的木材、捡取薪柴和牲畜放牧等人为干扰是造成群落组织结构和植物种类组成改变的主要原因(Mishra *et al.*, 2004; 吕浩荣等, 2009a)。在森林群落中,主林层的乔木树种在林下的种群相对比值可以

揭示将来的群落结构和物种的更新状况(Khumbongmayum *et al.*, 2006)。通过主林层与林下植物优势种的比较(吕浩荣等, 2009a), 3个风水林群落的优势种在两个生活史阶段并不一致。干扰会导致上层林稀疏和森林微气候的改变,这一方面会使主林层树种的更新过程受到损害,另一方面有助于非耐荫的灌木植物的入侵和定居(Mishra *et al.*, 2004)。在轻度干扰的风水林群落中,主林层的优势种为越南山龙眼、假苹婆和银柴,而桂木、朱砂根、九节是林下植物的优势种;在中度干扰群落中,主林层优势种为阴香、越南山龙眼、蓝树(*Wrightia laevis*),林下则以阴香和扭肚藤占绝对优势;而在重度干扰下,越南山龙眼、银柴和红鳞蒲桃(*Syzygium hancei*)为主林层优势树种,假鹰爪、九节、罗伞树、越南山龙眼、银柴为林下优势植物。这3个风水林主林层优势种的差异及其幼苗在林下更新层的缺乏,是物种对不同干扰强度产生的生态响应,也将在很长的时期内影响着群落的稳定性和演替。为此,轻度干扰的风水林将会演替为以桂木为主的群落;中度干扰的风水林将发展为以阴香为建群种的群落;而重度干扰的风水林可能会演变为越南山龙眼、银柴及其他阳生性树种共优的森林群落。

3.3 林下植物对风水林干扰强度的指示意义

人类活动可能对物种及其种群的灭绝速率以及群落演替等一系列的生态进程产生影响(Angermeier & Karr, 1994)。然而,深入认识人为干

扰对生态系统的指示意义是复杂的, 找出对人类活动产生关键生态响应的指示种为增进对森林生态效应的理解以及监测和管理提供了一个手段(Dale *et al.*, 2002)。本研究结果表明, 10个林下物种对人为干扰具有指示作用。紫玉盘、朱砂根和桂木对轻度干扰具有指示作用, 尤其是桂木具有很好的指示作用( $IV = 100$ ,  $P = 0.029$ ), 表明桂木幼苗只在受人为干扰较轻的风水林群落中更新演替。阴香的生态习性属于中生性, 常生于疏林或密林, 因而对中度干扰具有指示作用。遭受重度干扰的风水林, 往往以伴随着阳性先锋物种侵入为标志, 如龙船花、假鹰爪、银柴等物种。此外, 作为华南地区典型阳性先锋物种的鬼灯笼和白背叶, 对重度干扰下形成的退化风水林群落有着很好的指示作用, 同时也在很大程度上反映出群落生境的破碎化程度。陈红跃(2008)对珠三角地区30个风水林植物进行了调查, 结果表明, 风水林的林下植物共有种较多, 相似性较高。因此, 本研究发现的对不同人为干扰强度产生显著生态响应的指示种, 对于进一步地揭示珠三角地区风水林的受干扰程度也具有一定的指示意义。

### 3.4 风水林保育管理的启示

一直以来, 乡规民约是维持当地风水林处于良好保护状态的主要机制(Yuan & Liu, 2009)。随着华南地区社会经济的发展和城市化进程的加速, 在城市景观中呈岛屿状分布的风水林也正在遭受生境丧失和破碎化的威胁(吕浩荣等, 2009b)。风水林生境的破碎化让风水林对外部干扰更为敏感, 增加外来有害生物侵入的风险。对于风水林生物多样性保护, 一般采取制定生物多样性行动计划, 通过立法、对关键地区建立保护区实行保护以及加强公众宣传教育等措施, 从而最大限度地减少砍伐林木、扰动土壤等干扰因素。然而, 这些措施因欠缺对当地居民利益的考虑, 可能导致保护失败。此外, 生物多样性的保护不仅要有效地设计和管理保护区, 同时也应该很好地管理邻近保护的自然景观, 使其与已保护地有机地结合起来, 从而为大尺度的生物多样性保护服务(Lindenmayer & Franklin, 2002)。因此, 在兼顾当地经济利益的基础上, 保证风水林边界的清晰界定和使用权, 把生物多样性保护策略的制定与可持续发展紧密结合, 从而极大地改善保护与发展的矛盾, 更有利于风水林的可持续保护(江洪等, 2004; 吕浩荣等, 2009a)。

### 参考文献

- Angermeier PL, Karr JR (1994) Biological integrity versus biological diversity as policy directives: protecting biotic resources. *BioScience*, **44**, 690–697.
- Cai XA (蔡锡安), Peng SL (彭少麟), Cao HL (曹洪麟), Yu ZY (余作岳) (1998) Community analysis of a secondary evergreen broadleaved forest at Luogang, Guangzhou. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology* (应用与环境生物学报), **4**, 107–114. (in Chinese with English abstract)
- Channell R, Lomolino MK (2000) Dynamic biogeography and conservation of endangered species. *Nature*, **403**, 84–86.
- Chapin FS III (1983) Nitrogen and phosphorus nutrition and nutrient cycling by evergreen and deciduous understory shrubs in an Alaskan black spruce forest. *Canadian Journal of Forestry Research*, **13**, 773–781.
- Chen HY (陈红跃) (2008) *Fengshui Woods Communities in the Pearl River Delta and Tree Species for the Establishment of Ecological Forests* (珠江三角洲风水林群落与生态公益林造林树种). Xinjiang Science and Technology Press, Urumqi. (in Chinese)
- Chen Y (陈阳), Chen AP (陈安平), Fang JY (方精云) (2002) Geographical distribution patterns of endangered fishes, amphibians, reptiles and mammals and their hotspots in China: a study based on “China Red Data Book of Endangered Animals”. *Biodiversity Science* (生物多样性), **10**, 359–368. (in Chinese with English abstract)
- Dale VH, Beyeler SC, Jackson B (2002) Understory vegetation indicators of anthropogenic disturbance in longleaf pine forests at Fort Benning, Georgia, USA. *Ecological Indicators*, **1**, 155–170.
- Denslow JS (1985) Disturbance-mediated coexistence of species. In: *The Ecology of Natural Disturbance and Patch Dynamics* (eds Pickett STA, White PS), pp. 307–323. Academic Press, London.
- Denslow JS (1995) Disturbance and diversity in tropical rain forests: the density effect. *Ecological Applications*, **5**, 962–968.
- Dufrene M, Legendre P (1997) Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological Monographs*, **67**, 345–366.
- Ehrlich PR, Wilson EO (1991) Biodiversity studies: science and policy. *Science*, **253**, 758–762.
- Huebner CD, Randolph JC, Parker GR (1995) Environmental factors affecting understory diversity in second-growth deciduous forests. *American Midland Naturalist*, **134**, 155–165.
- Jiang H (江洪), Ma KP (马克平), Zhang LY (张艳丽), Zhu CQ (朱春全), Strittholt JR (2004) Conservation biology based on the spatial analysis. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), **28**, 562–578. (in Chinese with English abstract)
- Jim CY (2003) Conservation of soils in culturally protected



- woodlands in rural Hongkong. *Forest Ecology and Management*, **175**, 339–353.
- Khan ML, Rai JPN, Tripathi RS (1987) Population structure of some tree species in disturbed and protected sub-tropical forests of north-east India. *Acta Oecologia: Oecologia Applicata*, **8**, 247–255.
- Khumbongmayum AD, Khan ML, Tripathi RS (2006) Biodiversity conservation in sacred groves of Manipur, northeast India: population structure and regeneration status of woody species. *Biodiversity and Conservation*, **15**, 2439–2456.
- Lindenmayer DB, Franklin JF (2002) *Conservation Forest Biodiversity, A Comprehensive Multiscaled Approach*. Island Press, Washington.
- Liu QF (刘秋锋), Kang MY (康慕谊), Liu QR (刘全儒) (2006) Quantitative classification and environmental interpretation of forest tree species in Hungou, Zhongtiao Mountain. *Journal of Plant Ecology (植物生态学报)*, **30**, 383–391. (in Chinese with English abstract)
- Liu SS (刘颂颂), Ye YC (叶永昌), Zhang ZS (张柱森), Li NS (李年生), Zhu JY (朱剑云), Cao HL (曹洪麟) (2005) The species composition of secondary forest at Dalingshan in Dongguan City and its contribution to the species pool. *Guangdong Forestry Science and Technology (广东林业科技)*, **21**(4), 18–22. (in Chinese with English abstract)
- Liu YQ (刘苑秋), Luo LX (罗良兴), Yang GP (杨国平), Niu DK (牛德奎), Sun KH (孙科辉) (2004) Analysis on recovery of undergrowth and effects of environment of rehabilitated forest in degraded red soil region. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis (江西农业大学学报)*, **26**, 695–699. (in Chinese with English abstract)
- Lü HR (吕浩荣), Liu SS (刘颂颂), Ye YC (叶永昌), Zhu JY (朱剑云), Mo LJ (莫罗坚), Chen HY (陈红跃) (2009a) Impacts of anthropogenic disturbance on tree species composition and diversity of Fungshui forest community in Dongguan City of Guangdong Province. *Chinese Journal of Ecology (生态学杂志)*, **28**, 613–619. (in Chinese with English abstract)
- Lü HR (吕浩荣), Liu SS (刘颂颂), Ye YC (叶永昌), Zhu JY (朱剑云), Mo LJ (莫罗坚), Chen HY (陈红跃) (2009b) The characteristics of fungshui woods *Pygeum topengii-Endospermum chinense* community in Fenggang Town, Dongguan City. *Journal of Tropical and Subtropical Botany (热带亚热带植物学报)*, **17**, 137–145. (in Chinese with English abstract)
- Ma KP (马克平), Huang JH (黄建辉), Yu SL (于顺利), Chen LZ (陈灵芝) (1995a) Plant community diversity in Dongling Mountain, Beijing, China. II. Species richness, evenness and species diversities. *Acta Ecologica Sinica (生态学报)*, **15**, 268–277. (in Chinese with English abstract)
- Ma KP (马克平), Liu CR (刘灿然), Liu YM (刘玉明) (1995b) Measurement of biotic community diversity. II. The measurement of  $\beta$  diversity. *Chinese Biodiversity (生物多样性)*, **3**, 38–43. (in Chinese)
- Madeira SC, Oliveira AL (2004) Biclustering algorithms for biological data analysis: a survey. *IEEE/ACM Transactions on Computational Biology and Bioinformatics*, **1**, 24–45.
- Magurran AE (2004) *Measuring Biological Diversity*. Blackwell Publishing, Oxford.
- Margalef DR (1958) Information theory in ecology. *General Systems*, **3**, 36–71.
- McCune B, Grace JB (2002) *Analysis of Ecological Communities*, pp. 75–76. MjM Software, Gleneden Beach, Oregon.
- McCune B, Mefford MJ (1999) *PC-ORD. Multivariate Analysis of Ecological Data*. Version 5.0. MjM Software, Gleneden Beach, Oregon, U.S.A.
- Mishra BP, Tripathi OP, Tripathi RS, Pandey HN (2004) Effects of anthropogenic disturbance on plant diversity and community structure of a sacred grove in Meghalaya, northeast India. *Biodiversity and Conservation*, **13**, 421–436.
- Moora M, Daniell T, Kalle H, Liira J, Püssa K, Roosaluuste E, Öpik M, Wheatley R, Zobel M (2007) Spatial pattern and species richness of boreonemoral forest understorey and its determinants—a comparison of differently managed forests. *Forest Ecology and Management*, **250**, 64–70.
- Ramovs BV, Roberts MR (2003) Understorey vegetation and environment responses to tillage, forest harvesting, and conifer plantation development. *Ecological Applications*, **13**, 1682–1700.
- Sagar R, Raghubanshi AS, Singh JS (2003) Tree species composition, dispersion and diversity along a disturbance gradient in a dry tropical forest region of India. *Forest Ecology and Management*, **186**, 61–71.
- Sagar R, Raghubanshi AS, Singh JS (2008) Comparison of community composition and species diversity of understorey and overstorey tree species in a dry tropical forest of northern India. *Journal of Environmental Management*, **88**, 1037–1046.
- Shannon CE, Weaver W (1949) *The Mathematical Theory of Communication*. University of Illinois Press, Urbana.
- Simpson EH (1949) Measurement of diversity. *Nature*, **163**, 688.
- Singh JS (2002) The biodiversity crisis: a multifaceted review. *Current Science*, **82**, 638–647.
- Stallins JA (2002) Dune plant species diversity and function in two barrier island biogeomorphic systems. *Plant Ecology*, **165**, 183–196.
- Sukumaran S, Jeeva S, Raj ADS, Kannan D (2008) Floristic diversity, conservation status and economic value of miniature sacred groves in Kanyakumari district, Tamil Nadu, southern Peninsular India. *Turkish Journal of Botany*, **32**, 185–199.
- Wang DP (汪殿蓓), Ji SY (暨淑仪), Chen FP (陈飞鹏), Xing FW (邢福武), Peng SL (彭少麟) (2003) A study on the spe-

- cies diversity and succession situation of natural forest communities in Nanshan District, Shenzhen City. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **23**, 1415–1422. (in Chinese with English abstract)
- Yu LZ (于立忠), Zhu JJ (朱教君), Kong XW (孔祥文), Hu WL (胡万良), Tan XR (谭学仁) (2006) The effects of anthropogenic disturbances (thinning) on plant species diversity of *Pinus koraiensis* plantations. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **26**, 3757–3764. (in Chinese with English abstract)
- Yuan JW, Liu JL (2009) Fengshui forest management by the Buyi ethnic minority in China. *Forest Ecology and Management*, **257**, 2002–2009.
- Zhang YX (张永夏), Chen HF (陈红锋), Qin XS (秦新生), Zhang RJ (张荣京), Xing FW (邢福武) (2007) Characteristics and species diversity of *Syzygium odoratum* community in Dapen Peninsula, Shenzhen. *Guihaia* (广西植物), **27**, 596–603. (in Chinese with English abstract)
- Zhu JJ, Mao ZH, Hu LL, Zhang JX (2007) Plant diversity of secondary forests in response to anthropogenic disturbance levels in montane regions of northeastern China. *Journal of Forest Research*, **12**, 403–416.
- Zhuang XY, Corlett RT (1997) Forest and forest succession in Hong Kong, China. *Journal of Tropical Ecology*, **14**, 857–866.
- Zimmerman GM, Goetz H, Mielke PW (1985) Use of an improved statistical method for group comparisons to study effects of prairie fire. *Ecology*, **66**, 606–611.

(责任编辑: 郝占庆 责任编辑: 周玉荣)