

东莞城市绿地植物群落优势种群的生态位 和种间联结分析*

沈德才¹ 胡桢健² 陈跃洲¹ 罗永光¹

(1. 东莞市林业科学研究所/广东珠江口城市群森林生态系统国家定位观测研究站, 广东 东莞 523106;

2. 华南农业大学林学与风景园林学院, 广东 广州 510642)

摘要 为研究城市绿地植物优势种群生态位特征和种间关系, 以东莞市中心城区的 3 种城市绿地群落为研究对象开展植物群落调查, 分析不同绿地之间物种 α 多样性差异, 群落乔木、灌木和草本植物的重要值, 生态位宽度 Levins 指数和 Shannon 指数, 生态位重叠 (Pianka 指数), 以及种间关系。结果表明, 社区绿地灌木 Shannon-Wiener 多样性指数和物种丰富指数显著高于 ($P < 0.05$) 街头绿地。公园绿地草本 Shannon-Wiener 多样性指数和物种丰富度指数显著高于 ($P < 0.05$) 社区绿地。公园绿地乔木、灌木和草本中生态位宽度前 3 分别为荔枝 *Litchi chinensis* ($B_L = 6.13$, $B_S = 1.94$)、潺槁木姜子 *Litsea glutinosa* ($B_L = 9.49$, $B_S = 2.41$)、海金沙 *Lygodium japonicum* ($B_L = 20.73$, $B_S = 3.17$); 街头绿地乔木、灌木和草本中生态位宽度前 3 分别为紫薇 *Lagerstroemia indica* ($B_L = 4.15$, $B_S = 1.51$)、假连翘 *Duranta erecta* ($B_L = 3.53$, $B_S = 1.40$)、海芋 *Alocasia odora* ($B_L = 13.84$, $B_S = 2.72$); 社区绿地乔木、灌木和草本中生态位宽度前 3 分别为四季桂 *Osmanthus fragrans* ($B_L = 11.05$, $B_S = 2.56$)、幌伞枫 *Heteropanax fragrans* ($B_L = 8.44$, $B_S = 2.32$)、酢浆草 *Oxalis corniculata* ($B_L = 12.36$, $B_S = 2.78$)。Pianka 指数表明, 乔木优势种群间生态位重叠程度较低, 草本优势种群间生态位重叠程度较高。公园绿地主要物种间的总体关联性均呈显著正关联; 街头绿地乔木和草本的总体关联性呈显著正关联, 灌木主要物种间呈现显著负相关; 社区绿地乔木主要物种间呈现显著负相关, 灌木和草本主要物种间呈现显著正相关。生态位重叠指数与联结系数 AC 呈极显著正相关。东莞市中心城区 3 种城市绿地植物群落的物种组成和群落结构较为稳定。在城市景观建设和园林绿化中, 应优先选择生态习性和生物学特性相近的物种。

关键词 东莞市; 城市绿地; 物种多样性; 生态位; 种间联结

中图分类号: S718.5 文献标志码: A 文章编号: 2096-2053 (2024) 06-0046-13

DOI: 10.20221/j.cnki.2096-2053.202406007

Niche and Interspecific Association of Dominant Species in Urban Green Space of Plant Communities of Dongguan City

SHEN Decai¹ HU Zhenjian² CHEN Yuezhou¹ LUO Yongguang¹

(1. Dongguan Institute of Forestry Sciences/National Positioning Observation and Research Station of Forest Ecosystem in Pearl River Estuary Urban Agglomeration, Dongguan, Guangdong 523106, China; 2. College of Forestry and Landscape Architecture, South China Agricultural University, Guangzhou, Guangdong 510642, China)

Abstract The niche characteristics and interspecific relationships of dominant populations were investigated

* 基金项目: 2022 年东莞市社会发展科技项目 (20221800906102)。

第一作者: 沈德才 (1982—), 男, 高级工程师, 主要从事森林生态研究, E-mail: 58167438@qq.com。

in three urban green space communities located in the central urban area of Dongguan city. The differences in species alpha diversity among different green spaces, the importance values of tree, shrub, and herb plants within the communities, ecological niche widths (Levins and Shannon indices), Pianka index, and interspecific relationships were analyzed. The results showed that the Shannon–Wiener diversity index and species richness index of shrubs in community green spaces were significantly higher than those in street green spaces ($P < 0.05$). The Shannon–Wiener diversity index and species richness index of herbaceous plants in park green spaces were significantly higher than those in community green spaces ($P < 0.05$). The top three niche breadth of trees, shrubs and herbs in the park green spaces were *Litchi chinensis* ($B_L = 6.13$, $B_S = 1.94$), *Litsea glutinosa* ($B_L = 9.49$, $B_S = 2.41$), and *Lygodium japonicum* ($B_L = 20.73$, $B_S = 3.17$), respectively. The top three niche breadth of trees, shrubs and herbs in the street green spaces were *Lagerstroemia indica* ($B_L = 4.15$, $B_S = 1.51$), *Duranta erecta* ($B_L = 3.53$, $B_S = 1.40$), and *Alocasia odora* ($B_L = 13.84$, $B_S = 2.72$), respectively. The top three niche breadth of trees, shrubs and herbs in the community green spaces were *Osmanthus fragrans* ($B_L = 11.05$, $B_S = 2.56$), *Heteropanax fragrans* ($B_L = 8.44$, $B_S = 2.32$), and *Oxalis corniculata* ($B_L = 12.36$, $B_S = 2.78$), respectively. The Pianka index showed that the niche overlap between dominant tree populations was low, and the niche overlap between dominant herb populations was high. The overall correlation between the main species in the park green space was significantly positively correlated. The overall correlation between trees and herbs in street green spaces was significantly positive, and there was a significant negative correlation between the main species of shrub. There was a significant negative correlation between the main species of tree in the community green spaces, and a significant positive correlation between the main species of shrub and herb. There was a strong and positive correlation between the ecological niche overlap index and the association coefficient AC. The species composition and community structure of the three urban green spaces plant communities in Dongguan city are relatively stable. Based on this, in urban landscape construction and gardening, priority should be given to selecting species with similar ecological habits and biological characteristics.

Key words Dongguan city; urban green space; species diversity; niche; interspecific association

城市绿地对改善城市环境、维护城市生态系统平衡起着重要的作用,城市绿地中植物物种多样性直接影响城市系统的稳定性^[1-2]。植物作为城市生态系统的重要组成部分,对城市发展和人类生存有着重要意义^[3]。研究城市中不同类型的城市绿地植物物种多样性对保障城市景观效益和城市生态效益的协调至关重要^[4-5]。物种的生态位体现了其在群落中的功能和地位,并强调物种的分布范围及其生物量的占有情况,物种的生态位是种群分布和群落演替的内在动力^[6]。生态位宽度和生态位重叠是用来衡量种群生态位的两个重要指标^[7],生态位宽度主要体现物种种群对环境的适应性和资源利用的竞争力^[8],生态位重叠解释的是两个种群对环境资源的利用上的相似性,两者从不同的角度解释了种群在空间上占据的地位。生态位的研究对揭示群落结构、群落功能、群落内种间关系以及物种多样性保护具有重要意义^[9]。群落中多个物种间的相互依存和相互影响形成种

间亲和性,种间关联是不同种群在空间上的相互关联^[10],可以反映种间竞争关系以及种群对环境的适应性特征。种间联结效应是对物种间相互作用、相互吸引或相互排斥的一种有效表达,它深刻揭示了物种共存的内在机制以及群落演替的动态过程,体现了不同物种在空间分布上的相互关系,映射了不同生态环境中物种间相互作用的具体成效^[11]。

因此,研究不同城市绿地类型的优势物种间的生态位和种间联结,有助于了解城市绿地中优势物种对环境资源的适应性、物种竞争、共生关系以及群落演替规律,在城市植被构建、城市园林配置以及城市生物多样性保护方面起到决策性作用^[12]。目前,有关植物群落的生态位和种间联结有着大量且广泛的研究,但大部分研究集中于自然生态系统中,对于城市绿地这类特殊的生态系统中的相关研究较少^[13]。而城市绿地生境具有脆弱性和特殊性,植被受到严重的人为活动影响,

如果单一地从观赏的角度对城市植物进行配置可能会影响城市生态系统的正常运行。为了构建稳定的城市植物群落，需要深入探究植物种植后的适应性问题，以及物种间的相互关系。这将有助于未来在各类绿地中筛选出适应性强的物种，以及能够相互促进的优势物种组合，从而打造出更加和谐、持久的城市绿化景观。本研究以东莞市中心城区 3 种城市绿地植物群落为研究对象，在开展植物群落学调查的基础上，采用方差比率法 (Variance ratio, VR)、 χ^2 检验等方法，对 3 种城市绿地群落乔木、灌木和草本 3 个层次的主要物种的种间关联、生态位特征进行定量分析，以期揭示东莞市 3 种城市绿地植物群落不同垂直层次主要物种的种间关系和群落组成的结构特点，为

城市景观建设和城市园林绿化提供理论指导，为未来保障城市景观效益和城市生态效益的协调提供决策依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

东莞市坐落于广东省的南部核心区域，毗邻珠江口东侧，处于东江下游的珠江三角洲地带。地理坐标为 22°39'~23°09'N，113°31'~114°15'E，属亚热带季风气候，具有丰富的森林资源环境条件。亚热带常绿阔叶林在该区域内广泛分布，其中以樟科、壳斗科、桃金娘科、山茶科的植物群落为主。

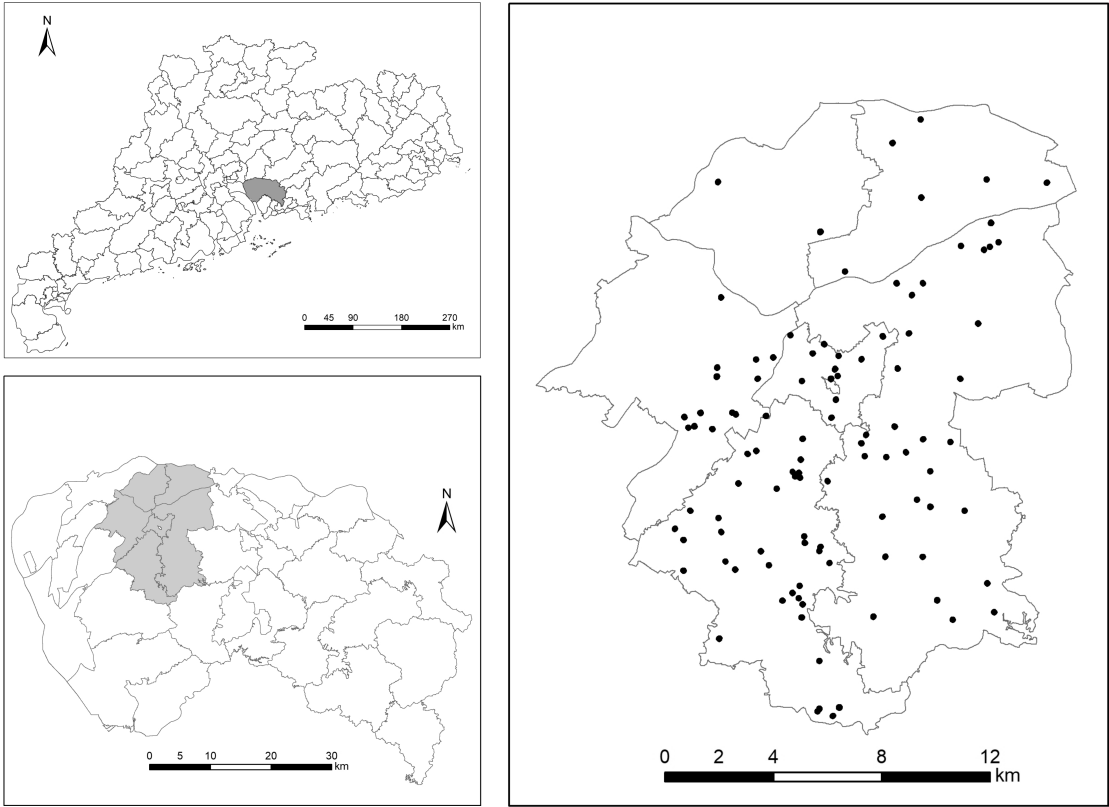


图 1 东莞市中心城区城市绿地样方分布
Figure 1 Quadrat distribution of urban green space in the central urban area of Dongguan city

1.2 样地设置与群落调查

根据东莞市 2019 年卫星遥感影像的中心城区城市绿地空间分布状况，设置社区、公园和街头 3 种城市绿地，现场绿地范围达 20 m×20 m，即设置为样地。2023 年 8—12 月，用南方测绘极点 RTK 进行样方定位，共设置了 104 个 20 m×20 m 的调查样方 (图 1)，开展植物调查，将样方内胸径≥1

cm 的木本植物记录到乔木层，测量样方中乔木的树高、胸径、枝下高、冠幅等信息并记录；胸径< 1 cm 的木本植物和木质藤本记录到灌木层，在样方的对角线上设置 3 个 2 m×2 m 的灌木小样方，调查小样方内灌木的物种名称、株数、基径、高度、盖度信息并记录；将草质藤本和草本归纳到草本层，在每个灌木样方中间设立 1 个 1 m×1 m

的草本样方，记录草本层物种名称、数量、高度和盖度信息。

1.3 群落物种多样性计算

利用调查的植物数据计算植物群落 α 多样性指数^[14]：

乔木层物种重要值 (I_{V1})：

$$I_{V1} = (D_r + F_r + P_r) / 3 \quad (1)$$

灌木层和草本层物种重要值 (I_{V2})：

$$I_{V2} = (D_r + F_r + C_r) / 3 \quad (2)$$

物种丰富度 (S)：

$$S = \text{出现在样方内的物种数} \quad (3)$$

Simpson 优势度指数：

$$D = 1 - \sum_{i=1}^S P_i^2 \quad (4)$$

Shannon-Wiener 多样性指数：

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i \quad (5)$$

Pielou 均匀度指数：

$$J_{sw} = \frac{- \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i}{\ln S} \quad (6)$$

公式中， I_{V1} 表示乔木层物种重要值、 I_{V2} 表示灌木及草本层物种重要值， D_r 表示相对多度或相对密度， F_r 表示相对频度， P_r 表示相对显著度， C_r 表示相对盖度， S 代表物种数， P_i 代表第 i 种的个体数 n_i 占所有物种个体总数 n 的比例，其中 $P_i = n_i/n$ ， $i = 1, 2, 3, \dots$ 。根据计算结果，选取各个层次重要值排前 10 的植物作为优势种，进行生态位与种间联结分析。

1.4 生态位特征分析

通过计算 3 种绿地中各层次各优势种的 Shannon-Wiener 指数和 Levins 指数来判断优势种的生态位宽度^[15-17]。通过计算其 Pianka 指数 (Q_{ik}) 来判断生态位重叠程度，Pianka 的值域为 $[0, 1]$ ， Q_{ik} 值越大表示两者之间的生态位重叠程度越高^[18]。

1.5 总体联结性分析

采用方差比率法检验群落总体联结性，使用统计量 W ($W = N \times V_R$) 检验群落总体联结性的显著程度^[19]。其中 $V_R > 1$ 表示总体联结性为正联结， $V_R < 1$ 表示总体联结性为负联结，若 $V_R = 1$ 表示无总体联结性。使用统计量 W 来检验方差比率偏 1 的程度，其中，统计量 $W = V_R \times N$ ， $\chi_{0.95}^2(N) < W < \chi_{0.05}^2(N)$ 表示总体联结性不显著， $\chi_{0.95}^2(N) > W$ 或 $W > \chi_{0.05}^2(N)$ 表示总体联结性显著 ($P \leq 0.05$)，

其中 N 为样方数量。

1.6 种间联结性分析和检验

根据建立的 2×2 联列表，采用 Yates 连续校正公式计算 χ^2 值^[20]。 $\chi^2 < 3.814$ 表示种间联结性不显著， $3.814 \leq \chi^2 < 6.635$ 表示种间联结性显著， $\chi^2 \geq 6.635$ 表示种间联结性极显著 ($P \leq 0.01$)^[21]。依据 ad 和 bc 值的大小关系判定种间联结性， $ad > bc$ 表示种对呈正联结， $ad < bc$ 表示种对呈负联结， $ad = bc$ 表示种对无联结^[21]。其中， a 为 2 个种均存在的样方数， b 和 c 为 2 个种单独存在的样方数， d 为 2 个种均不存在的样方数。以 χ^2 检验为基础结合联结系数 (Association coefficient, AC)，其中，AC 值域为 $[-1, 1]$ ，数值为 0 表示无联结，数值为负表示负联结，数值为正表示正联结，绝对值越接近 1 表示联结性越强。

1.7 数据处理

利用 Excel 2016 软件对数据进行统计和整理，利用 R. 4. 3. 3 进行数据分析和绘图，使用 Wilcoxon sign-rank 检验评估 3 个绿地中各个层次物种 α 多样性差异，利用 R 软件中的 spaa 包来分析生态位和种间联结特征的相关计算及半矩阵图的绘制。

2 结果与分析

2.1 3 种绿地群落植物物种统计

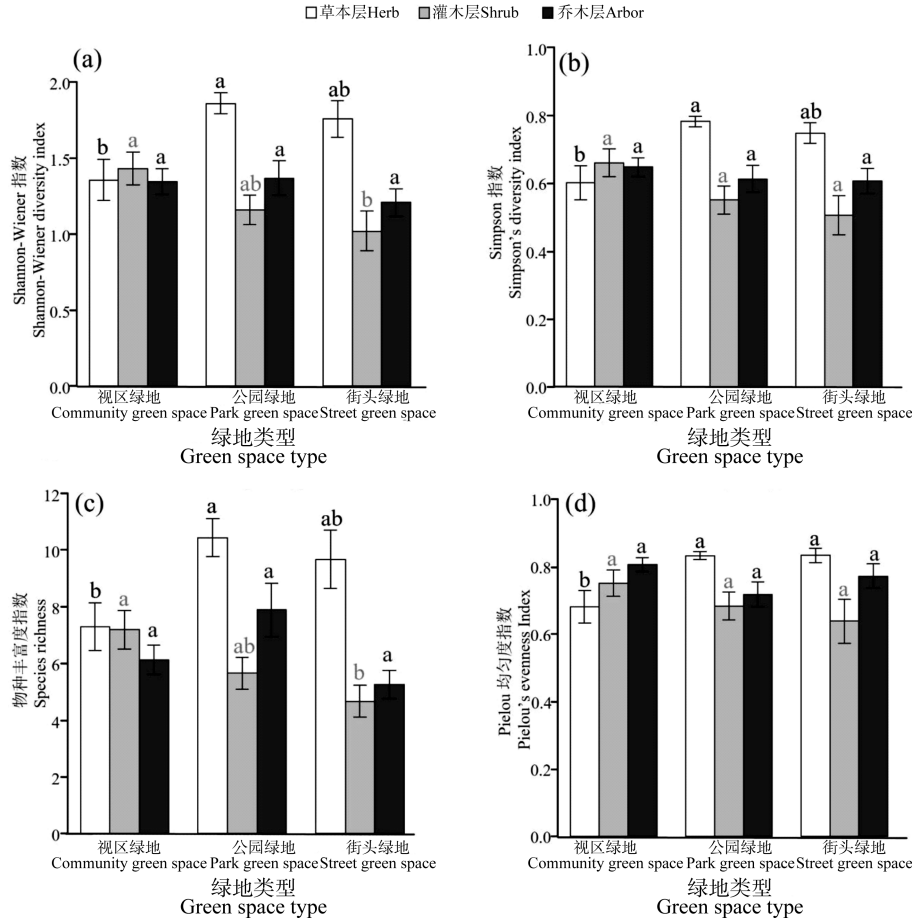
结果表明，东莞市 3 个城市绿地样方中出现 104 科 308 属 426 种，共计 23 104 株，其中乔木有 4 593 株，灌木 4 362 株，草本 14 149 株。公园绿地中有 89 科 240 属 311 种，共计 12 281 株，乔木有 2 756 株，灌木 1 891 株，草本 7 134 株。街头绿地中有 64 科 147 属 173 种，共计 5 199 株，乔木有 869 株，灌木 1 031 株，草本 3 299 株。社区绿地中有 69 科 157 属 187 种，共计 5 624 株，乔木有 968 株，灌木 1 440 株，草本 3 216 株。东莞市 3 种城市绿地类型的植物组成存在较大差异，植物物种的科、属、种数从多到少排序为公园绿地 > 社区绿地 > 街头绿地。

2.2 3 种绿地群落物种 α 多样性差异

社区绿地、公园绿地和街头绿地 3 种不同类型的城市绿地类型的乔木 Shannon-Wiener 多样性指数、Simpson 多样性指数、物种丰富的指数和 Pielou 均匀度指数无显著性差异 ($P > 0.05$)。社区绿地灌木 Shannon-Wiener 多样性指数和物种丰富的指数显著高于 ($P < 0.05$) 街头绿地。公园绿地草

本 Shannon-Wiener 多样性指数、物种丰富的指数显著高于 ($P<0.05$) 社区绿地。社区绿地草本

Pielou 匀度指数显著低于 ($P<0.05$) 公园绿地和街头绿地 (图 2)。



注：不同颜色表示不同生长型（乔木、灌木和草本）类别，横坐标分组表示不同绿地类型；图中的字母标记（a、b 和 c）表明了不同分组之间的差异 ($P<0.05$)。

Note: Different colors indicate different growth types (trees, shrubs and herbs), and horizontal coordinate groupings indicate different green space types; the letter markers (a, b and c) in the graphs indicate the differences between the different groupings ($P<0.05$).

图 2 东莞市 3 种绿地的植物 α 多样性分析

Figure 2 Analysis of plant α diversity in three green spaces in Dongguan city

2.3 3 种绿地群落重要值和生态位宽度

3 种城市绿地中乔木、灌木和草本的前 10 个优势种的重要值均大于 1.7%，公园绿地的乔木、灌木和草本中重要值前 3 分别为窿缘桉 *Eucalyptus exserta* (13.32%)、阴香 *Cinnamomum burmanni* (7.79%) 和地毯草 *Axonopus compressus* (6.80%)，这 3 种植物在公园绿地不同层次的植物中起着主导作用 (表 1)。街头绿地的乔木、灌木和草本植物中重要值前 3 分别为小叶榕 *Ficus concinna* (10.50%)、幌伞枫 *Heteropanax fragrans* (7.83%) 和地毯草 (14.21%)，这 3 种植物在街头绿地不同层次的植物中起着主导作用 (表 2)。社区绿地的乔木、灌木和草本中重要值前 3 分别为四季桂

Osmanthus fragrans (14.60%)、阴香 (8.87%) 和地毯草 (12.31%)，这 3 种植物在社区绿地不同层次的植物中起着主导作用 (表 3)。3 种绿地乔木的前 10 个优势种中均有小叶榕和四季桂，这 2 种植物在东莞市乔木植物中占据较为重要的位置，草本中重要值最大的均为地毯草，表明地毯草在东莞的城市草本植物中有着重要的作用。

生态位宽度表示种群在空间中所占据的地位。3 种绿地植物的 Levins 宽度指数和 Shannon 宽度指数结果排序基本一致。公园绿地乔木优势种群中生态位宽度最大为荔枝 *Litchi chinensis* ($B_L=6.13$, $B_S=1.94$)，灌木中最大为潺槁木姜子 *Litsea glutinosa* ($B_L=9.49$, $B_S=2.41$)，草本中最大为海金

沙 *Lygodium japonicum* ($B_L = 20.73$, $B_S = 3.17$)。街头绿地乔木优势种群中生态位宽度最大的为紫薇 *Lagerstroemia indica* ($B_L = 4.15$, $B_S = 1.51$)，灌木最大为假连翘 *Duranta erecta* ($B_L = 3.53$, $B_S = 1.40$)，草本最大为海芋 *Alocasia odora* ($B_L = 13.84$, $B_S = 2.72$)。社区绿地乔木优势种群中生态

位宽度最大为四季桂 ($B_L = 11.05$, $B_S = 2.56$)，灌木最大为幌伞枫 ($B_L = 8.44$, $B_S = 2.32$)，草本最大为酢浆草 *Oxalis corniculata* ($B_L = 12.36$, $B_S = 2.78$)。它们所占据的生态位更宽，对资源的竞争能力更强，物种的特化程度相对较低，更倾向于泛化种。

表 1 东莞市城市公园绿地乔木、灌木和草本重要值和生态位宽度

Table 1 Importance values and ecological niche widths of trees, shrubs and herbal in urban parks green space in Dongguan city

类型 Type	物种 Species	个体数 Individuals	重要值/% I_v	Levins 指数 B_L	Shannon 指数 B_S
乔木 Arbor	窿缘桉 <i>Eucalyptus exserta</i>	301	13.32	2.41	1.15
	荔枝 <i>Litchi chinensis</i>	226	12.52	6.13	1.94
	黄皮 <i>Clausena lansium</i>	143	3.87	1.57	0.55
	阴香 <i>Cinnamomum burmanni</i>	117	3.31	5.67	1.85
	四季桂 <i>Osmanthus fragrans</i>	183	2.74	1.76	0.87
	马占相思 <i>Acacia mangium</i>	53	2.60	2.10	0.87
	潺槁木姜子 <i>Litsea glutinosa</i>	79	2.32	5.30	1.93
	大叶相思 <i>Acacia auriculiformis</i>	61	1.93	1.07	0.17
	龙眼 <i>Dimocarpus longan</i>	66	1.78	4.09	1.48
	雅榕 <i>Ficus concinna</i>	31	1.70	2.43	1.33
灌木 Shrub	阴香 <i>Cinnamomum burmanni</i>	245	7.97	4.16	1.68
	九节 <i>Psychotria asiatica</i>	120	5.01	5.16	1.94
	潺槁木姜子 <i>Litsea glutinosa</i>	77	4.29	9.49	2.41
	土蜜树 <i>Bridelia tomentosa</i>	54	3.28	8.28	2.29
	秤星树 <i>Ilex asprella</i>	34	3.23	7.05	2.19
	破布叶 <i>Microcos paniculata</i>	48	2.76	3.88	1.54
	龙船花 <i>Ixora chinensis</i>	60	2.75	2.82	1.26
	朱槿 <i>Hibiscus rosa-sinensis</i>	63	2.59	1.28	0.38
	糖胶树 <i>Alstonia scholaris</i>	34	2.55	6.49	1.96
	海南蒲桃 <i>Syzygium hainanense</i>	76	2.51	3.29	1.38
草本 Herb	地毯草 <i>Axonopus compressus</i>	617	6.80	9.18	2.45
	细叶结缕草 <i>Zoysia pacifica</i>	474	6.03	6.27	2.16
	蔓生莠竹 <i>Microstegium fasciculatum</i>	513	5.28	12.37	2.74
	合果芋 <i>Synгонium podophyllum</i>	195	3.57	5.52	1.86
	海金沙 <i>Lygodium japonicum</i>	240	3.52	20.73	3.17
	芒萁 <i>Dicranopteris pedata</i>	154	3.45	5.05	1.75
	三点金 <i>Grona triflora</i>	368	2.99	5.72	1.86
	海芋 <i>Alocasia odora</i>	98	2.75	11.98	2.62
	大白花鬼针草 <i>Bidens alba</i>	179	2.74	6.80	2.29
	叶下珠 <i>Phyllanthus urinaria</i>	266	2.74	9.70	2.51

2.4 3 种绿地群落生态位重叠和生态位相似性分析

东莞 3 种城市绿地植物优势种间的 Q_{ik} 显示 (图 3)，公园绿地 10 个乔木优势种组成的 45 个种对， $Q_{ik} > 0.10$ 的种对有 8 对，占总种对数的 17.78%，表明大多数物种间的竞争较小或不存在

竞争关系，其中潺槁木姜子和阴香之间的 Q_{ik} 值最大，为 0.41，两者间的竞争关系最大；10 个灌木优势种组成的种对中， $Q_{ik} > 0.10$ 的有 23 对，占比 51.11%，其中朱槿 *Hibiscus rosa-sinensis* 和龙船花 *Ixora chinensis* 之间的 Q_{ik} 值最大，为 0.69，灌木

表 2 东莞市城市街头绿地乔木、灌木和草本重要值和生态位宽度
Table 2 Importance values and ecological niche widths of trees, shrubs and herbal in urban streets green space in Dongguan city

类型 Type	物种 Species	个体数 Individuals	重要值/% I_v	Levins 指数 B_L	Shannon 指数 B_s
乔木 Arbor	雅榕 <i>Ficus concinna</i>	81	10.50	1.95	1.13
	海南蒲桃 <i>Syzygium hainanense</i>	31	6.29	3.03	1.34
	四季桂 <i>Osmanthus fragrans</i>	81	6.08	2.65	1.23
	羊蹄甲 <i>Bauhinia purpurea</i>	44	5.55	1.81	0.77
	紫薇 <i>Lagerstroemia indica</i>	85	5.25	4.15	1.51
	散尾葵 <i>Dypsis lutescens</i>	61	4.48	2.38	0.98
	非洲楝 <i>Khaya senegalensis</i>	26	3.85	2.13	0.82
	糖胶树 <i>Alstonia scholaris</i>	17	3.61	2.11	0.85
	宫粉羊蹄甲 <i>Bauhinia variegata</i>	36	3.07	2.00	0.87
	小叶榄仁 <i>Terminalia neotaliala</i>	11	2.57	2.37	0.93
灌木 Shrub	幌伞枫 <i>Heteropanax fragrans</i>	108	7.83	2.81	1.33
	假连翘 <i>Duranta erecta</i>	45	5.90	3.53	1.40
	糖胶树 <i>Alstonia scholaris</i>	52	5.67	1.81	0.73
	阴香 <i>Cinnamomum burmanni</i>	69	5.10	1.40	0.69
	蒲桃 <i>Syzygium jambos</i>	86	4.95	2.36	1.00
	红背桂 <i>Excoecaria cochinchinensis</i>	60	4.58	1.99	0.69
	雅榕 <i>Ficus concinna</i>	30	4.46	1.64	0.77
	龙船花 <i>Ixora chinensis</i>	34	4.42	2.48	0.97
	海南蒲桃 <i>Syzygium hainanense</i>	62	3.97	1.92	0.73
	假苹婆 <i>Sterculia lanceolata</i>	57	3.96	1.04	0.09
草本 Herb	地毯草 <i>Axonopus compressus</i>	441	14.21	9.71	2.43
	海芋 <i>Alocasia odora</i>	116	7.32	13.84	2.72
	细叶结缕草 <i>Zoysia pacifica</i>	199	5.60	2.83	1.39
	叶下珠 <i>Phyllanthus urinaria</i>	172	4.27	6.19	2.23
	蓝花草 <i>Ruellia simplex</i>	154	4.24	4.60	1.63
	蟛蜞菊 <i>Sphagneticola calendulacea</i>	109	3.74	5.20	1.71
	酢浆草 <i>Oxalis corniculata</i>	181	3.72	7.48	2.17
	三点金 <i>Grona triflora</i>	144	3.43	6.32	1.93
	海金沙 <i>Lygodium japonicum</i>	115	3.37	7.25	2.16
	蔓生莠竹 <i>Microstegium fasciculatum</i>	142	3.19	5.14	1.71

中两者的竞争关系最强；草本中 $Q_{ik}>0.10$ 的有 26 对，占比 57.78%，其中叶下珠 *Phyllanthus urinaria* 和三点金 *Grona triflora* 的值最大，为 0.68，两种的竞争最强（图 3，a-c）。公园绿地中灌木和草本物种间的 Q_{ik} 值普遍大于乔木物种之间的 Q_{ik} 值，表明公园绿地中灌木和草本植物物种间的竞争更强。街头绿地中乔木 $Q_{ik}>0.10$ 的有 10 个种，占比 22.22%，其中非洲楝 *Khaya senegalensis* 和海南蒲桃 *Syzygium bainanense* 之间的值最大，为 0.84，两者间的竞争最强；灌木物种中 $Q_{ik}>0.10$ 的有 13 对，占比 28.89%，其中海南蒲桃和幌伞枫的值最

大，为 0.91，两者之间的竞争最强；草本中 $Q_{ik}>0.10$ 的有 36 对，占比 80%，其中酢浆草和叶下珠的值最大，为 0.69，两种竞争最激烈（图 2，d-f）。社区绿地中乔木中 $Q_{ik}>0.10$ 的有 17 对，占比 37.78%，其中白兰 *Michelia×alba* 和四季桂之间的值最大，为 0.38，两种之间竞争关系最强；灌木 $Q_{ik}>0.10$ 的有 23 对，占比 51.11%，其中雅榕和红花檵木 *Loropetalum chinense* var. *rubrum* 之间的值最大，为 0.56，两种之间存在的竞争最强；草本中 $Q_{ik}>0.10$ 的有 24 对，占比 53.33%，其中海金沙和海南毛蕨 *Cyclosorus parasiticus* 之间的值最

表 3 东莞市城市社区绿地乔木、灌木和草本重要值和生态位宽度

Table 3 Importance values and ecological niche widths of trees, shrubs and herbal in urban community green space in Dongguan city

类型 Type	物种 Species	个体数 Individuals	重要值/% I_v	Levins 指数 B_L	Shannon 指数 B_s
乔木 Arbor	四季桂 <i>Osmanthus fragrans</i>	231	14.60	11.05	2.56
	雅榕 <i>Ficus concinna</i>	30	7.27	4.46	1.55
	大王椰 <i>Roystonea regia</i>	25	6.81	4.77	1.64
	猴樟 <i>Camphora bodinieri</i>	28	5.25	5.03	1.74
	荔枝 <i>Litchi chinensis</i>	34	5.01	2.44	1.10
	紫薇 <i>Lagerstroemia indica</i>	64	3.86	3.13	1.46
	秋枫 <i>Bischofia javanica</i>	19	3.69	3.80	1.53
	蒲葵 <i>Livistona chinensis</i>	20	3.07	3.08	1.33
	垂叶榕 <i>Ficus benjamina</i>	50	2.30	1.92	0.67
	白兰 <i>Michelia×alba</i>	12	2.24	4.24	1.70
灌木 Shrub	阴香 <i>Cinnamomum burmanni</i>	193	8.87	4.85	1.90
	蓝花草 <i>Ruellia simplex</i>	177	7.59	5.17	1.85
	鹅掌柴 <i>Heptapleurum heptaphyllum</i>	102	7.07	4.82	1.86
	幌伞枫 <i>Heteropanax fragrans</i>	114	6.82	8.44	2.32
	红花檵木 <i>Loropetalum chinense</i> var. <i>rubrum</i>	45	5.69	3.79	1.69
	假连翘 <i>Duranta erecta</i>	71	5.37	3.01	1.45
	灰莉 <i>Fagraea ceilanica</i>	22	4.25	4.48	1.69
	龙船花 <i>Ixora chinensis</i>	69	4.06	5.19	1.76
	朱槿 <i>Hibiscus rosa-sinensis</i>	33	3.76	3.33	1.46
	雅榕 <i>Ficus concinna</i>	57	3.65	2.78	1.11
草本 Herb	地毯草 <i>Axonopus compressus</i>	376	12.34	6.15	2.08
	酢浆草 <i>Oxalis corniculata</i>	648	11.40	12.36	2.78
	细叶结缕草 <i>Zoysia pacifica</i>	247	9.52	4.63	1.80
	狗牙根 <i>Cynodon dactylon</i>	118	5.68	5.37	1.87
	沿阶草 <i>Ophiopogon bodinieri</i>	161	4.36	4.78	1.70
	合果芋 <i>Synгонium podophyllum</i>	104	4.02	3.03	1.35
	海金沙 <i>Lygodium japonicum</i>	103	3.50	9.03	2.37
	黄鹌菜 <i>Youngia japonica</i>	80	3.11	5.24	2.07
	海芋 <i>Alocasia odora</i>	50	2.95	4.92	1.96
	华南毛蕨 <i>Cyclosorus parasiticus</i>	30	2.69	7.50	2.09

大，为 0.75，两者之间存在的竞争关系最强（图 3，g-i）。

不同绿地类型的乔木、灌木和草本植物优势种的种对之间对资源及环境的选择差异较大，但从 3 种绿地总体上，乔木之间的竞争较小，乔木之间对资源利用有较大的相似性。乔木优势种群间生态位重叠程度普遍较低，草本优势种群间生态位重叠程度普遍较高，灌木优势种群间生态位重叠程度位于两者之间。表明乔木物种间竞争能力弱，优势种群间分化程度较高，草本物种间竞争能力强。

2.5 3 种绿地群落总体关联性

公园绿地乔木、灌木和草本的 10 种主要物种

间总体关联性的方差比率 $V_R > 1$ ，且检验统计量 W 均落在 $\chi^2_{0.95}(N) < W < \chi^2_{0.05}(N)$ 之外，表明该绿地群落乔木、灌木和草本的主要物种间的总体关联性均呈显著正关联。街头绿地乔木和草本 $V_R > 1$ ，主要物种间的总体关联性呈显著正关联，灌木 $V_R < 1$ ，主要物种间呈现显著负相关。社区绿地乔木 $V_R < 1$ ，主要物种间呈现显著负相关，灌木和草本 $V_R > 1$ ，主要物种间呈现显著正相关（表 4）。

2.6 3 种绿地群落主要物种种间关联性

在公园乔木 10 个优势种群组成的 45 个种对中，显著负联结 21 对（46.67%），不显著联结 21 对（46.67%），显著正联结 3 对（6.66%）；公园

表 4 东莞市 3 种绿地群落各层次主要物种间的总体关联性
Table 4 Overall correlations between the main species at all levels of the three green space communities in Dongguan city

层次 Levels	方差比率 V_R Variance ratio	检验统计量 W Test statistic	χ^2 临界值 χ^2 threshold	检验结果 Results
公园-乔木	1.42	66.74	(3.94, 18.31)	显著正相关
公园-灌木	1.77	78.05	(3.94, 18.31)	显著正相关
公园-草本	1.51	71.15	(3.94, 18.31)	显著正相关
街头-乔木	1.01	27.17	(3.94, 18.31)	显著正相关
街头-灌木	0.99	23.87	(3.94, 18.31)	显著负相关
街头-草本	1.82	49.19	(3.94, 18.31)	显著正相关
社区-乔木	0.81	24.45	(3.94, 18.31)	显著负相关
社区-灌木	1.20	31.08	(3.94, 18.31)	显著正相关
社区-草本	1.56	46.69	(3.94, 18.31)	显著正相关

灌木中显著负联结 11 对 (24.44%)；不显著联结 28 对 (62.22%)，显著正联结 6 对 (13.33%)；公园草本中显著负联结 10 对 (22.22%)，不显著联结 30 对 (66.67%)，显著正联结 5 对 (11.11%) (图 4, a-c)。街头乔木中显著负联结 25 对 (55.56%)，不显著联结 14 对 (31.11%)，显著正联结 6 对 (13.33%)；街头灌木中显著负联结 23 对 (51.11%)，不显著联结 12 对 (26.67%)，显著正联结 10 对 (22.22%)；街头草本中显著负联结 8 对 (17.78%)，不显著联结 30 对 (66.67%)，显著正联结 7 对 (15.56%) (图 4, d-f)。社区乔木中显著负联结 19 对 (42.22%)，不显著联结 22 对 (48.89%)，显著正联结 4 对 (8.89%)；社区灌木中显著负联结 12 对 (26.67%)，不显著联结 29 对 (64.44%)，显著正联结 4 对 (8.89%)；社区草本中显著负联结 7 对 (15.56%)，不显著联结 30 对 (66.67%)，显著正联结种对分别为 7 (17.78%) (图 4, g-i)。3 种绿地中乔木种间显著负联结多于种间显著正联结，种对间的正联结体现物种在资源利用以及环境的选择方面的相似性，负关联表现为种间排斥性，3 种绿地中乔木物种间的排斥性更强。街头绿地和社区绿地草本植物种间相似性和排斥性的占比相近，公园绿地中草本植物的排斥性占比更多。

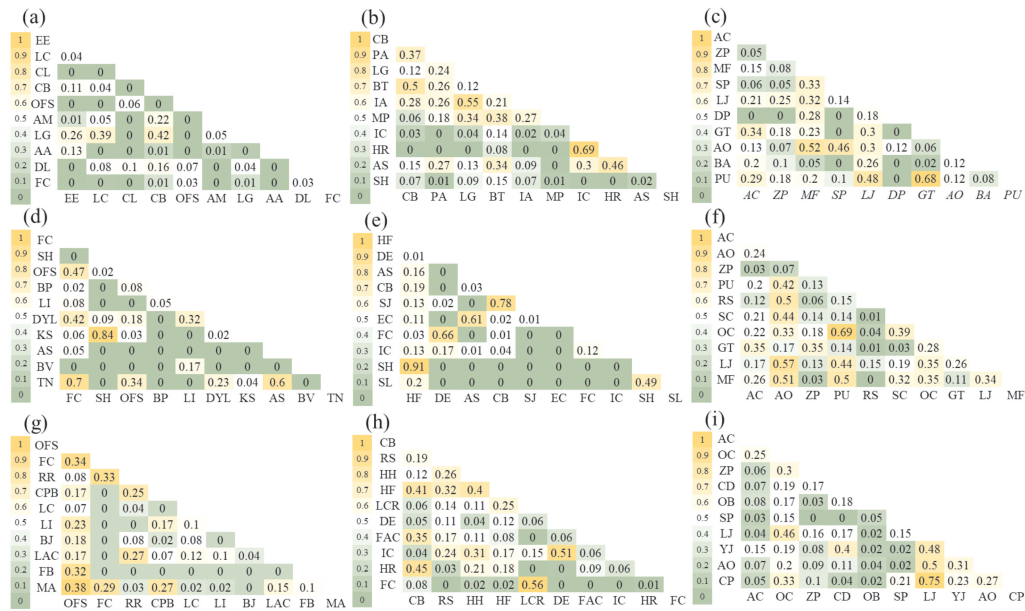
2.7 种间联结指数与生态位重叠指数的回归分析
回归分析结果所示 (图 5)，3 种城市绿地的乔木、灌木和草本优势种的生态位重叠指数与联结系数在 0.001 水平上显著正相关，表明种间联结性越强，生态位重叠程度和生态位相似性越高，生态

位重叠和种间联结均揭示种对之间生物生态学习性上的异同点。但由于 AC 值计算有偏差导致 R^2 值的范围在 2.4~4.7 之间，拟合效果一般。

3 结论与讨论

植物群落的物种组成体现了群落特征及其生境环境条件^[22]。人为因素可能会影响物种空间分布的多样性^[23]。城市绿地中木本植物种类受到人为意愿的影响，大多为园林绿化的常见植物，这可能是导致东莞中心城区 3 种城市绿地中乔木物种 α 多样性指数无显著差异的原因^[24]。社区环境相对于街头环境异质性更高，从而造成社区绿地灌木 Shannon-Wiener 多样性指数和物种丰富的指数显著高于街头绿地。公园绿地相较于社区绿地人为活动更频繁，致社区绿地草本 Shannon-Wiener 多样性指数、Simpson 指数和物种丰富的指数显著低于公园绿地^[25]。

物种的重要值越高，其在群落中的主导地位和竞争优势就越显著，物种的生态位宽度越宽广，表明其获取和利用资源的能力越强，对环境的适应能力也相应增强，因此在空间分布上的地位也更加突出^[26]。本研究中公园绿地中乔木、灌木和草本层生态位宽度前 3 的分别为荔枝、潺槁木姜子和海金沙，荔枝是中国南方城市常见的绿化乔木树种，东莞地处中国东南沿海地区，自古以来荔枝就很有名，荔枝对城市公园内资源利用的能力和适应群落小生境的能力都具有显著优势。街头绿地以绿化滞尘降噪为主同时要考虑物种的观赏性^[27]，在街头木本植物种中紫薇、海南蒲桃、四季桂、假连翘、



注：(a-c) 分别表示公园绿地乔木、灌木和草本的优势种生态重叠指数；(d-f) 分别表示街头绿地乔木、灌木和草本的优势种生态重叠指数；(g-i) 分别表示社区绿地乔木、灌木和草本的优势种生态重叠指数；AA-大叶相思-*Acacia auriculiformis*；AC-地毯草-*Axonopus compressus*；AM-马占相思-*Acacia mangium*；AO-海芋-*Alocasia odora*；AS-糖胶树-*Alstonia scholaris*；BA-大白花鬼针草-*Bidens alba*；BJ-秋枫-*Bischofia javanica*；BP-羊蹄甲-*Bauhinia purpurea*；BT-土蜜树-*Bridelia tomentosa*；BV-宫粉羊蹄甲-*Bauhinia variegata*；CB-阴香-*Cinnamomum burmanni*；CD-狗牙根-*Cynodon dactylon*；CL-黄皮-*Clausena lansium*；CP-华南毛蕨-*Cyclosorus parasiticus*；CPB-猴樟-*Camphora bodinieri*；DE-假连翘-*Duranta erecta*；DL-龙眼-*Dimocarpus longan*；DP-芒萁-*Dicranopteris pedata*；DYL-散尾葵-*Dypsis lutescens*；EC-红背桂-*Excoecaria cochinchinensis*；EE-窿缘桉-*Eucalyptus exserta*；FAC-灰莉-*Fagraea ceilanica*；FB-垂叶榕-*Ficus benjamina*；FC-雅榕-*Ficus concinna*；GT-三点金-*Grona triflora*；HF-幌伞枫-*Heteropanax fragrans*；HH-鹅掌柴-*Heptapleurum heptaphyllum*；HR-朱槿-*Hibiscus rosa-sinensis*；IA-秤星树-*Ilex asprella*；IC-龙船花-*Ixora chinensis*；KS-非洲楝-*Khaya senegalensis*；LAC-蒲葵-*Livistona chinensis*；LC-荔枝-*Litchi chinensis*；LCR-红花檵木-*Loropetalum chinense* var. *rubrum*；LG-潺槁木姜子-*Litsea glutinosa*；LI-紫薇-*Lagerstroemia indica*；LJ-海金沙-*Lygodium japonicum*；MA-白兰-*Michelia alba*；MF-蔓生莠竹-*Microstegium fasciculatum*；MP-破布叶-*Microcos paniculata*；OB-沿阶草-*Ophiopogon bodinieri*；OC-酢浆草-*Oxalis corniculata*；OFS-四季桂-*Osmanthus fragrans*；PA-九节-*Psychotria asiatica*；PU-叶下珠-*Phyllanthus urinaria*；RR-大王椰-*Roystonea regia*；RS-蓝花草-*Ruellia simplex*；SC-蟛蜞菊-*Sphagneticola calendulacea*；SH-海南蒲桃-*Syzygium hainanense*；SJ-蒲桃-*Syzygium jambos*；SL-假苹婆-*Sterculia lanceolata*；SP-合果芋-*Syngonium podophyllum*；TN-小叶榄仁-*Terminalia neotaliala*；YJ-黄鹌菜-*Youngia japonica*；ZP-细叶结缕草-*Zoysia pacifica*。

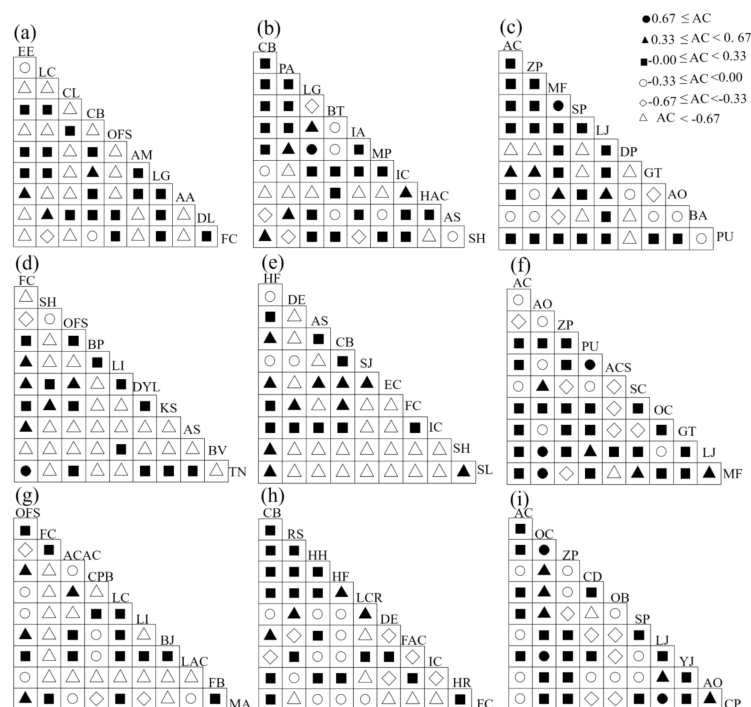
Note: (a-c) denote the ecological overlap indices of dominant species for trees, shrubs and herbs in park green spaces; (d-f) denote the ecological overlap indices of dominant species for trees, shrubs and herbs in street green spaces; (g-i) denote the ecological overlap indices of dominant species for trees, shrubs and herbs in community green spaces, respectively.

图3 东莞市3种城市绿地中乔木、灌木和草本前10个优势种的生态位重叠 Pianka 指数
Figure 3 Pianka index of ecological niche overlap for the top 10 dominant species of trees, shrubs and herbal in three urban green spaces in Dongguan city

幌伞枫、龙船花等植物的种植更多，这些物种多为常见绿化观赏植物，生态宽度更大。社区绿地中四季桂、雅榕、大王椰子这类物种更多，所占据的生态位更宽，对资源的竞争能力更强，物种的特化程度相对较低，更倾向于泛化种。东莞市的城市绿地中以热带植物区系为主，四季桂、雅榕、大王椰子 *Roystonea regia* 等都属于3种城市绿地中重要的优势物种，这些植物的存在一定程度上反映了华南地区城市绿地植物优势种的现状^[28-29]。

生态位重叠与生态位相似性是评估物种间竞争

关系的关键量化标准，城市绿地中由于乔木物种的种植往往受到人为规划的影响，物种之间的配置通常遵循一定的间距和布局规划，这使得城市绿地中的乔木物种间竞争较为缓和，甚至可能不存在显著竞争关系^[30-31]。而草本植物的种类受到人为活动影响，人为活动通过影响植物的生存环境进而影响了植物的生态位^[25]。街头绿地中，植物生存环境有限且破碎化严峻，是导致草本植物之间不存在生态位重叠或高度重叠的原因。社区草本植物间的生态位重叠相对多于公园和街头绿地，但定期的除草



注：(a-c) 分别表示公园绿地乔木、灌木和草本，(d-f) 分别表示街头绿地乔木、灌木和草本，(g-i) 分别表示社区绿地乔木、灌木和草本；● $-0.67 \leq AC$ ，极显著正相关；▲ $-0.33 \leq AC < 0.67$ ，显著正相关；■ $0 \leq AC < 0.33$ ，不显著正相关；○ $-0.33 \leq AC < 0$ ，不显著负向；◇ $-0.67 \leq AC < -0.33$ ，显著负相关；△ $AC < -0.67$ ，极显著负相关；不同缩写字母对应的物种拉丁名同图 3。

Note: (a-c) refers to park green space trees, shrubs and herbs, (d-f) refers to street green space trees, shrubs and herbs, (g-i) refers to community green space trees, shrubs and herbs; ● $-0.67 \leq AC$, extremely significant positive correlation; ▲ $-0.33 \leq AC < 0.67$, significant positive correlation; ■ $0 \leq AC < 0.33$, no significant positive correlation; ○ $-0.33 \leq AC < 0$, no significant negative; ◇ $-0.67 \leq AC < -0.33$, significant negative correlation; △ $AC < -0.67$, extremely significant negative correlation. The Latin names of species corresponding to different abbreviations are shown in Figure 3.

图 4 东莞市 3 种绿地乔木、灌木和草本优势种群联结系数 AC 半矩阵图

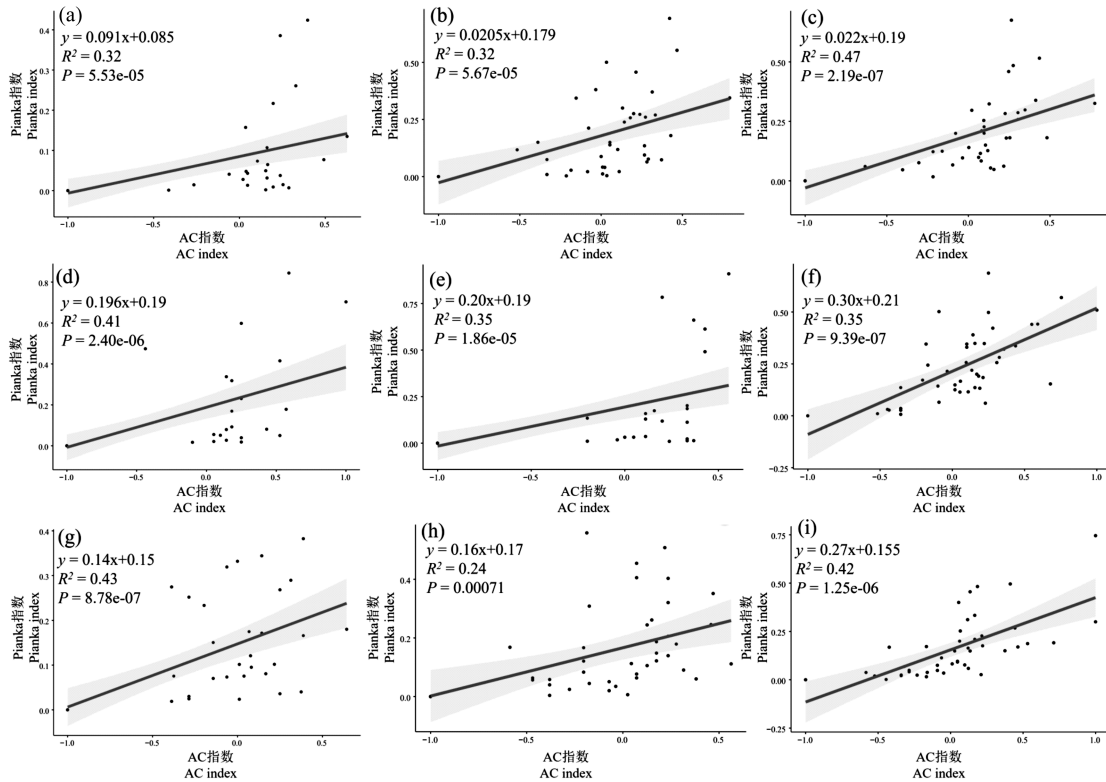
Figure 4 AC half-matrix of linkage coefficients of dominant tree-shrub-herbal populations in three green spaces in Dongguan city

和修整使得植物之间可利用的空间增多导致生态位重叠指数不高。总体而言，东莞城市绿地中乔木物种间竞争能力弱，优势种群间分化程度较高，草本物种间竞争能力强。

种间联结可以揭示不同生境环境中物种间的相互作用及其群落变化动态^[32]。生态习性相近的物种在相似的生长环境中往往聚集形成特定群落，生态习性相近的物种易产生竞争作用，具有不同生态特征的物种则各自占据不同的生态位，体现出显著的负相关性^[33-35]。公园绿地、街头绿地和社区绿地 3 种绿地中，乔木、灌木和草本植物的优势树种显示出较多的显著负联结和不显著联结。种对之间的正联结反映了物种在资源利用和环境适应性方面的相似性，而负联结则揭示了种间的排斥性。在这 3 种绿地中，乔木物种间的排斥性尤为明显，街头绿地和社区绿地的草本植物种间的相似性和排斥性

比例相近。

种间联结性在很大程度上与生态位重叠的程度以及生态位之间的相似性密切相关^[36]。研究发现东莞中心城区 3 种城市绿地植物优势种生态位重叠指数与联结系数在 0.001 水平上显著正相关。物种之间的联结性越显著，它们的生态位重叠水平往往也越高，反映出物种在环境适应能力上具有较高的相似性^[37-39]。种对之间的生态位相似性和重叠程度通常较高，然而，种对间的联结性不仅与它们的生态位特性存在一定的相关性，还可能受到物种的分布频率、所处的环境条件以及它们的资源利用效率等多种因素的影响^[40]。生态位相似性和生态位重叠程度较高，这可能是由于种间负联结成因较复杂，由于环境差异和资源竞争导致的负联结，其种间的生态位重叠程度截然不同，可能是公园、街头和社区之间生境的差异所造成的。



注：(a-c) 分别表示公园绿地乔木、灌木和草本的优势种；(d-f) 分别表示街头绿地乔木、灌木和草本的优势种；(g-i) 分别表示社区绿地乔木、灌木和草本的优势种。

Note: (a-c) represent the dominant species of trees, shrubs and herbs in the park green space, respectively; (d-f) the dominant species of street green trees, shrubs and herbs; (g-i) represent the dominant species of trees, shrubs and herbs in community green space, respectively.

图5 东莞市3种绿地乔木、灌木和草本优势种群生态位重叠指数 Pianka 与联结系数 AC 的回归分析
Figure 5 Regression analysis of Pianka index of ecological niche overlap, and AC coefficient of association, for dominant populations of trees, shrubs and herbal in three green spaces in Dongguan city

在东莞中心城区3种不同类型的城市绿地中,不同层次的植物群落表现出显著的重要值和生态位宽度差异。公园绿地中荔枝、潺槁木姜子和海金沙展现出较强的资源利用能力和对环境的适应性;而在街头绿地和社区绿地中,紫薇、假连翘和海芋,以及四季桂、幌伞枫和酢浆草则分别显示出较强的资源利用能力。这些植物物种在各自绿地类型中的优势地位,反映了它们对特定环境条件的适应性和资源竞争能力。不同绿地中维持群落稳定性和改善群落生态环境的优势种存在很大的差异。3种绿地中木本优势种间生态位相似性和生态位重叠程度普遍偏低,种间总体呈正联结关系,且联结性较强;草本植物优势种生态位相似性和生态位重叠程度相对较高,绿地群落结构及其物种组成受到人为因素的影响。

东莞中心城区3种城市绿地植物群落中,乔木优势种群间生态位重叠程度普遍较低,草本优势种

群间生态位重叠程度普遍较高。乔木中荔枝、紫薇和四季桂在公园绿地、街头绿地和社区绿地中的生态位宽度较大,拥有较强的资源利用能力和环境适应性,有利于维持群落稳定性和改善群落生态环境。目前东莞中心城区3种城市绿地植物群落的结构及其物种组成正逐渐完善和稳定。

参考文献

- [1] 王崑,罗垚,李萍,等. 城市化背景下滨海城市绿地木本植物物种多样性特征研究:以东营市建成区为例[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2019, 41(7): 53-61.
- [2] 赵娟娟,宋晨晨,刘时彦. 城市植物种类构成的特征分析:以厦门市为例[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2018, 40(7): 1-8.
- [3] 赵路佳,李春林,胡远满,等. 城市植物源挥发性有机化合物排放特征及其大气环境效应研究进展[J]. 生态学

- 报,2023,43(24):10023-10031.
- [4] 王鹏飞,栗燕,杨秋生.郑州市公园绿地木本植物物种多样性研究[J].中国园林,2009,25(5):84-107.
 - [5] 欧阳子路,吉文丽,杨梅.西安城市绿地植物多样性分析[J].西北林学院学报,2015,30(2):257-272.
 - [6] 俞昀,白小军,王志一.大兴安岭次生林区不同龄级落叶松(*Larix gmelinii*)生态位特征和竞争关系[J].生态学报,2022,42(12):4912-4921.
 - [7] 彭文俊,王晓鸣.生态位概念和内涵的发展及其在生态学中的定位[J].应用生态学报,2016,27(1):327-334.
 - [8] 杜忠毓,邢文黎,薛亮,等.喀斯特石漠化梯矿区植物群落主要物种生态位特征及其种间联结[J].生态学报,2023,43(7):2865-2880.
 - [9] 张继义,张铜会,赵学勇.科尔沁沙地植物群落恢复演替系列种群生态位动态特征[J].生态学报,2003,(12):2741-2756.
 - [10] 郭忠玲,马元丹,郑金萍,等.长白山落叶阔叶混交林的物种多样性、种群空间分布格局及种间关联性研究[J].应用生态学报,2004(11):2013-2038.
 - [11] 徐满厚,刘敏,翟大彤,等.植物种间联结研究内容与方法评述[J].生态学报,2016,36(24):8224-8233.
 - [12] 陈佳卉,卜元坤,苏少峰,等.油松飞播林灌木层主要物种种间联结及其环境解释[J].生态学杂志,2021,40(11):3512-3522.
 - [13] 赵首彩,张松林.兰州市大气污染特点与城市植物生态环境建设[J].干旱区资源与环境,2005(1):135-149.
 - [14] 刘灿然,马克平.生物群落多样性的测度方法 V.生物群落物种数目的估计方法[J].生态学报,1997(6):39-48.
 - [15] 林勇,艾训儒,姚兰,等.木林子自然保护区不同群落类型主要优势种群的生态位研究[J].自然资源学报,2017,32(2):223-234.
 - [16] 李德志,石强,臧润国,等.物种或种群生态位宽度与生态位重叠的计测模型[J].林业科学,2006(7):95-103.
 - [17] 张金屯.数量生态学[M].北京:科学出版社,2004.
 - [18] LINTON L R, DAVIES R W, WRONA F J. Resource Utilization Indices: An Assessment[J]. Journal of animal ecology, 1981, 50(1):283-292.
 - [19] SCHLUTER D A. variance test for detecting species associations, with some example applications[J]. Ecology, 1984, 65:998-1005.
 - [20] 邓清雅,温瑞龙,王迎雪,等.福建大嵵山岛常绿阔叶林木本植物优势种的生态位和种间联结[J].植物资源与环境学报,2024,33(4):92-100.
 - [21] 罗敏贤,林碧华,陈绪辉,等.福建龟山伞花木所在群落乔灌层优势种的种间联结性[J].植物资源与环境学报,2022,31(6):63-72.
 - [22] 黄睿雪,欧静,王洪飞,等.百里杜鹃国家森林公园植物群落物种多样性及优势种生态位宽度对人为干扰的响应[J].生态学杂志,2024,43(5):1217-1226.
 - [23] BLOWES S A, DASKALOVA G N, DORNELAS M, et al. Local biodiversity change reflects interactions among changing abundance, evenness, and richness[J]. Ecology, 2022, 103(12):e3820-e3836.
 - [24] 刘乐乐,朱亚灵,许宏刚,等.兰州市城市绿地木本植物多样性研究[J].草原与草坪,2020,40(1):56-62.
 - [25] 潘妮,闵钰婷,赵娟娟,等.城市建成区自生草本植物群落的物种多样性与功能多样性:以深圳市为例[J].生态学报,2024,44(9):3759-3774.
 - [26] 孙红斌,甘先华,赵晴,等.深圳田头山自然保护区森林群落优势种生态位特征[J].林业与环境科学,2022,38(1):75-86.
 - [27] 张莉,王尚军.关于城市道路绿化滞尘降噪的探讨[J].森林工程,2012,28(5):92-117.
 - [28] 何荣晓,杨帆,崔明.海口市城市森林结构及植物多样性指标相关性分析[J].浙江农林大学学报,2019,36(6):1142-1150.
 - [29] 吴刘萍.湛江市城市森林树种结构分析[J].亚热带植物科学,2007(2):31-45.
 - [30] 赵阳,曹家豪,李波,等.洮河自然保护区大峪沟林区紫果云杉群落木本植物种群生态位特征[J].生态学报,2022,42(5):1865-1875.
 - [31] 庄华蓉.城市绿化植物群落结构分布格局与多样性分析[J].西南农业学报,2018,31(6):1279-1287.
 - [32] TIAN Z Q, LI H C, GAN W Y, et al. Structural characteristics and niches of dominant tree populations in Tetracentron sinense communities: implications for conservation[J]. Botanical sciences, 2018, 96(2):157-167.
 - [33] 陆云峰,杨安娜,王豪,等.紫楠天然群落优势物种生态位与种间联结性[J].林业科学研究,2024,37(3):61-70.
 - [34] 黄明忍,苏晓,郭晟乾,等.河南黄河中游,下游湿地优势草本植物生态位与种间联结性研究[J].植物科学学报,2024,42(2):181-190.
 - [35] 李婧涵,张顺卫,杨小波,等.海南紫荆木群落物种组成及种间联结性[J].南方农业学报,2024,55(5):1405-1415.
 - [36] 张东梅,赵文智,罗维成.荒漠草原带盐碱地优势植物生态位与种间联结[J].生态学杂志,2018,37(5):1307-1315.
 - [37] 胡宁宁,崔雨昕,孙萌,等.秦岭西段典型森林群落灌木层优势种群生态位与种间联结[J].生态学杂志,(2024-06-12)[2024-08-15]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/21.1148.q.20240611.1658.006.html>.
 - [38] 王双艳,肖晶,陈春春,等.贵州小车河不同水文期浮游植物生态位及种间联结性分析[J].环境科学,(2024-05-17)[2024-08-15]. <https://doi.org/10.13227/j.hjlx.202401178>.
 - [39] 何江,徐来仙,艾训儒.湖北七姊妹山亚热带常绿阔叶阔叶混交林主要木本植物的生态位与种间联结[J].林业科学研究,2023,36(3):138-148.
 - [40] 王麟麟,崔晓阳.小兴安岭阔叶次生林内红松与常见阔叶树种地下资源生态位研究[J].北京林业大学学报,2022,44(12):52-60.