

# 人为干扰对城市森林灌草层植物多样性的影响 ——以厦门市为例

尹 锴<sup>1</sup>, 崔胜辉<sup>1,\*</sup>, 石龙宇<sup>1</sup>, 吝 涛<sup>1</sup>, 郭青海<sup>1</sup>, 吕 静<sup>2</sup>

(1. 中国科学院城市环境研究所, 厦门 361021; 2. 厦门大学生命科学学院, 厦门 361005)

**摘要:**以厦门城市森林林下层植被为研究对象,重点研究台湾相思群落中林下灌草层植物多样性与土地利用类型、人为干扰程度之间的相关性;选用基于重要值的 4 种多样性指数,比较不同邻接用地类型城市森林群落多样性的差异;运用主成分分析、CCA 排序以及多元回归等方法对城市森林灌草层植物多样性格局进行解释。结果表明:人为踩踏、垃圾堆积程度、人为挖掘、可到达容易程度等因子对厦门城市森林灌草层植物多样性分布格局有重要影响;厦门城市森林群落草本层  $\beta$  多样性沿着邻接商业用地、交通用地、工业用地、居住用地的方向逐渐增加,而灌木层  $\beta$  多样性沿着该环境梯度的方向却逐渐降低。

**关键词:**城市森林;植物多样性;环境梯度;人为干扰

文章编号:1000-0933(2009)02-0563-10 中图分类号:Q143,Q16,Q948,X176 文献标识码:A

## Human-induced disturbance on the understory plant diversity of urban forest: a case study of Xiamen

YIN Kai<sup>1</sup>, CUI Sheng-Hui<sup>1,\*</sup>, SHI Long-Yu<sup>1</sup>, LIN Tao<sup>1</sup>, GUO Qing-Hai<sup>1</sup>, LÜ Jing<sup>2</sup>

1 Institute of Urban Environment, Chinese Academy of Sciences, Xiamen 361021, China

2 School of Life Sciences, Xiamen University, Xiamen 361005, China

*Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(2): 0563 ~ 0572.

**Abstract:** This study is aimed at understanding anthropogenic impact on the understory plant diversity around the municipal area of Xiamen in Fujian Province, SE China. Four indexes were employed to differentiate the diversity of urban forests adjacent to different land use types. Principle Component Analysis (PCA) and Canonical Correspondence Analysis (CCA) methods were applied in our study. The results showed that human trample, dustheap, digging, accessibility and other factors have great influence on the understory plant diversity. Herb  $\beta$  diversity of urban forest increased along the land use gradient from commercial, transportation, industrial to residential, while shrub  $\beta$  diversity decreased gradually along this environment gradient.

**Key Words:** urban forest; plant diversity; environment gradient; disturbance

城市化进程改变了城市及周边区域的植被分布格局,城市化影响下植物多样性格局及其演变过程已经成为当前生态学研究的重点领域。城市化被许多学者认为是改变自然环境、引起大多数当地物种快速减少和灭绝的最主要的驱动力之一<sup>[1]</sup>。以土地利用方式的剧烈改变为标志的城市化进程,通过改变生境条件、增加不透水层面积、增加生境异质性等过程使植物群落本身发生形态、结构、生态学过程发生变化,甚至改变其演化方向。有研究表明,森林生物多样性的破坏会严重危害森林生态系统的稳定,造成森林整体生态防护功能下

**基金项目:**中国科学院知识创新工程重要方向资助项目(KZCX2-YW-422);厦门市科技计划资助项目(3502Z20072002);中国科学院知识创新工程青年人才领域前沿资助项目

收稿日期:2008-07-01; 修订日期:2008-10-23

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: shcui@ iue. ac. cn

降,从而威胁城市生态安全<sup>[2~4]</sup>。有关城市化对生物多样性的影响以及保护对策,国外开展了较多的基础性和理论性研究<sup>[5~12]</sup>,而我国此方面的基础研究相对缺乏<sup>[13~17]</sup>。国内城市森林研究多以城市森林群落结构、城市森林生态服务功能、城市森林网络建设、城市森林生态规划设计、城市森林的维护与管理等方面为主<sup>[18]</sup>,关于多种人为干扰环境梯度对城市森林物种多样性及其分布格局的综合影响研究并不多见<sup>[13~15]</sup>,揭示城市植物多样性对人为干扰的响应与变化规律的研究则更为少见。

关注城市化影响下的植物多样性格局研究,对于明确植被演替的格局与过程以及生物多样性保护都具有积极意义。本文选择厦门处于自然、半自然状态的城市森林为研究对象,运用梯度分析法反映植物多样性及其分布格局在不同人为干扰程度下的变化情况,探测人为干扰下的城市微生境变化对于城市森林林下层植被的作用,进而揭示城市化胁迫效应对城市森林结构与功能的影响机制,阐明其城市化梯度下的植物多样性格局及其成因,以期为城市远景规划及城市森林景观规划中原、次生植被的合理利用提供基础数据支撑。

## 1 研究区概况

厦门市是闽东南部的沿海城市,地理坐标东经 117°53' ~ 118°25',北纬 24°25' ~ 24°54',是我国改革开放的窗口和海峡两岸交流的前沿。厦门市气候属南亚热带海洋性季风气候,年均气温为 20.7℃,年降雨量 1143.5mm,相对湿度 76%,雨热同期,热量充足。地貌以低丘、台地等类型为主,地势自西北向东南倾斜,并向南延伸入海,地形复杂多样,丘陵山地面积占全市面积的三分之二。土壤为砖红性红壤,母岩多为粗晶花岗岩,地带性植被类型为亚热带季风常绿阔叶林。厦门特区经过 27 年的发展,完成了从传统农业地区向高度城市化区域的转变,高速城市化进程已造成土地利用和覆盖的深刻改变。目前,厦门市区内早已不存在原始森林,岛内现存大片城市森林多为建国初期厦门人民绿化荒山海岛所营造的马尾松、台湾相思等人工林,集中分布在中北部的仙岳山、狐尾山以及南部万石山、东坪山等山体。现有植被中,乔木以台湾相思 (*Acacia confusa*)、马尾松 (*Pinus massoniana*)、木麻黄 (*Casuarina equisetifolia*)、柠檬桉 (*Eucalyptus citriodora*)、朴树 (*Celtis sinensis*) 等为主,小乔木或灌木有山牡荆 (*Vitex quinata*)、水杨梅 (*Adina rubella*) 等,灌木有桃金娘 (*Rhodomyrtus tomentosa*)、冬青 (*Ilex purpurea*)、石斑木 (*Rhaphiolepis indica*)、马樱丹 (*Lantana camara*) 等,地被植物有芒萁 (*Picranoptens dichotoma*)、五节芒 (*Miscanthus floridulu*) 等。

## 2 研究方法

### 2.1 样地设置

研究区以厦门市东坪—万石山山体及周边商业等社会活动密集的地块为中心,选取毗邻主要城市建设用地类型(居住用地、商业用地、工业用地、交通用地)的四类残留城市森林生境。为保证样方立地条件的可比性,均选取以台湾相思为建群种的森林群落为研究对象。

表 1 样地基本情况

Table 1 Stands characteristics of different quadrats

地点 Sites	地理坐标 Latitude and longitude	海拔(m) Altitude	坡度(°) Slope	坡向(°) Aspect	郁闭度(%) Canopy cover	邻接用地类型 Land use type
狮山 Lion Hill	N24°26'24" E118°06'09"	70.5	15	SW45	80	居住用地 Residential
梧村山 Wucun Hill	N24°27'54" E118°06'34"	54.8	9	NW35	81.6	商业用地 Commercial
钟山 Zhong Hill	N24°26'57" E118°05'03"	55.5	19.5	S	78	交通用地 Transportation
无尾塔山 Wuweita Hill	N24°28'27" E118°07'45"	54.8	14	SW30	86	工业用地 Industrial

### 2.2 野外调查与取样

于 2007 年 8 月采用系统取样法,从城市森林边缘向森林内部,每隔 10m 设置一个面积 10m × 10m 乔木样方,在乔木样方内,设置 1 个 5m × 5m 的灌木样方,每个灌木样方内设 1 个 1m × 1m 的草本样方。每个城市建

设用地类型设置 5 个乔木样方,共计 20 个样方。乔木样方内记录各个乔木(高度大于 1.37m)的种名、树高、胸径等。灌木草本样方运用等级分类法,目测所有物种的盖度,记录其种名、个体数目,并测量高度及丛径。2008 年 4 月对物种进行复查。

记录的微生境因子有:海拔、坡度、坡向、郁闭度、林型,灌木层高度、灌木层盖度、草本层高度、草本层盖度、枯落物层厚度、枯落物层盖度。

记录的人为干扰因子有:样方距离森林边缘的水平距离、样方内小路的总面积、火烧迹地数、丢弃垃圾数、瓦砾数、伐桩数、墓地数以及有无采挖等人为干扰方式。

### 2.3 数据处理

分层片计算各个样地的林下层物种的相对盖度、相对多度和相对高度。然后,分别计算灌木和草本层中各物种的重要值,计算公式为:

$$\text{灌木 IV} = (\text{相对多度} + \text{相对高度} + \text{相对盖度})/300$$

$$\text{草本 IV} = (\text{相对高度} + \text{相对盖度})/200$$

植物群落多样性指数评价,采用基于重要值的  $\alpha$  和  $\beta$  物种多样性两大类指数。 $\alpha$  物种多样性指数以反映物种丰富度的 Partrick 丰富度指数、物种分布的 Simpson 多样性指数、基于信息论的 Shannon 指数以及偏重物种分布均匀程度的 Pielou 均匀度指数。分别计算各个样方的草本层和灌木层密度,作为植被数量特征。

群落间的  $\beta$  多样性指数选用 Jaccard(1901)相似性系数:

$$C_s = \frac{c}{a + b - c}$$

式中,  $C_s$  为群落相似性系数;  $a$  为群落 A 中所含的物种数;  $b$  为群落 B 中所含的物种数;  $c$  为群落 A、B 共有的物种数。

本研究中的主成分分析、相关分析均采用 SPSS13.0 软件。多元排序方法采用 CCA,软件选用 CANOCO4.5 版本。

## 3 结果与分析

### 3.1 物种组成与植物多样性

对厦门城市森林林下层植物群落的物种数量进行对数正态序列检验,结果显示其卡方值均小于 12.59,符合对数正态序列模型(表 2)。本研究中共记录到植物 54 种,其中乔木 10 种,灌木 15 种,草本 19 种,藤本 10 种。

表 2 林下层群落物种数量的对数正态序列模型检验

Table 2 The normal sequence model test on understory species quantity of urban forest

对数正态序列模型 Normal sequence model	狮山 Lion Hill	梧村山 Wucun Hill	钟山 Zhong Hill	无尾塔山 Wuweita Hill
个体数 Total number	439	1980	777	556
物种数 Species number	11	13	15	16
方差 Variance	0.3811	0.2677	0.4634	0.5911
自由度 df	6	8	7	6
显著水平 Significant level	0.4815	0.1512	0.9598	0.2911
卡方值	5.5	12	2	7.33

总体上看,草本层中占据优势的物种分别为荩草(*Arthraxon hispidus*) (33.15%)、豨薟(*Siegesbeckia orientalis*) (24.57%)、拉拉藤(*Galium aparine* var. *tenerum*) (8.69%)、酸浆草(*Oxalis corniculata*) (2.89%)、朴树幼苗(0.41%)和马樱丹幼苗(1.90%)等,括号内为其重要值的平均值。灌木层主要物种有马樱丹(31.04%)、朴树(8.76%)、山牡荆(9.35%)、水杨梅(3.76%)、土密树(*Bridelia monoica*) (6.05%) 和五节芒(9.79%)等。不同样方灌草层的  $\alpha$  多样性指数如表 3 所示。

表 3 基于重要值的灌草层  $\alpha$  多样性指数Table 3 Understory plant diversity of  $\alpha$  index based on the important value

样方号 Plot number	生活型* Life form	丰富度指数 Partrick	多样性指数 Simpson	多样性指数 Shannon	均匀度指数 Pielou
1	H	5	0.5020	1.3807	0.5946
	S	3	0.5609	1.3022	0.8216
2	H	4	0.4888	1.2591	0.6296
	S	4	0.5430	1.4906	0.7453
3	H	6	0.3839	1.0742	0.4155
	S	4	0.6780	1.6668	0.8334
4	H	9	0.2979	1.0336	0.3261
	S	5	0.7690	2.1898	0.9431
5	H	5	0.2854	0.8256	0.3556
	S	4	0.4481	1.2464	0.6232
6	H	5	0.5513	1.5163	0.6531
	S	2	0.4539	0.9257	0.9257
7	H	6	0.5961	1.6619	0.6429
	S	7	0.7853	2.3399	0.8335
8	H	2	0.4910	0.9799	0.9799
	S	8	0.8261	2.6994	0.8998
9	H	3	0.0988	0.3407	0.2149
	S	11	0.8889	3.2529	0.9403
10	H	3	0.2874	0.7835	0.4944
	S	11	0.8814	3.2231	0.9317
11	H	8	0.4727	1.4424	0.4808
	S	8	0.8569	2.8424	0.9475
12	H	4	0.5474	1.3648	0.6824
	S	7	0.7718	2.4294	0.8654
13	H	3	0.2389	0.6887	0.4345
	S	5	0.6668	1.8878	0.8130
14	H	6	0.4409	1.4234	0.5506
	S	11	0.8612	3.0606	0.8847
15	H	2	0.1551	0.4154	0.4154
	S	4	0.4385	1.2441	0.6221
16	H	5	0.2652	0.8766	0.3775
	S	6	0.7110	2.0891	0.8082
17	H	6	0.7038	2.0306	0.7855
	S	8	0.8165	2.6182	0.8727
18	H	4	0.6075	1.6237	0.8118
	S	8	0.8423	2.7743	0.9248
19	H	3	0.4771	1.1951	0.7540
	S	7	0.8180	2.5821	0.9198
20	H	5	0.6389	1.6945	0.7298
	S	7	0.8139	2.5825	0.9199

H:草本 Herb,S:灌木 Shrub

### 3.2 人为干扰下的环境变量分析

除了选取植被生态学调查中常见的环境变量以外,依据厦门城市森林调查的实际情况,另增添能够反映人为干扰程度的 10 个环境变量作为观测指标,环境变量统计详见表 4。

对所有环境变量进行相关分析可知,共有海拔与小路面积 0.647 (\*\*),草本层盖度与枯落物盖度 -0.982 (\*\*),样方内小路数与小路面积 0.682 (\*\*),小路数与瓦砾数 -0.629 (\*\*),小路面积与瓦砾数 -0.699 (\*\*),垃圾数与草本层盖度 0.580 (\*\*),人为挖掘数与挖掘面积 0.826 (\*\* )等 7 对环境变量达到

极显著相关水平;海拔与距林缘距离 0.525(\*),坡度与小路数 0.449(\*),坡度与垃圾数 0.475(\*),草本层高度与瓦砾数 0.519(\*),小路面积与墓地 0.552(\*),灌木层盖度与火烧迹地数 0.462(\*),等 6 对环境变量达到显著相关水平;其中 \* 表示 0.05 的显著水平; \*\* 表示 0.01 的极显著水平。但是所观测的 19 个环境因子之间并不完全相互独立,例如样方内小路数与小路面积、样方内挖掘数与挖掘面积两对环境变量。

表 4 环境变量的描述性统计

Table 4 Descriptive Statistics of different environmental variables

项目 Name	缩写 ab.	极差 Range	均值 Mean	标准误 Std. Error	标准差 Std. Deviation	方差 Variance
海拔 Altitude(m)	ALTITUDE	32.2	58.93	2.28	10.20	104.01
坡度 Slope(%)	SLOPE	20	12.18	1.40	6.27	39.30
郁闭度 Canopy cover(°)	CC	95	77.95	4.69	20.96	439.52
草本盖度 Grass cover(%)	GC	81	32.20	5.62	25.15	632.35
草本高度 Grass height(cm)	GH	14	7.67	0.94	4.22	17.83
枯落物盖度 Litter cover(%)	LC	82	66.20	5.67	25.36	643.09
枯落物高度 Litter height(cm)	LH	4	2.75	0.27	1.20	1.43
距林缘距离 Distance to forest edge(m)	DTFE	55	28.75	3.57	15.97	254.93
样方内小路数 Road number(个)	RN	2	1.05	0.14	0.60	0.37
小路面积 Road area(m <sup>2</sup> )	RA	3.15	1.29	0.18	0.79	0.63
垃圾数 Rubbish(个)	RUBBISH	7	2.15	0.46	2.06	4.24
墓地区数 Grave(个)	GRAVE	3	0.15	0.15	0.67	0.45
人为挖掘数 Dig number(个)	DN	5	1.55	0.33	1.47	2.16
人为挖掘面积 Dig area(m <sup>2</sup> )	DA	3.5	0.76	0.23	1.05	1.09
瓦砾数 Tile(个)	TILE	6	0.95	0.40	1.79	3.21
灌木盖度 Shrub cover(%)	SC	65	16.53	4.38	19.59	383.78
岩石盖度 Rock cover(%)	ROCK	35	3.40	1.74	7.80	60.88
伐桩数 Stake(个)	STAKE	5	0.40	0.27	1.19	1.41
火烧迹地数 Burning stand(个)	BS	1	0.05	0.05	0.22	0.05

因此,为了得到相互独立的环境变量指标,对 19 个环境因子进行主成分分析。首先对环境变量进行 Equamax 平均正交旋转,旋转后的因子特征值在 1.59 以上的因子共有 7 个,其累计贡献率达到了 83.37%,因此选取前 7 个因子作为主成分。由旋转后的因子载荷矩阵可知:第一主成分中小路数和小路面积的负荷系数达到 0.85 以上,且均表述的是人为踩踏的信息,故可以称之为“人为踩踏程度”因子;第二主成分中草本盖度负荷系数达到 -0.9653,而枯落物层的分布特征又与草本盖度呈负相关,故命名为“草本茂密程度”因子;第三主成分与海拔高度、距林缘水平距离呈负相关关系,主要反映人们进入森林的难易程度,可称为“到达容易程度”因子;第四主成分选取人为挖掘数、挖掘面积,称为“人为挖掘”因子;第五主成分与垃圾数、灌木层盖度呈正相关关系,主要反映垃圾在森林灌木层中累积程度,可称为“垃圾堆积”因子;第六主成分选取火烧迹地数、枯落物厚度,反映样地的火干扰情况;第七主成分选取郁闭度、伐桩数,主要反映森林的经营管理状况。图 1 是“人为踩踏程度”、“草本茂密程度”以及“到达容易程度”3 个主成分的因子载荷图,直观地反映各个环境变量在 3 个主成分轴上的分布情况。

### 3.3 植物多样性差异的环境变量解释

厦门城市森林林下草本层的 Partrick 丰富度指数均值为 4.7, Simpson 多样性指数均值为 0.43, Shannon 多样性指数均值为 1.18, Pielou 均匀度指数均值为 0.57;灌木层 Partrick 丰富度指数的均值为 6.5, Simpson 多样性指数均值为 0.72, Shannon 多样性指数均值为 2.22, Pielou 均匀度指数均值为 0.85, 灌木层的各项多样性指数均高于草本层,各样方的  $\alpha$  多样性指数详见表 3。草本层多样性总体上随着距离林缘的距离呈现先增加再降低,最后又逐渐增加的趋势;灌木层多样性则随着距离林缘的距离呈现先增加后降低的趋势。

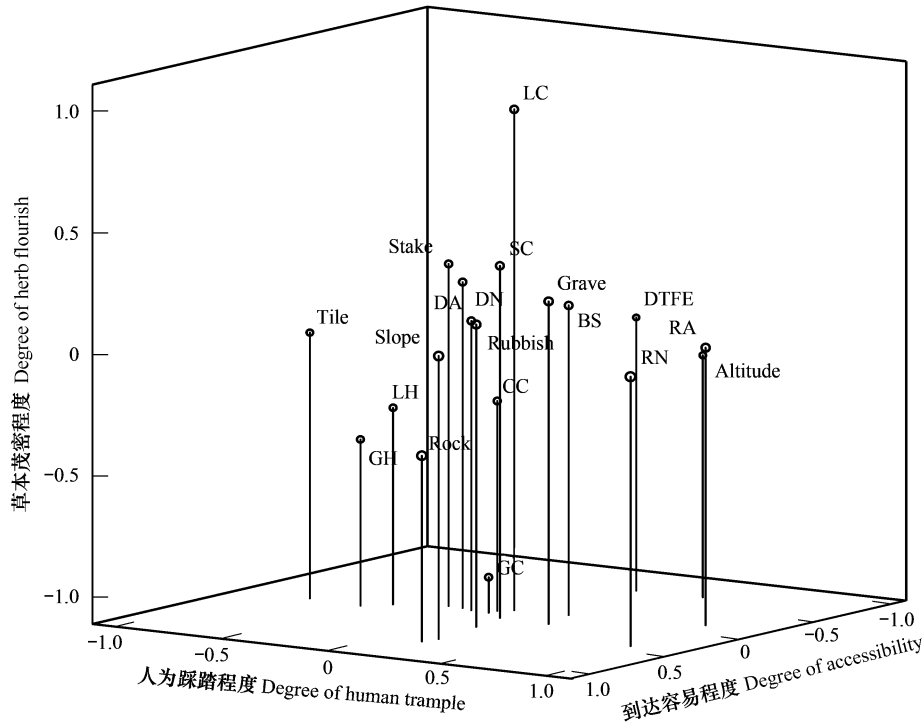


图1 环境变量载荷图

Fig. 1 Environment factor component plot in rotated space

为了进一步揭示灌草群落植物多样性在人为干扰环境梯度下的差异,特定义不同样方的草本层密度、草本层多样性指数、灌木层密度和灌木多样性指数为植被矩阵,结合对应的环境变量矩阵进行 CCA 排序。排序方法是将样方排列在一定的空间,使得排序轴能够反映一定的环境梯度,从而解释植物种和植物群落的空间分布与环境因子之间的关系<sup>[5]</sup>。CCA 排序结果显示(图 2),草本层密度与草本层盖度、样方内小路面积呈正相关,草本层多样性指数均与瓦砾数、样方内人为挖掘面积呈正相关,灌木层密度与灌木层盖度呈正相关,灌木层多样性指数与样方内人为挖掘数、人为挖掘面积、枯落物盖度、伐桩数呈正相关。

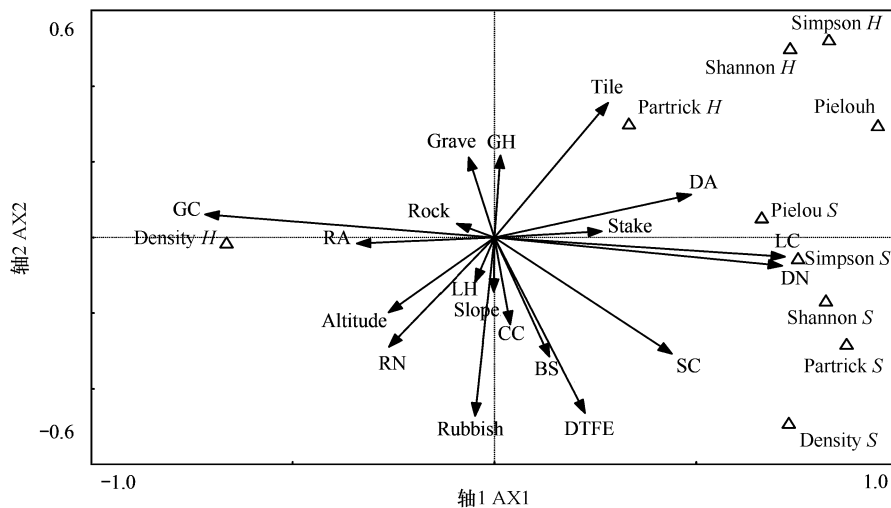


图2 植被信息与环境变量的 CCA 排序图

Fig. 2 CCA ordination diagram of vegetation info and environment factor

草本层密度与道路面积呈正相关,表明人们在森林内游憩时,更倾向于选择周围草本层盖度大的地方,即景观较为优美的地段。样方内小路数、小路面积与草本层植物多样性呈负相关,表明人为踩踏降低了草本层

的植物多样性,同时反映出瓦砾、人为挖掘、伐桩等因素破坏了景观,人们不愿在此类环境下游憩。草本层多样性与瓦砾、人为挖掘面积呈正相关,反映一定程度的干扰有助于草本层植物多样性的增加。

灌木层多样性与人为挖掘数、人为挖掘面积、伐桩数、枯落物盖度呈正相关,表明一定程度的疏林管理措施能够增加灌木层的多样性,而灌木层多样性的增加反过来有助于枯落物的累积。灌木层密度与灌木层盖度呈正相关关系,此外还与人为挖掘数、垃圾数、距林缘距离呈正相关,表明距直接人为干扰因素越远,灌木层长势越好,其附着垃圾和枯落物的能力越强。

### 3.4 不同邻接用地类型的植物多样性差异分析

样方与环境变量的 CCA 排序图见图 3。由图 3 可以看出,前 5 个样方分布的区域主要是墓地与小路面积两个环境变量所指示的范围,故邻接居住用地城市森林的人为干扰活动以游憩和扫墓有关。位于商业用地周边样方 6~10 的分布在环境轴上无明显的规律可循,表明在人类活动过于频繁的地段,对植物群落的干扰较少发生。邻接交通用地的样方中,除了样方 11 外,其余均与垃圾数、火烧迹地数、灌木层盖度呈正比,说明邻接交通用地城市森林的灌木层茂盛,较少有人游憩、休闲,干扰以丢弃垃圾和人为引起的火灾为主。邻接工业用地的样方中,除了样方 16 外,其余均与瓦砾数、人为挖掘面积、伐桩数呈正比,反映出临近工厂的城市森林更容易受到砍伐、挖掘以及建筑垃圾堆放等人为干扰影响。

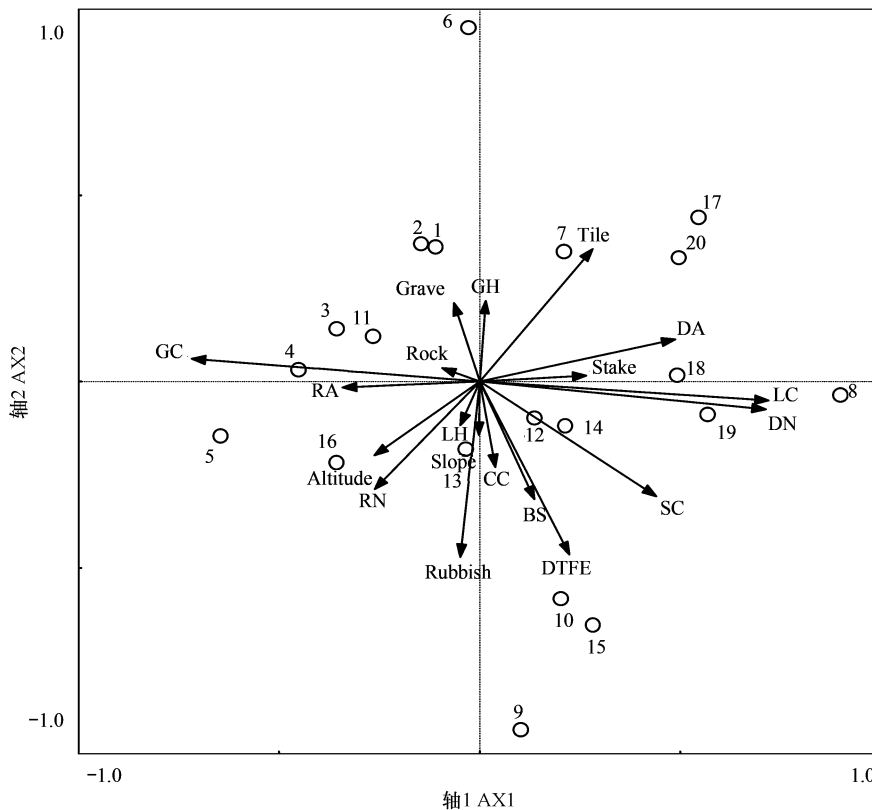


图 3 样方与环境变量的 CCA 排序图

Fig. 3 CCA ordination diagram of vegetation sample and environment factor

但是从邻接土地利用类型来看,邻接居住用地和交通用地的城市森林林下植被多样性较低,邻接工业用地的林下植被多样性反而为四类用地类型中最高(表 5)。

为了能够反映不同环境梯度上物种的构成差异或替代程度,特选用 Jaccard 相似性系数对城市森林灌草层植物  $\beta$  多样性进行计算(表 6)。总体而言,厦门城市森林灌草层植物的 Jaccard 相似性系数在不同邻接用地类型之间变化差异不大,反映出群落相似性对于城市用地类型的变化不敏感。而邻接商业用地、交通用地和工业用地类型的灌木群落 Jaccard 相似性系数较高,群落间物种替换速率较低,说明邻近此 3 类用地类型的

城市森林灌木层物种组成较为一致。

表 5 不同邻接用地类型灌草群落的  $\alpha$  多样性

Table 5 The  $\alpha$  diversity of understory adjacent different land use types

	生活型 Life form	Partrick 丰富度指数	Simpson 多样性指数	Shannon 多样性指数 ( $H$ )	Pielou 均匀度指数
居住用地 Residential	H	5.8	0.3916	1.1146	0.4643
	S	5	0.5998	1.5792	0.7933
商业用地 Commercial	H	3.8	0.4049	1.0565	0.5970
	S	7.8	0.7671	2.4882	0.9062
交通用地 Transportation	H	4.6	0.3710	1.0669	0.5127
	S	7	0.7190	2.2929	0.8265
工业用地 Industrial	H	4.6	0.5385	1.4841	0.6917
	S	7.2	0.8003	2.5292	0.8891

表 6 不同邻接用地类型灌草群落的  $\beta$  多样性

Table 6 The  $\beta$  diversity of understory adjacent different land use types

项目 Item	商业用地 Commercial	交通用地 Transportation	工业用地 Industrial	居住用地 Residential
草本 Herb				
商业用地	1.00	0.13	0.22	0.14
交通用地	0.13	1.00	0.23	0.22
工业用地	0.22	0.23	1.00	0.25
居住用地	0.14	0.22	0.25	1.00
灌木 Shrub				
商业用地	1.00	0.39	0.40	0.17
交通用地	0.39	1.00	0.32	0.17
工业用地	0.40	0.32	1.00	0.18
居住用地	0.17	0.17	0.18	1.00

城市森林群落草本层  $\beta$  多样性沿着邻接商业用地、交通用地、工业用地、居住用地的方向逐渐增加,在这一环境梯度上,草本层物种的替换速率逐渐下降,工业用地与居住用地群落之间的相似性达到最高,为 0.25。而城市森林群落灌木层  $\beta$  多样性沿着该环境梯度的方向却逐渐降低,工业用地与居住用地群落之间的相似性达到最低值 0.18,反映在该环境梯度上灌木层物种替换速率逐渐增大,群落间相似物种组成降至最低。这点主要由于居住用地周围的人为活动较多,灌木层受到干扰严重所致。而工业用地的城市森林由于砍伐、挖掘等人为干扰因素导致乔木层密度降低,因此灌木层多样性增加。

## 4 讨论

### 4.1 影响植物多样性的人为干扰环境变量

随着人类干扰强度由乡村、郊区向城市中心区逐渐增大,植物多样性呈明显的递减趋势<sup>[12]</sup>。但是对于影响城市森林灌草层植物多样性的人为环境变量,研究者们却未给予相应的重视。马克明等深入研究了河北省遵化市城郊和乡村的植物多样性差异<sup>[13]</sup>,王应刚等比较了太原市城区与郊区植物种类的变化<sup>[14]</sup>,郭烁等在研究快速城市化过程中深圳森林小群落结构特征及其多样性过程中,尝试基于蓄积指数和群落综合指数  $K$  的多样性比较方法<sup>[15]</sup>;但均未涉及影响植物多样性格局的环境变量及其量化评价分析。

对影响厦门城市森林灌草层植物多样性的环境变量进行分析表明,人为踩踏、垃圾堆积程度、人为挖掘、可到达容易程度等因子对其多样性分布格局有重要影响。相较而言人们更倾向于选择周围草本层盖度大的城市森林内游憩,这是因为草本层越密走在上面越松软,更加能够激起人们休闲放松的欲望。但是人为踩踏



同时降低了草本层的植物多样性,因此样方内小路数、小路面积与草本层植物多样性呈负相关。有研究表明较多的公众压力(例如人为踩踏)能够显著改变森林边缘的物种数目和类型<sup>[20]</sup>,这点与本研究的結果相一致。另外,在城市绿地建设中大面积引种外来植物品种,同样会造成大量本地原生植被逐渐被外来种替代乃至消失<sup>[6]</sup>。

人们的行为方式,如随意堆弃瓦砾、肆意挖掘以及保留伐桩等干扰因素破坏城市森林的整体景观和植物多样性。Van der Veken 等人对比利时城市 Turnhout 植物种丧失情况进行了为期长达 120a 的监测,结果发现物种的繁荣与否与生境的营养程度休戚相关,城市化和生境退化是造成物种多样性和植被组成改变的主要诱因<sup>[9]</sup>。本研究也进一步反映了城市化和人为干扰对植物多样性和组成改变的作用。厦门城市森林草本层多样性与瓦砾数、人为挖掘面积呈正相关,反映一定程度的干扰反而有助于草本层植物多样性的增加;灌木层多样性与人为挖掘、伐桩呈正相关,表明一定程度的疏林管理措施有利于增加灌木层的多样性水平。

#### 4.2 不同邻接用地类型的植物多样性差异

不同邻接用地类型对于城市森林植物物种丰度和构成的影响研究,国外已有相关报道<sup>[10,11]</sup>。Guirado 等人为了弄清邻接土地利用方式、距林缘距离、森林缀块大小以及由此产生的交互作用对于城市森林植物物种丰度和构成的影响,对西班牙东北部的大都市巴塞罗那进行了调查。共选择了 20 块样地,分别各选择 10 块临近农田和比邻城市的样地。在距林缘 10、50m 和 100m 处,分别调查维管束植物和人类出入的频次。选用多维尺度排序方法来探测物种聚类变化的模型,研究这些模型与物种丰富度和人为因子的关系。结果发现森林大小类别是影响伴人物种的主要因素,随着从林缘到林内距离的深入,伴人物种的数量呈现下降趋势。在城市区小缀块罕见种的数量同样低于大缀块,说明林地缀块大小和邻接土地利用类型是物种丰度和组成的重要因素<sup>[11]</sup>。

厦门城市森林不同邻接用地类型的灌草层植物  $\alpha$  多样性分布格局表明,邻接居住用地和交通用地的城市森林林下植被多样性较低,邻接工业用地的林下植被多样性为四类用地类型中最高。这点与 Turner 等人的研究结果相符,他们研究了加拿大哈利法克斯的市内居民区、城市公园半自然群落和近郊自然生境的植物多样性和群落指示种,发现居民区植被体现了城市森林最为常见的发育状态(即人为干扰下植被)<sup>[8]</sup>。

厦门城市森林群落草本层  $\beta$  多样性沿着邻接商业用地、交通用地、工业用地、居住用地的方向逐渐增加,而灌木层  $\beta$  多样性沿着该环境梯度的方向却逐渐降低。

邻接商业用地、交通用地和工业用地灌木群落较高的  $\beta$  多样性,可能是以下 3 方面的原因:

(1) 在人类活动过于频繁的商业用地周围,即使有城市森林但是人们往往不会选择直接穿入林内游憩。这是因为在大多数邻近商业区的城市森林都铺有专用的景观廊道,若不走景观廊道而直接踩踏植被,容易招致园林绿化部门的处罚和路人道德上的谴责。

(2) 由于城市规模的扩张,现代交通方式的转变,城市建成区内兴建大量的立交桥、山体隧道等,因此造成交通用地周边森林人迹罕至,游憩功能降低。

(3) 由于城市核心区工业转型以及城市林业保护政策的制定,邻接工业用地的城市森林所受人干扰影响逐渐降低。但由于前期干扰的滞后效应,以及森林景观美景度较低导致较少有人游憩,因此工业用地的灌草层多样性为最高。相对于等面积的乡村生态系统而言,城市生态系统具有更高的物种丰富度,这点可被解释为城市工业区具有较高的生境多样性<sup>[19]</sup>。

#### References:

- [ 1 ] Huste A, Boulinier T. Determinants of local extinction and turnover rates in urban bird communities. *Ecological Applications*, 2007, 17: 168 – 180.
- [ 2 ] McKinney M L. Urbanization, biodiversity, and conservation. *Bio Science*, 2002, 52: 883 – 890.
- [ 3 ] Grove J M, Troy A R, O'Neil Dunne J P M, et al. Characterization of households and its implications for the vegetation of urban ecosystems. *Ecosystems*, 2006, 9: 578 – 597.
- [ 4 ] MacDonald K, Rudel T K. Sprawl and forest cover: what is the relationship? *Applied Geography*, 2005, 25: 67 – 79.

- [ 5 ] Zhang J T, Picket S A. Gradient analysis of forest vegetation along an urban-rural transect in newyork. *Acta Phytocologica Sinica*, 1998, 22(5) :392 – 397.
- [ 6 ] Kowarik I. The role of alien species in urban flora and vegetation. In: Pysek P, eds. *Plant Invasions. General Aspects and Special Problems*. Amsterdam ( Netherlands ): SPB Academic, 1995. 85 – 103.
- [ 7 ] Godefroid S, Monbaliu D, Koedam N. The role of soil and microclimatic variables in the distribution patterns of urban wasteland flora in Brussels, Belgium. *Landscape and Urban Planning*, 2007, 80:45 – 55.
- [ 8 ] Turner K, Lefler L, Freedman B. Plant communities of selected urbanized areas of Halifax, Nova Scotia, Canada. *Landscape and Urban Planning*, 2005, 71:191 – 206.
- [ 9 ] Van der Veken S, Verheyen K, Hermy M. Plant species loss in an urban area (Turnhout, Belgium) from 1880 to 1999 and its environmental determinants. *Flora*, 2004, 199:516 – 523.
- [ 10 ] Borgmann K L, Rodewald A D. Forest Restoration in Urbanizing Landscapes: Interactions Between Land Uses and Exotic Shrubs, 2005, 13:334 – 340.
- [ 11 ] Guirado M, Pino J, Roda F. Understorey plant species richness and composition in metropolitan forest archipelagos: effects of forest size, adjacent land use and distance to the edge. *Global Ecology and Biogeography*, 2006, 15:50 – 62.
- [ 12 ] Moffatt S F, McLachlan S M. Understorey indicators of disturbance for riparian forests along an urban-rural gradient in Manitoba. *Ecological Indicators*, 2004, 4:1 – 16.
- [ 13 ] Ma K M, Fu B J, Guo X D. Impact of urbanization in rural areas on plant diversity: a case study in Zunhua City. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2001, 12, 837 – 841.
- [ 14 ] Wang Y G, Li J M, Li S L, *et al.* Effect of artificial interference on plant diversity in urban area. *Chinese Journal of Ecology*, 2004, 23(2) :102 – 110.
- [ 15 ] Guo L, Xia B C, Li N, *et al.* Analysis of microcommunity structure and its diversity of Shenzhen Urban Forest during rapid urbanization. *Scientia Silvae Sinicae*, 2006, 42(5) :69 – 74.
- [ 16 ] Li J S, Gao J X, Zhang X L, *et al.* Effect of urbanization on biodiversity: a review. *Chinese Journal of Ecology*, 2005, 24, 953 – 957.
- [ 17 ] Peng Y, Liu X H. Research progress in effects of urbanization on plant biodiversity. *Biodiversity Science*, 2007, 15(5) :558 – 562.
- [ 18 ] He X Y, Jin Y S, Zhu W Q, *et al.* Basic theory and research method of urban forest ecology. *Chin J Appl Ecol*, 2002, 13(12) :1679 – 1683.
- [ 19 ] Rebele F. Urban ecology and special features of urban ecosystems. *Global Ecology and Biogeography Letters*, 1994, 4:173 – 187.
- [ 20 ] Carreiro M M, Howe K, Parkhurst D F, *et al.* Variation in quality and decomposability of red oak leaf litter along an urban-rural gradient. *Biol. Fertil. Soils*, 1999, 30:258 – 268.

#### 参考文献:

- [ 5 ] 张金屯, Picket S A. “城-郊-乡”森林生态样带植被变化梯度分析. *植物生态学报*, 1998, 22(5) :392 ~ 397.
- [ 13 ] 马克明, 傅伯杰, 郭旭东. 农业区城市化对植物多样性的影响: 遵化的研究. *应用生态学报*, 2001, 12:837 ~ 841.
- [ 14 ] 王应刚, 李建梅, 李淑兰, 等. 人为干扰对城市地区植物多样性的影响. *生态学杂志*, 2004, 23(2) :102 ~ 104.
- [ 15 ] 郭涿, 夏北成, 李楠, 等. 快速城市化过程中深圳森林小群落结构特征及其多样性研究. *林业科学*, 2006, 42(5) :69 ~ 74.
- [ 16 ] 李俊生, 高吉喜, 张晓岚, 等. 城市化对生物多样性的影响研究综述. *生态学杂志*, 2005, 24:953 ~ 957.
- [ 17 ] 彭羽, 刘雪华. 城市化对植物多样性影响的研究进展. *生物多样性*, 2007, 15(5) :558 ~ 562.
- [ 18 ] 何兴元, 金莹杉, 朱文泉, 等. 城市森林生态学的基本理论与研究方法. *应用生态学报*, 2002, 13(12) :1679 ~ 1683.