

基于花粉致敏风险的中心城区行道树组成和多样性特征优化研究——以成都市锦江区和成华区为例

宗桦¹, 杨珍茹¹, 李荷^{2*}, 陈明坤^{2,3}, 姚怡宁¹, 张清彦², 黎秋玥²

1. 西南交通大学, 成都 611756;

2. 成都市公园城市建设发展研究院, 成都 610036;

3. 清华大学 建筑学院, 北京 100084

摘要:行道树既是街道绿化系统的骨架又是街道景观的重要组成,具有重要的生态系统服务价值。但越来越多的证据表明,行道树释放的花粉给市民健康带来了致敏风险。为探明公园城市中心城区的行道树的组成和物种 α 多样性特征对其花粉致敏风险的影响。依托成都市两个中心城区的行道树实地调查,采用花粉致敏指数(I_{ugza})评估其花粉致敏风险,并量化其与物种丰富度及 α 多样性的关联。结果表明,锦江区467条街道共有行道树52 606棵,属于25科32属35种。成华区548条街道共有行道树67 121棵,属于26科49属53种。其中,银杏(*Ginkgo biloba*)、香樟(*Cinnamomum camphora*)、天竺桂(*Cinnamomum japonicum*)和小叶榕(*Ficus concinna*)为两个区域的优势树种。锦江和成华区街道的青壮年树(胸径15.2~30.3 cm)占比最高,为71.59%和65.02%,其次是幼年树(胸径 ≤ 15.1 cm)占比分别为13.32%和20.97%。将街道按宽度划分为5级后发现,第5级和第4级街道(社区道路)行道树的平均冠幅远高于栽培间距,有严重的叠冠现象。锦江区和成华区各级街道香农维纳指数 S_d 分别介于0.64~2.58和0~2.75,均匀度指数 P_e 指数分别介于0.66~0.93和0.29~0.72。锦江和成华区街道的 I_{ugza} 分析显示,致敏风险介于0.3~0.6(中等风险)的街道占比最低,分别为7.92%和7.48%,而 I_{ugza} 高于0.6(高风险)的街道占比最高,分别为76.87%和81.73%。此外,两个区域的第5级街道中高 I_{ugza} (> 0.6)的街道占比均超过83%,显示出极高的花粉致敏风险。Pearson相关性分析显示,成都街道的 I_{ugza} 与 S_d 呈正线性相关,与树种丰富度呈极显著正相关。为降低过敏风险,最后针对性地提出了系列绿化管理策略,以提升公园城市居民的健康福祉。

关键词:公园城市;行道树组成;物种 α 多样性;花粉致敏风险

中图分类号:J59

文献标志码:A

文章编号:2096-6946(2025)03-0045-09

DOI:10.19798/j.cnki.2096-6946.2025.03.006

Optimization on the Composition and Diversity Characteristics of Urban Street Trees in Central Urban Areas Based on Pollen Allergy Risk: A Case Study of Jinjiang District and Chenghua District in Chengdu

ZONG Hua¹, YANG Zhenru¹, LI He^{2*}, CHEN Mingkun^{2,3}, YAO Yining¹, ZHANG Qingyan², LI Qiuyue²

1. Southwest Jiaotong University, Chengdu, Chengdu 611756, China;

2. Chengdu Park City Construction & Development Research Institute, Chengdu 610036, China;

收稿日期:2025-02-14

基金项目:国家自然科学基金面上项目(32271945)

*通信作者

3. School of Architecture, Tsinghua University, Beijing 100084, China

Abstract: Street trees are both the backbone of the street greening system and an important component of the streetscape, with important ecosystem service values. However, there is growing evidence that the pollen released by street trees poses an allergenic risk to public health. The work aims to explore the impact of the species composition and α -diversity characteristics of street trees in the central urban area of the Park City on their pollen allergy risk. Based on field surveys of street trees in two central urban districts of Chengdu, the Pollen Allergy Index (I_{ugza}) is employed to assess the pollen allergy risk and quantify its association with species richness and α -diversity. There are 52 606 street trees in 467 streets in Jinjiang District, belonging to 25 families, 32 genera and 35 species. There are 67 121 street trees in 548 streets in Chenghua District, belonging to 26 families, 49 genera and 53 species. Ginkgo biloba, Cinnamomum camphora, Ficus concinna, and Cinnamomum japonicum are the dominant tree species of the both districts. In the streets of Jinjiang and Chenghua Districts, young adult trees (Diameter at Breast Height=15.2~30.3 cm) account for the highest proportion at 71.59% and 65.02%, respectively, followed by juvenile trees (Diameter at Breast Height $\leq$ 15.1 cm) at 13.32% and 20.97%. After the streets are divided into 5 levels according to width, it is found that the average crown width of street trees in both level 5 and level 4 streets (community roads) is much higher than the cultivation spacing, and there is a serious phenomenon of stacked crowns. The Shannon Wiener Index (S_d) values of streets at all street levels in Jinjiang District and Chenghua District range from 0.64 to 2.58 and 0 to 2.75, respectively, while the Pielou index (P_e) ranges from 0.66 to 0.93 and 0.29 to 0.72, respectively. The proportion of streets with allergy risk between 0.3 and 0.6 is the lowest, 7.92% and 7.48%, respectively, while the proportion of streets with I_{ugza} values higher than 0.6 is the highest, 76.87% and 81.73%, respectively. In addition, the proportion of streets with high I_{ugza} values (>0.6) is more than 83% in both districts in street level 5, showing a very high risk of pollen allergy. Pearson correlation analysis reveals that the I_{ugza} values of Chengdu's streets exhibit a positive linear correlation with S_d values and a highly significant positive correlation with tree species richness. To reduce allergen production, a series of green management strategies are finally targeted to enhance the health and well-being of Park City residents.

Key words: Park City; composition of street trees; α -diversity of species; pollen allergy risk

城市街道景观是城市景观的重要组成部分。街道景观的主要组成部分——行道树,是城市绿化的骨架。在发达国家的城市中,行道树通常占城市树木总数的5~10%^[1]。其可为城市居民提供多样化的生态和社会服务,例如维持城市生物多样性、调节城市碳储量^[2]和小气候^[3]、减少雨水径流^[4]、改善土壤结构^[5]、抵御各种光声污染^[6-7]、吸附空气中的污染颗粒物^[8]、改善身心健康^[9]和减少犯罪^[10]。然而盲目增量的行道树也暗藏健康和生态风险,例如行道树产生的花粉可能诱发市民罹患花粉过敏症^[11]、破坏道路路面,增加管理负担^[12],枯枝落叶阻碍交通,引发蛀干害虫或病害^[13]等。近年来,我国城市居民的花粉过敏率总体呈上升趋势,高发病区已接近20%^[14]。其中,春季以树木花粉为主,秋季则以草本花粉为主^[15]。通常树木花粉比草本植物的花粉量大,但散粉期短^[16]。行道树中,杨柳科、松科、柏科、榆科、悬铃木科的树木又是重要的致敏原贡献者^[17]。但已有的成果多聚焦于树种本身的花粉致敏潜力,未考虑绿地物种多样性与致敏风险的关联。

在全国首个公园城市示范区——成都市,树木花粉是当地最常见的春季致敏原,也是诱发市民过敏的最主要原因之一。但早在2017年,成都市为实现“绿满蓉城、花重锦官”的盛景,启动了中心城区行道树增量提质工作。随着公园城市建设的不断推进,《成都市公园城市示范区建设行动计划(2021—2025年)》(行动计划)中明确提出,成都市应将社区与街道的绿化建设纳入公园城市建设中,开展行道树增量提质行动,进一步增加城市道路绿量,丰富城市道路绿化形式,提升城市道路绿化品质。在这一指导原则下,截至2024年,成都市的行道树数量已经超过90万棵,但全面增绿后的成都街道的花粉致敏风险状况尚未可知。

为此,本研究以成都市两个中心城区(锦江区和成华区)为例,通过开展行道树普查,厘清两个中心城区5级街道的行道树在组成、结构和多样性方面的差异,以此为基础采用城市绿地致敏指数(I_{ugza})计算各级街道的行道树致敏风险,形成风险地图,并探索物种多样性与花粉致

敏风险之间的关联,为营造低致敏的宜居、宜游、宜留的街道空间提供科学依据。

一、研究对象和方法

(一) 研究对象

研究涉及成都市的两个中心城区——锦江和成华区。其中,锦江区位于成都市东南部,总面积 62 km²。截至 2023 年末,锦江区常住人口 91.94 万人,城镇化率 100%。成华区位于成都市中心城区东北部,总面积 109.3 km²。截至 2023 年末,成华区城镇化率 100%,常住人口 141.21 万人。两个中心城区属亚热带湿润季风气候,终年温润,四季分明。

依据《城市综合交通体系规划标准》(2018 版)提出的不同连接类型与用地服务特征所对应的城市道路功能等级,结合规范中给出的各类型道路红线宽度,并参考对锦江区和成华区街道的实地勘察结果,依据道路宽度,将两个中心城区的街道划分为 5 个等级(见表 1)。其中的第 4 级和第 5 级道路,即直接为沿线用地服务或为沿线用地服务较多的社区型连接道路,统称为背街小巷。在两个中心城区的所有街道中,背街小巷数量最多,直接决定了两个中心城区路网的密度大小。

(二) 研究方法

利用丰富度指数(Species Richness Index, R), Shannon-Wiener 多样性指数(S_d)和 Pielou 均匀度指数(P_e)共同表征各级街道的 α 多样性。

1) 丰富度指数 R

$$R = S \quad (1)$$

2) Shannon-Wiener 多样性指数 S_d

$$S_d = -\sum_{i=1}^i (P_i \ln P_i) \quad (2)$$

3) Pielou 均匀度指数 P_e

$$P_e = S_d' / \ln S \quad (3)$$

式中, S 为一个研究区域内全部植物物种个数, N 为所有物种的个体总数, P_i 是第 i 个物种的相对丰度,即该物种的个体数占总个体数的比例。

5 级街道的致敏风险采用绿地致敏指数(I_{ugza})来表示^[18],该指数的构建考虑了绿色空间内植物特有的生物学特性和形态特性作为内在参数,构建公式:

$$I_{ugza} = \frac{1}{\max_{\text{Avp}} \times S_T} \sum_{i=1}^K \text{Avp} \times S_i \times H_i \quad (4)$$

$$\text{Avp} = T_p \times D_{dp} \times A_p \quad (5)$$

式中, A_{vp} 为每个树种的潜在致敏性值, A_p (allergic potential) 为该树种固有致敏潜力等级值,赋值为 0 (不致

敏), 1 (低致敏), 2 (中致敏) 和 3 (高致敏), 赋值依据《中国气传花粉和植物彩色图谱》确定,如有书中缺失的物种,则通过观测花粉粒径和外形特征并参考前人的研究结论赋值^[19]。 T_p 为花粉的传粉类型,分为 4 个等级(0, 1, 2, 3),无花粉产生的物种对应为 0,虫媒花对应为 1,风媒花的花粉更易进入呼吸道引发过敏反应,赋值为 3,既可虫媒又可风媒的植物赋值为 2。 D_{dp} 为花期周期,赋值为 1, 2, 3,花期越长赋值越高。选择同种乔木中 3 棵植株进行观测,当被观测植株中有 5% 的花处于完全开放状态时,记为该树种的开花始期,95% 的花凋落时,记录其为末花期。依据文献,将 A_{vp} 划分为 3 个等级, $A_{vp} < 8$ 为低致敏树种, $A_{vp} = 8 \sim 12$ 为中致敏树种, $A_{vp} \geq 16$ 为高致敏树种。此外, S_i 是每条街道的总面积; k 是每条街道的树种数量; S_i 与 H_i 分别为街道中第 i 种树木树冠面积之和以及第 i 种树木的平均树高。研究采用 SPSS 软件统计分析数据,采用 Origin 软件绘制分析图。

二、结果与分析

(一) 锦江区和成华区 5 级街道行道树的形态特征

锦江区共有 467 条街道,总长度为 261.74 km;成华区共有 548 条街道,总长度为 328.51 km。两个中心城区的第 5 级街道的数量均最多,分别占街道总数的 76.67% 和 78.65%,其次是第 4 级街道(见表 1)。通过表 2 对锦江和成华区行道树分布特征的总结,可以发现两个城区的街道数量、街道总长度和行道树数量都随着街道宽度的增加而减少。相比之下,锦江区第 3 级街道的行道树栽培间距最小(4.58 m),而成华区第 4 级街道的行道树栽培间距最小(4.50 m)。

从胸径来看(见图 1),两个城区的青壮年树(胸径 15.2~30.3 cm)占比都超过了 65%,拥有绝对优势。锦江区成熟树(胸径 30.4~45.5 cm)占比为 14.93%,高于成华区(11.26%),但成华区的幼树占比(胸径 ≤ 15.1 cm)和过熟树(胸径 45.5~60.7 cm)分别占比 20.97% 和 2.74%,远高于锦江区的 13.32% 和 0.17%。详细分析显示,锦江区每级道路的胸径均超过了 22 cm,第 1 级道路的胸径远高于其他道路,第 5 级和第 4 级街道行道树的平均冠幅(5.55 m 和 5.57 m)远大于其栽培间距(4.98 m 和 4.58 m),锦江区这两级街道(背街小巷)可能存在严重的冠层堆叠现象。成华区的第 2 级、3 级街道行道树的平均胸径超过 24 cm,高于第 4 级、5 级街道,其中第 3 级、第 4 级和第 5 级街道行道树的平均冠幅都小于,因此成华区这 3 级街道可能存在严重的冠层堆叠现象。

表1 锦江区街道及行道树数量

街道级别	一级道路 (>46 m)		二级道路 (36~46 m)		三级道路 (26~35 m)		四级道路 (15~25 m)		五级道路 (8~14 m)	
	锦江	成华	锦江	成华	锦江	成华	锦江	成华	锦江	成华
街道数量	2	0	8	3	31	28	68	86	358	431
行道树数量	32	0	882	384	5 684	5 024	11 978	14 619	34 030	47 094
树种丰富度	2	0	9	2	14	18	23	24	35	52
街道总长度(km)	0.48	0	7.63	4.22	26.01	26.53	58.17	65.83	169.45	231.93

表2 锦江区和成华区街道及行道树特征

街道 分级	街道数量		街道总长度/km		行道树数量/棵		栽培间距/m		平均胸径/cm		平均高度/m		平均冠幅/m	
	锦江	成华	锦江	成华	锦江	成华	锦江	成华	锦江	成华	锦江	成华	锦江	成华
1	2	0	0.48	0.00	32	0	15.11	0.00	35.5	0	12.5	0	7.5	0
2	8	3	7.63	4.22	882	384	8.65	10.99	25.34	24.5	10.39	18.81	5.1	3.76
3	31	28	26.01	26.53	5 684	5 024	4.58	5.28	27.48	24.48	11.55	12.39	5.57	5.88
4	68	86	58.17	65.83	11 978	14 619	4.86	4.50	22.44	21.12	8.79	11.85	4.74	5.37
5	358	431	169.45	231.93	34 030	47 094	4.98	4.92	23.29	22.29	10.52	11.85	5.55	5.84
共计	467	548	261.74	328.51	52 606	67 121								

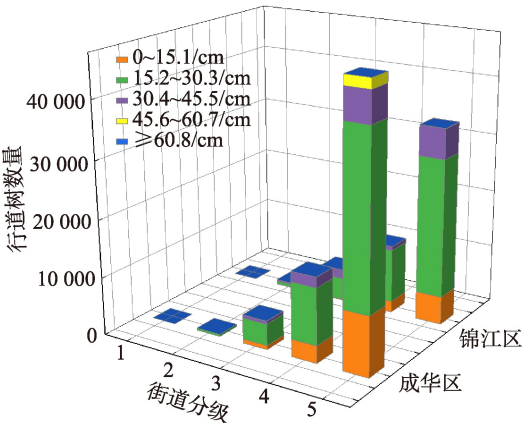


图1 锦江区和成华区各级街道胸径占比

(二) 锦江区和成华区5级街道的行道树组成特征

锦江区的行道树主要以银杏 *Ginkgo biloba* (8 965 株)、香樟 *Cinnamomum camphora* (8 833 株)、天竺桂 *Cinnamomum japonicum* (8 481 株)、二球悬铃木 *Platanus acerifolia* (5 136 株)和小叶榕 *Ficus concinna* (4 948 株)为主(表3),这些树种的个体总数占总株数的69.12%。数量最多的3个物种的数量分别占行道树总量的16%以上,为锦江区行道树的优势树种,且均为乡土树种。总体而言,树种主要集中于蔷薇科(Rosaceae)3种,桑科(Moraceae)3种;另有棕榈科(Arecaceae)、木犀科(Oleaceae)、豆科(Fabaceae)、杨柳科(Salicaceae)、叶下珠科(Phyllanthaceae)、榆科(Ulmaceae)和樟科(Lauraceae)等7科,均为2种。

成华区的行道树以香樟(13 305株)、银杏(10 218

株)、小叶榕(8 271株)、黄葛树(5 850株)、栎树(5 289株)和悬铃木(3 591株)为主(见表4),这些树种的个体数合计占总株数的71.49%。数量最多的3个树种,其占行道树总数的12%以上,为成华区行道树的优势树种,且均为乡土树种。树种主要集中于豆科(Fabaceae)7种、蔷薇科(Rosaceae)4种、樟科(Lauraceae)3种、木兰科(Magnoliaceae)3种、桑科(Moraceae)3种、棕榈科(Arecaceae)和紫葳科(Bignoniaceae)各2种。

锦江区和成华区的落叶树种占比分别为60%和62.26%,两个区域的常绿树种和落叶树种数量之比为0.67和0.61。在树种来源方面,外来树种在两个区域的占比分别为14.29%和16.98%。树种花期分布不均匀,锦江区春、夏、秋和冬季开花的物种分别占比74.28%、17.14%、11.43%和0%。锦江区仅有一个特有物种,为海棠。成华区春、夏、秋和冬季开花的物种分别占比69.81%、20.75%、7.55%和1.89%。此外,锦江区的树种重复率高于成华区。锦江区有2个树种:小叶榕和悬铃木在所有街道类型中均出现。仅有11个树种(31.43%)只出现在一个街道类型中。第5级街道的特有物种最为丰富($n=10$),如喜树、苦楝和南洋杉等,而第1级、第2级和第3级街道则没有特有物种,第4级街道仅有一个特有物种,即海棠(见图2a)。成华区虽然也有2个树种:银杏和秋枫出现在所有街道类型中,但有29个树种(54.72%)仅出现在1个街道类型中(见图2b)。第5级街道的特有物种最为丰富($n=26$),如菜豆树、大叶桉和黄花风铃木等,第2级街道则没有特有物种。

表3 锦江区树种

编号	树种名	科名(拉丁文)	树种数	胸径/cm	树高/m	冠幅/m	来源	生活型	花期
1	桉树	Eucalyptus robusta	353	35.83	10.30	3.80	C	常绿	秋
2	刺槐	Robinia pseudoacacia	292	21.43	23.27	5.72	外来	落叶	春
3	刺葵	Phoenix loureiroi	92	41.21	7.49	3.89	C	常绿	春
4	刺桐	Erythrina variegata	597	32.61	9.51	5.85	外来	常绿	春
5	杜英	Elaeocarpus decipiens	930	15.98	5.87	3.47	S	常绿	夏
6	构树	Broussonetia papyrifera	12	29.20	16.40	8.80	S	落叶	春
7	广玉兰	Magnolia Grandiflora	395	16.17	9.28	3.96	S	落叶	春
8	桂花	Osmanthus fragrans	489	14.71	5.64	3.57	S	常绿	秋
9	海棠	Malus spectabilis	51	12.00	4.00	2.00	C	落叶	春
10	黄葛树	Ficus virens	2 990	28.62	9.80	7.34	S	落叶	夏
11	黄连木	Pistacia chinensis	39	35.00	15.00	8.00	S	落叶	春
12	苦楝	Melia azedarach	50	25.00	11.00	5.00	S	落叶	春
13	蓝花楹	Jacaranda mimosifolia	325	35.44	7.49	5.68	外来	落叶	春
14	柳树	Salix babylonica	927	21.77	8.30	4.22	S	落叶	春
15	栎树	Koelreuteria paniculata	2 456	24.13	12.41	5.83	S	落叶	夏
16	南洋杉	Araucaria cunninghamii	12	6.00	3.00	2.00	C	常绿	春
17	女贞	Ligustrum lucidum	1 457	23.50	11.02	5.22	S	常绿	夏
18	泡桐	Paulownia fortunei	20	42.00	20.00	8.00	S	落叶	春
19	蒲葵	Livistona chinensis	133	26.15	8.39	3.88	C	常绿	春
20	朴树	Celtis sinensis	127	35.93	20.37	7.87	S	落叶	春
21	秋枫	Bischofia javanica	1 172	26.80	9.10	6.41	C	常绿	春
22	水杉	Metasequoia glyptostroboides	59	29.02	17.39	4.20	S	常绿	春
23	天竺桂	Cinnamomum japonicum	8 481	17.51	6.94	4.26	C	常绿	春
24	喜树	Camptotheca acuminata	56	19.00	15.00	6.00	S	落叶	夏
25	小叶榕	Ficus concinna	4 948	28.82	10.46	8.10	C	常绿	春
26	悬铃木	Platanus acerifolia	5136	28.42	13.40	6.77	外来	落叶	春
27	雪松	Cedrus deodara	10	20.00	12.00	6.00	外来	常绿	秋
28	大叶杨	Populus alba	2 584	29.76	12.39	6.68	C	落叶	春
29	银杏	Ginkgo biloba	8 965	21.03	10.82	4.00	S	落叶	春
30	樱花	Prunus serrulata	193	16.85	5.52	2.85	外来	落叶	春
31	榆树	Ulmus pumila	10	28.00	8.00	1.00	C	落叶	春
32	香樟	Cinnamomum camphora	8 833	23.08	10.46	4.84	S	常绿	春
33	重阳木	Bischofia polycarpa	24	19.00	10.50	5.50	C	落叶	春
34	紫薇	Lagerstroemia indica	333	14.50	5.00	3.00	S	落叶	夏
35	紫叶李	Prunus cerasifera	55	15.00	5.00	2.50	S	落叶	春

注:原产地为中国简写为C,原产地为四川简写为S。

表4 成华区树种

编号	树种名	科名(拉丁文)	树种数	胸径/cm	树高/m	冠幅/m	来源	生活型	花期
1	桉树	Eucalyptus robusta	34	36.67	14.00	4.67	C	常绿	秋
2	菜豆树	Radermachera sinica	11	26.00	5.00	5.00	C	常绿	夏
3	侧柏	Platycladus orientalis	8	12.00	6.00	5.00	C	常绿	春
4	刺槐	Robinia pseudoacacia	1 259	38.40	14.60	9.60	外来	落叶	春
5	刺葵	Phoenix loureiroi	23	38.00	6.00	5.00	C	常绿	春
6	刺桐	Erythrina variegata	644	33.51	13.84	9.66	外来	常绿	春
7	杜英	Elaeocarpus decipiens	664	13.59	6.51	4.03	S	常绿	夏
8	构树	Broussonetia papyrifera	36	23.20	16.80	7.60	S	落叶	春

续表

编号	树种名	科名(拉丁文)	树种数	胸径/cm	树高/m	冠幅/m	来源	生活型	花期
9	广玉兰	Magnolia Grandiflora	302	13.92	7.38	3.59	S	落叶	春
10	桂花	Osmanthus fragrans	1 028	13.23	6.49	4.05	S	常绿	秋
11	国槐	Styphnolobium japonicum	61	19.72	12.98	6.41	S	落叶	春
12	海棠	Malus spectabilis	62	21.00	10.33	3.67	C	落叶	春
13	合欢	Albizia julibrissin	3	12.00	7.00	5.00	S	落叶	夏
14	红花羊蹄甲	Bauhinia blakeana	104	23.00	19.50	6.00	S	落叶	春
15	黄葛树	Ficus virens	5 850	26.57	12.29	8.53	S	落叶	夏
16	黄花风铃木	Handroanthus chrysanthus	90	18.00	7.00	3.00	外来	落叶	春
17	黄连木	Pistacia chinensis	17	12.00	7.00	2.25	S	落叶	春
18	幌伞枫	Heteropanax fragrans	148	25.51	6.90	5.90	C	常绿	秋
19	榉树	Zelkova serrata	350	25.00	10.00	10.00	S	落叶	春
20	苦楝	Melia azedarach	1 974	19.32	14.47	3.39	S	落叶	春
21	蓝花楹	Jacaranda mimosifolia	440	21.29	9.21	4.94	外来	落叶	春
22	含笑	Michelia chapensis	505	21.69	13.11	3.60	S	常绿	春
23	柳树	Salix babylonica	595	22.78	13.84	4.79	S	落叶	春
24	栾树	Koelreuteria paniculata	5 289	21.20	13.18	5.46	S	落叶	夏
25	木芙蓉	Hibiscus mutabilis	23	16.00	15.00	4.00	S	落叶	夏至秋
26	楠木	Phoebe zhennan	92	18.90	15.40	4.00	S	常绿	春
27	女贞	Ligustrum lucidum	1 951	20.59	14.90	5.96	S	常绿	夏
28	泡桐	Paulownia fortunei	223	31.60	13.00	7.60	S	落叶	春
29	枇杷	Eriobotrya japonica	13	6.50	4.75	4.75	C	常绿	冬
30	蒲葵	Livistona chinensis	200	18.15	5.10	4.59	C	常绿	春
31	朴树	Celtis sinensis	238	23.46	11.77	5.36	S	落叶	春
32	秋枫	Bischofia javanica	1 921	31.34	11.91	6.89	C	常绿	春
33	水杉	Metasequoia glyptostroboides	34	27.40	27.60	5.20	S	常绿	春
34	天竺桂	Cinnamomum japonicum	5 053	16.89	9.76	4.96	C	常绿	春
35	无患子	Sapindus saponaria	66	17.50	6.00	2.00	外来	落叶	夏
36	五角枫	Acer pictum subsp. Mono	254	10.00	8.00	2.00	C	落叶	春
37	喜树	Camptotheca acuminata	21	24.00	12.75	4.50	S	落叶	夏
38	香椿	Toona sinensis	98	12.00	12.00	3.50	C	落叶	夏
39	香樟	Cinnamomum camphora	13 305	21.16	11.36	4.98	S	常绿	春
40	小叶榕	Ficus concinna	8 271	27.35	10.03	7.38	C	常绿	春
41	悬铃木	Platanus acerifolia	3 591	33.00	13.71	6.93	外来	落叶	春
42	雪松	Cedrus deodara	4	27.00	22.00	8.00	外来	常绿	秋
43	大叶杨	Populus alba	1 076	28.48	14.66	6.93	C	落叶	春
44	银荆	Acacia dealbata	2	21.00	8.00	6.00	外来	落叶	春
45	银杏	Ginkgo biloba	10 218	17.54	12.52	4.29	S	落叶	春
46	樱花	Prunus serrulata	131	12.33	5.00	3.33	外来	落叶	春
47	榆树	Ulmus pumila	208	28.18	12.51	5.31	C	落叶	春
48	紫玉兰	Yulania liliiflora	2	6.00	9.00	4.00	S	落叶	春
49	重阳木	Bischofia polycarpa	336	15.92	8.30	5.80	C	落叶	春
50	紫荆	Cercis chinensis	34	10.00	5.00	3.00	S	落叶	春
51	紫薇	Lagerstroemia indica	150	9.69	7.42	4.30	S	落叶	夏
52	紫叶李	Prunus cerasifera	77	14.55	7.32	2.54	S	落叶	春
53	棕榈	Trachycarpus fortunei	32	25.00	19.00	3.50	C	常绿	春

注:原产地为中国简写为 C,原产地为四川简写为 S。

(三) 锦江区和成华区行道树种的 α 多样性分析

在不同的街道类别中,锦江区和成华区的 S_d 分别介于 0.64~2.58(见图 3a)和 0~2.75(见图 3b),差别不大。但锦江区行道树的 S_d 随着街道宽度的变窄呈现双峰模式,最大值(2.58)出现在第 5 级街道,其次是第 3 级街道(2.15)。成华区行道树的 S_d 则随着街道宽度的变窄而持续增大,最大值(2.75)也出现在第 5 级街道。锦江区的 P_e 呈现波动趋势,第 1 级街道行道树的均匀度为最佳(0.928),第 3 级(0.814)和第 5 级街道(0.731)的 P_e 次之,第 4 级街道的树种均匀度最差。而成华区的 P_e 呈现先增后减的趋势,第 4 级街道的行道树的均匀度为最佳(0.723),第 3 级和第 5 级街道的 P_e 次之。

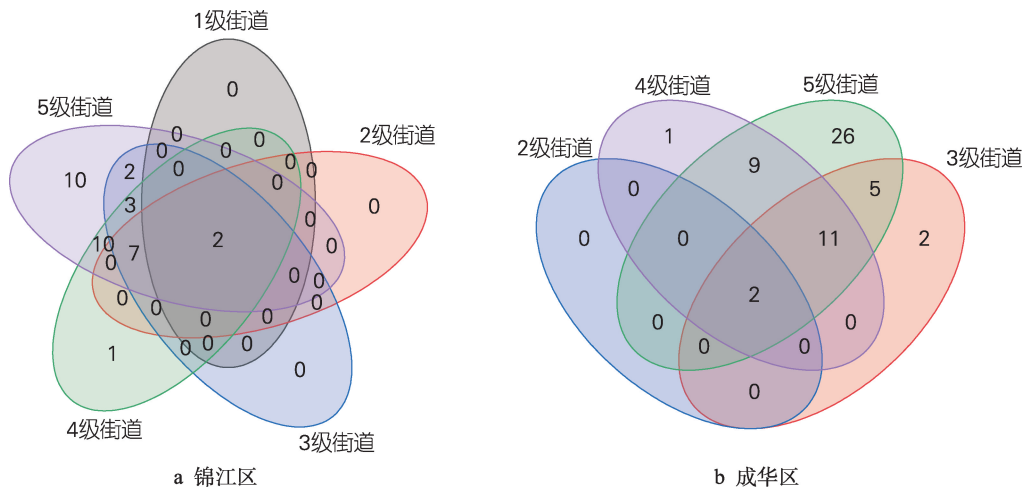


图2 各级街道的树种比较

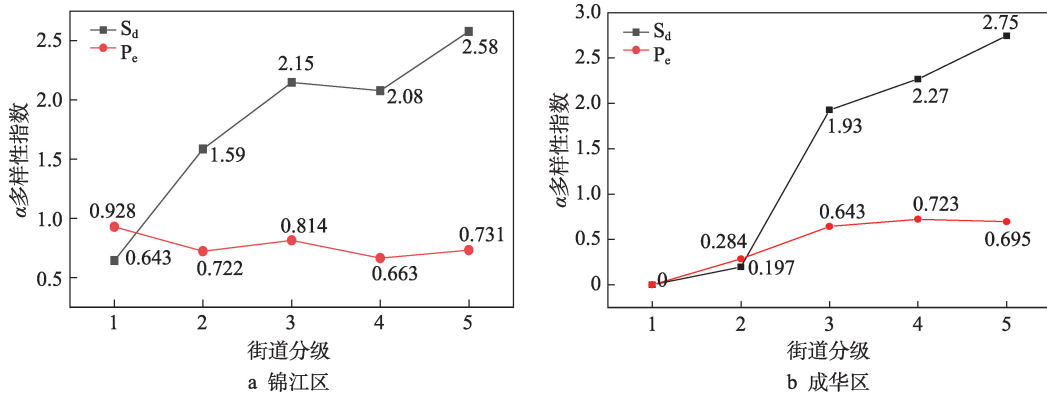


图3 各级街道的 α 多样性

表5 锦江区和成华区行道树的 A_{vp} 分布

A_{vp} 类型	数量/株		占比/%	
	锦江区	成华区	锦江区	成华区
低(0~6)	10 469	17 110	19.90	25.49
中(8~12)	22 888	30 299	43.51	45.14
高(≥ 16)	19 249	19 712	36.59	29.37

(四) 行道树的绿地过敏性指数 (I_{ugza}) 及其与多样性指数的关联

表 5 分别列举了锦江区和成华区行道树的 A_{vp} 分布情况。结果显示,中 A_{vp} (8~12) 的行道树在锦江区和成华区所占比例均为最高,分别为 43.51% 和 45.14%,其次是高 A_{vp} (≥ 16),两区分别占比 36.59% 和 29.37%,低 A_{vp} 树种所占比例最低。在各级街道中,两区表现有所不同(表 6)。锦江区的第 1 级街道中高 A_{vp} 的行道树占比(65.63%)远高于其他街道类型,第 3 级街道中的高 A_{vp} 树种占比(38.79%)低于其他级别街道,中 A_{vp} 树种占比最高,为 53.10%。成华区则是第 2 级街道高 A_{vp} 的行道树占比(95.05%)远高于其他街道类型,第 5 级街道中的高 A_{vp}

表6 锦江和成华区各级街道行道树的 A_{vp} 分布

街道分级		1级/%	2级/%	3级/%	4级/%	5级/%
低(0~6) A_{vp}	锦江区	34.38	10.88	8.11	7.05	26.61
	成华区	0	4.95	14.37	26.70	26.47
中(8~12) A_{vp}	锦江区	0	32.77	53.10	52.31	39.13
	成华区	0	49.42	39.15	46.91	0.00
高(≥ 16) A_{vp}	锦江区	65.63	56.35	38.79	40.64	34.26
	成华区	0	95.05	36.21	34.15	26.62

树种占比(26.62%)低于其他级别街道。

锦江区和成华区中,高 I_{ugza} (>0.6)的街道所占比例最高,分别为76.87%和81.73%。其中,数值超过1.0的街道分别占比为68.09%和71.53%。 I_{ugza} 介于0.3~0.6的街道占街道总数的比例均为最低(见图4~5)。从各级街道来看,锦江区和成华区第5级街道中高 I_{ugza} 的街道占比最高,分别超过了83%和85%,其次是第3级街道,其高 I_{ugza} 的街道占比为分别超过73%和71%。与之相反,锦江区1级街道中的所有街道均为低 I_{ugza} (0~0.3),其占比为100%。成华区第2级街道中的低 I_{ugza} 的街道占比最高,为33.33%。

Pearson 相关分析显示,两个区域不同级别街道的 I_{ugza} 与 S_d 呈显著正线性相关($r=0.666^*$),与树种丰富度呈极显著正相关($r=0.922^{**}$),但其与每级街道的行道树数量、平均冠幅、平均高度和平均胸径均无线性关联。

三、讨论

针对各类城市绿地的研究建议,城市绿地的优势树种

数量占比不应超过总树种数量的10%,以保持物种分布的均匀性^[20]。然而,本研究发现锦江区和成华区的3个优势树种,分别占行道树总数的16%和12%以上,表明两个城区的行道树树种选择严重不均衡。此外,两个城区的行道树胸径均较大,65%以上的树木都属于青壮树。青壮年树的遮阴效果较好,但通过与当地街道宽度对比发现第3、4、5级街道中叠冠现象普遍。叠冠通常意味着植株拥挤,会影响光照竞争、树木生长和存活,此外枝叶会因摩擦而折断或磨损,可能促进病虫害的传播。

多项关于西班牙^[18]、德国^[21]和我国^[19]的多项公园研究成果均表明,公园的 I_{ugza} 通常介于0~1,且当 I_{ugza} 超过0.3时会产生致敏风险。因此,当 I_{ugza} 在0.3~0.6被认定为具有中等过敏风险, I_{ugza} 在0.6~1.0则被认为具有高过敏风险^[22]。本研究则发现,城市道路绿地的花粉致敏风险指数显著地高于城市公园,而且成华区的花粉致敏风险高于锦江区。锦江区和成华区的高 I_{ugza} 的街道所占比例极高,都超过了街道总数的75%,在街道中高于68%的 I_{ugza} 超

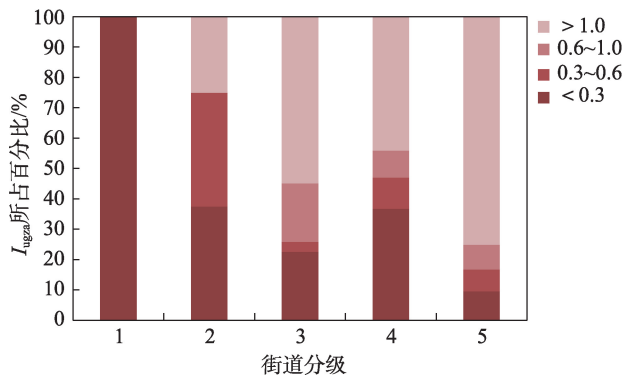


图4a 锦江区各级街道的 I_{ugza} 分布

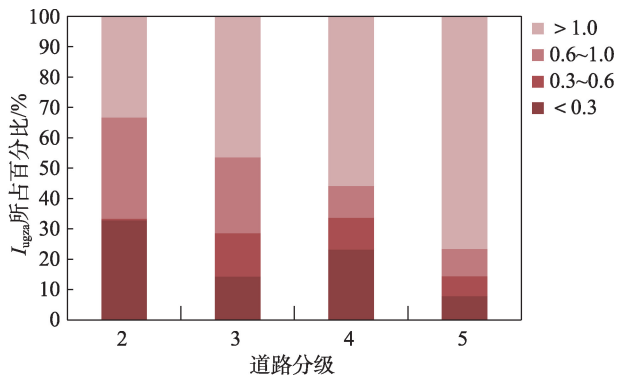


图4b 成华区各级街道的 I_{ugza} 分布

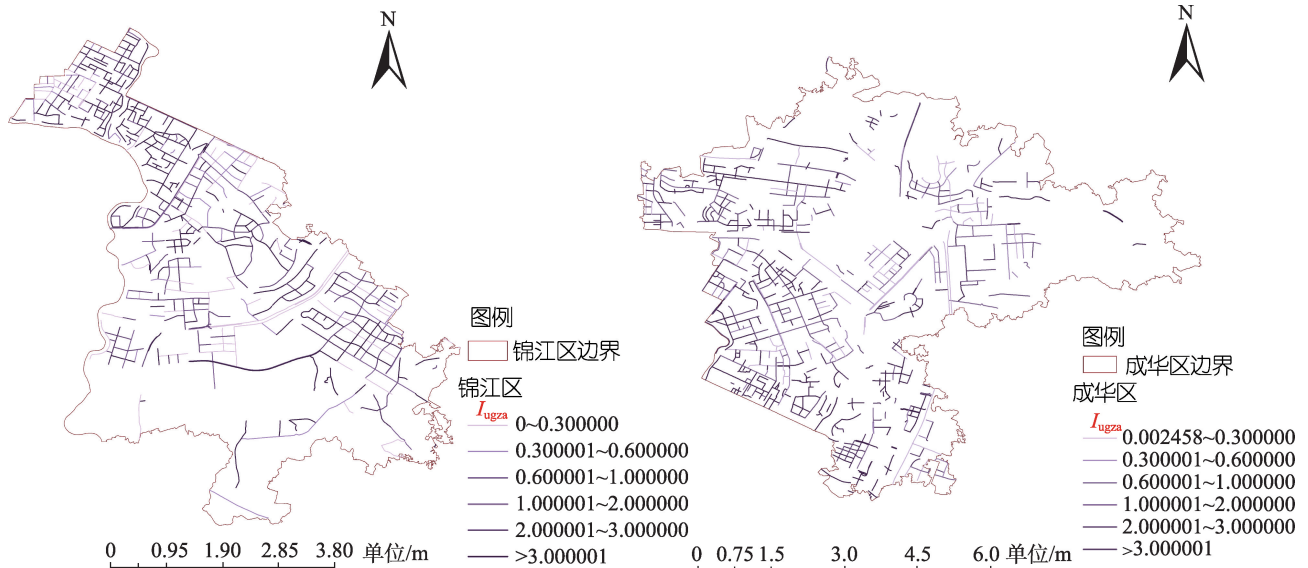


图5 锦江区和成华区街道的 I_{ugza} 分布图

过了上限1.00。我们推测街道 I_{ugza} 明显高于公园的原因在于,与城市公园相比,街道的行道树密度高、树冠大而厚,且街道面积较小,因此导致 I_{ugza} 的关键因素(树冠体积与街道面积之比)过高。

在不同的街道分级中,锦江区和成华区第5级街道中高 I_{ugza} 的街道占比最高,分别超过了第5级街道总数的83%和85%,这归因于高 A_{vp} 树种占比最高。两个区的第5级街道主要使用的树种都是高 A_{vp} 树种,包括银杏、二球悬铃木、女贞和大叶杨。在许多发达国家,诱发过敏的树种相对单一,如在中欧,30%~50%的人对桦树(*Betula*)和栎树(*Quercus*)花粉过敏^[23]。在日本,主要的致敏树种是柳杉(*Cryptomeria japonica*)和侧柏(*Platycladus orientalis*)^[24]。然而本研究发现,仅在第5级街道中,锦江区和成华区就分别有11和14种高 A_{vp} 树种。结合相关性分析进一步表明,能降低行道树致敏风险的关键要素是物种的丰富度和多样性。因此,尽管成都市拥有丰富树种品种,但其街道绿地过敏的风险仍较高,超过其他同等规模城市地区。

四、结语

随着公园城市建设的推进,成都市的行道树数量和种类大幅度增加,虽然为城市创造了极佳的生态效益,但也间接增大了花粉致敏风险。锦江和成华区街道的行道树胸径较大、冠幅极大,因此 I_{ugza} 平均值均高于0.3,且大部分街道在高致敏风险范围内,这为当地居民带来了极高的花粉致敏风险。两个区域行道树的花期都集中在春季(70%),因此春季的致敏风险又远远超过其他季节。当地行道树的花粉致敏风险可以通过以下方式予以控制,一是优化树种结构,或选用低 A_{vp} 的树种,如含笑(*Michelia figo*)、泡桐(*Paulownia tomentosa*)、合欢(*Albizia julibrissin*)、白兰花(*Michelia alba*)等,替代高 A_{vp} 的树种,如银杏和二球悬铃木。二是适当减少第3级街道和背街小巷行道树的种植密度,不仅可以避免叠冠现象,还能降低花粉释放量。三是采取适当的管理和园艺策略(如修剪和化学药物),对行道树的树冠外层进行合理修剪或喷药抑制花序产生。在未来的研究中,应进一步探讨城市绿化如何平衡城市树木的生态效益和健康效益。

参考文献

[1] MCPHERSON E G, VAN DOORN N, DE GOEDE J. Structure, Function and Value of Street Trees in California, USA[J]. Urban Forestry & Urban Greening,

2016,17: 104-115.

- [2] SINGH A K, NAIR V K, SINGH H, et al. Carbon Storage and Carbon Dioxide Sequestration by Urban Tree Cover: Case Study from Varanasi, India[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences, 2022, 92(3): 647-657.
- [3] 张俊杰, 易梦, 唐国鑫, 等. 道路绿地与街旁游园生态效益研究进展[J/OL]. 应用与环境生物学报, 2025: 1-15[2025-02-05]. https://kns.cnki.net/kcms2/article/abstract?v=aBsOvapnXdXfCwEW2hzPex_YZWSd5z6nvGCR_SQdgpAi6zyavRfeMR6ne82ossDqWyteR4xVwEyCNOGg8kTgxTXYEQu3GpslGr_H9cQvY4Gvqgyi_88Y43aFUoCY56M6LNntGMpoazL_YCozcBxkBI560mOL-5j678OMw-4k_Hi2g2sl4ve1Q==&uniplatform=NZKPT&language=CHS.
- [4] 杨少平, 胡爱兵, 任心欣. 基于模型的海绵型道路年径流总量控制率影响因素研究[J]. 建设科技, 2019(7): 31-36.
- [5] 周冰颖, 刘霞, 黄普鑫, 等. 不同栽植时间和地点的香樟行道树根际土壤微生物及土壤肥力的研究[J]. 植物医学, 2023, 2(5): 41-50.
- [6] 胡喜生, 郑燕, 陈敏, 等. 不同行道树绿化带疏透度对降低交通噪音效果的对比[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2015, 34(4): 95-98.
- [7] 吴家兵, 孙雨, 李荣平, 等. 沈阳市6种行道树对紫外辐射屏蔽效应研究[J]. 辽宁林业科技, 2011(4): 1-3.
- [8] 李苹苹, 苗纯萍, 陈玮, 等. 城市街谷行道树对PM_{2.5}浓度影响的数值模拟研究[J]. 生态学杂志, 2021, 40(12): 4044-4052.
- [9] 陶锦耀, 李煜, 徐跃家. 心理健康视角下的人行道空间四界面元素研查——以首都功能核心区街景为例[J]. 建筑创作, 2020(4): 183-191.
- [10] TROY A, MORGAN G J, O'NEIL- DUNNE J. The Relationship between Tree Canopy and Crime Rates across an Urban - Rural Gradient in the Greater Baltimore Region[J]. Landscape and Urban Planning, 2012, 106(3): 262-270.
- [11] 宗桦, 曹芷萌, 李梦霞, 等. 22种春季开花的常用行道树种的致敏花粉形态特征[J]. 应用与环境生物学报, 2024, 30(4): 759-766.
- [12] 黄英梅, 崔诚, 吴家龙, 等. 广州市主要行道树根系对道路破坏状况调查[J]. 中国城市林业, 2024, 22(6): 155-163.
- [13] 乔红雍, 袁涛, 李肇. 太原市行道树安全风险评估[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2023, 44(3): 26-33.
- [14] WANG X Y, MA T T, WANG X Y, et al. Prevalence of Pollen- Induced Allergic Rhinitis with High Pollen Exposure in Grasslands of Northern China[J]. Allergy, 2018, 73(6): 1232-1243.
- [15] 孟龄, 杨磊, 王巧环, 等. 致敏性气传花粉的分布、危害评价及防治措施[J]. 应用生态学报, 2023, 34(10): 2845-2853.
- [16] 周江鸿, 夏菲, 车少臣, 等. 城市绿地春季潜在花粉污染风险评估[J]. 中国城市林业, 2022, 20(4): 1-6.