公园城市背景下成都市环城生态区森林群落植物多样性

桂萌萌[1,2], 刘 勤[2], 严 坤[2], 闫洋洋[2], 王 娟[1], 徐秋璇[2]
(1.成都理工大学 地理与规划学院, 四川 成都 610059;
2.中国科学院、水利部 成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610213)

摘　要: [目的] 分析成都市环城生态区典型城郊过渡带群落物种组成特征,揭示不同群落类型、管理模式和功能林地的植物多样性差异,为土地整治与生态修复工程成效评估和植被管理优化提供科学依据。[方法] 采用分层随机抽样法布设样方,利用Shannon-Wiener多样性指数、Simpson优势度指数、物种丰富度指数和Pielou均匀度指数评价植物物种多样性。[结果] ①城郊植物种类丰富,共记录植物92科177属231种,其中乡土植物占41.1%,国内引进种占33.3%,国外引进种占25.5%;外来入侵植物31种,以草本为主(占80.6%)。②种子植物属地理成分较复杂,泛热带分布(29.4%)和北温带分布(18.6%)占主导。③混交林乔木层物种多样性显著高于落叶阔叶林($p<0.05$);公园管理模式下的乔木层多样性显著低于非公园管理($p<0.05$);景观林乔木层物种丰富度显著低于非景观林($p<0.05$)。[结论] 城郊过渡带具有较高的植物多样性水平,但仍需警惕外来物种入侵风险。建议加强动态监测,在生态修复中优先选择常绿阔叶乡土树种。

关键词: 植物多样性; 物种组成; 环城生态区; 城郊过渡带; 成都市
文献标识码: A　　**文章编号:** 1000-288X(2025)06-0059-08　　**中图分类号:** Q948, S718.54

文献参数: 桂萌萌, 刘勤, 严坤, 等.公园城市背景下成都市环城生态区森林群落植物多样性[J].水土保持通报,2025,45(6):59-66. Gui Mengmeng, Liu Qin, Yan Kun, et al. Plant diversity of forest communities in Chengdu ring ecological zone under park city initiative [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2025, 45(6):59-66.
DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2025.06.018　　**CSTR:32312.14.stbctb.2025.06.018**

Plant diversity of forest communities in Chengdu ring ecological zone under park city initiative

Gui Mengmeng[1,2], Liu Qin[2], Yan Kun[2], Yan Yangyang[2], Wang Juan[1], Xu Qiuxuan[2]
(1.*College of Geography and Planning*, *Chengdu University of Technology*, *Chengdu*, *Sichuan* 610059, *China*;
2.*Institute of Mountain Hazards and Environment*, *Chinese Academy of Sciences*, *Chengdu*, *Sichuan* 610213, *China*)

Abstract: [Objective] The species composition characteristics of the typical urban-suburban transition zone in Chengdu ring ecological zone were analyzed, in order to reveal the differences in plant diversity among different community types, management models and functional forest lands, and provide a scientific basis for the evaluation of the effectiveness of land consolidation and ecological restoration projects as well as the optimization of vegetation management. [Methods] Quadrats were established using a stratified random sampling method, and the Shannon-Wiener diversity index, Simpson dominance index, species richness index, and Pielou evenness index were used as measurement indicators to evaluate diversity. [Results] ① The urban-suburban transition zone exhibited rich plant diversity, with a total of 231 plant species belonging to 177 genera and 92 families recorded. Among them, native species accounted for 41.1%, domestically introduced species for 33.3%, and exotic species for 25.5%. In addition, the survey found 31 alien invasive plant species, predominantly herbaceous, accounting for 80.6%. ② The phytogeographic composition of seed plant genera was relatively complex, with pantropical

收稿日期:2025-04-25　　**修回日期:**2025-08-02　　**采用日期:**2025-08-11
资助项目:国家重点研发计划课题"城市格局演变的综合生态环境效应与级联机制"(2022YFF1301104); 中国科学院青年创新促进会项目"城市公园的气候调节服务机制研究"(2021375)
第一作者:桂萌萌(2000—),女(汉族),安徽省池州市人,硕士研究生,研究方向为园林植物及应用。Email:Guimm323@163.com。
通信作者:刘勤(1986—),男(汉族),重庆市人,副研究员,主要从事生态系统评价与管理、区域规划与可持续发展研究。Email:liuqin@imde.ac.cn。

distribution (29.4%) and north temperate distribution (18.6%) being dominant. ③ The species diversity of the tree layer in mixed forests was significantly higher than that in deciduous broad-leaved forests ($p<0.05$). The tree layer diversity was significantly lower in park-managed forests compared to non-park-managed forests ($p<0.05$), and the species richness of the tree layer in landscape forests was significantly lower than that in non-landscape forests ($p<0.05$). [Conclusion] The urban-suburban transition zone maintains a relatively high level of plant diversity, but requires heightened vigilance against the risk of invasion by alien species. It is recommended to strengthen dynamic monitoring and prioritize the selection of native evergreen broad-leaved tree species in ecological restoration.

Keywords: **plant diversity; species composition; ring ecological zone; urban-suburban transition zone; Chengdu City**

城市生物多样性是维持生态系统服务,增强城市韧性以及改善人居环境的重要保障[1-2]。联合国提出要加强可持续的城市建设管理能力(SDG11.3)和保障绿色公共空间(SDG11.7),根本任务在于协同提升生物多样性和生态系统服务,增进人类福祉[3]。当前城市生物多样性保护面临严峻挑战,最近20 a中国城市面积扩张2.8倍,城市人口增长1.5倍,人口密度超过7 000人/km^2[4],快速城市化导致大量生态空间被侵占或破坏,生境退化,景观破碎化,过度的人工管理及外来种入侵等问题日益加剧,导致城市生物多样性降低,影响人与自然接触的效率[5-7]。

城市化进程对生物多样性影响存在时空异质性,城乡梯度成为重要的分析框架[8]。相关研究表明,城市化梯度与植物多样性具有显著的负相关关系,高密度建成区植物多样性显著低于郊区或农村[9];但Useni Sikuzani等[10]发现城市核心区和城市边缘植物多样性相近;Aronson等[11]则揭示出木本植物物种丰富度在城乡梯度上无显著差异,但草本层在郊区呈现多样性优势。目前相关研究多聚焦于建成区与郊区对比分析,较少关注处于两者交错的城郊过渡带。城郊过渡带是复杂的社会-生态系统交汇区,该区域植物群落同时受土地利用、绿地管理方式、城市规划等多种因子影响[12-13]。研究[14]表明,适度的城市化干扰有助于提高生物多样性,符合"中度干扰假说"的预测模式。如Zerbe等[15]在柏林都市圈的研究证实,植物物种最丰富区域位于城市中心和郊区之间的过渡带。因此,加强城郊过渡带调查研究,能够进一步揭示城市生物多样性的变化规律,对于优化城市生态系统保护策略具有重要意义。

2018年,中国国家领导人在成都视察时首次提出"公园城市"理念,标志着中国城市生态建设进入新阶段。该理念强调公园与城市空间有机融合,保护自然生态系统完整性和原真性,实现生物多样性保育与生态服务功能提升的协同增效[16]。为防止城市组团粘连扩张和无序蔓延,成都市构建了环城生态区这一"超级绿环"。作为全国首个公园城市示范区的核心工程,该城郊过渡带近年来陆续实施地形重塑、土壤改良、生态修复等措施,通过保留原生乔木林、"补植补造"疏林与迹地等管理手段改造林相景观,并建成开放公园25个,形成融合城市公园与郊野绿地功能的复合植物群落空间。基于此背景,本文针对成都市环城生态区植物群落物种组成与区系地理特征开展研究,通过实地样方调查与统计分析,揭示城郊过渡带植物多样性特征,为土地整治与生态修复工程成效评估和植被管理优化提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

成都市(102°54′—104°53′E,30°05′—31°26′N)环城生态区是沿绕城高速两侧各500 m范围内及周边7大楔形地块所构成的全国最大环状城郊过渡带,跨经青羊、武侯、锦江等11个区(县),生态用地面积达133 km^2(图1)。该区域位于成都市主城区外围,地形较平坦,土壤类型以水稻土为主,土层深厚,质地疏松,适合植物生长。区域内分布有清水河、江安河、府河等多条河流,水系密度较高。气候类型为典型的亚热带季风气候,年均温约16.7 ℃,降水充沛,日照时数偏少,四季分明,空气潮湿。木本植物以次生林和人工林为主,乡土植物与外来引进植物交错分布,具有多样化的群落结构。

1.2 研究方法及数据处理

1.2.1 样地设置与数据收集

2023年7—8月在环城生态区展开调查,样地布设于青龙湖、白鹭湾、锦城公园、高家坎、崔家碾等多个片区,涵盖了区域内典型的森林、农田防护林、河岸缓冲带、公园绿地等生境类型。综合考虑群落类型、管理模式和功能林地3个维度,采用分层随机抽样法,

实地勘察后共布设101个乔木样方(10 m×10 m),样地内部沿对角线布设2个灌木样方(2 m×2 m),每个灌木样方内嵌套1个草本样方(1 m×1 m)。其中乔木(含竹类)的记录指标包括株数、高度、胸径和种名;灌木及草本(含藤本)的记录指标为盖度、高度、种名、株数。最终得到如下样方:混交林24个,常绿阔叶林26个,常绿落叶阔叶混交林51个;公园管理模式46个,非公园管理55个;景观林样地69个,非景观林样地32个。

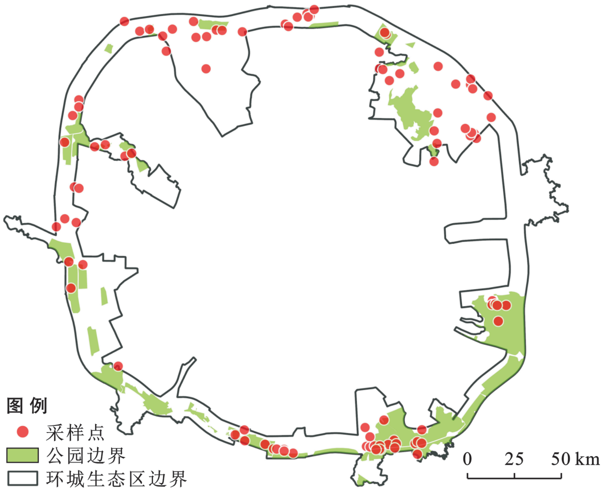


图1　成都市环城生态区及样地位置

Fig.1　Location of Chengdu ring ecological zone and sampling sites

城郊植物种类及物种来源的鉴定参考《四川省植物志》《中国种子植物区系地理》、网络平台植物智(https://www.iplant.cn/)和中国植物图像库(https://ppbc.iplant.cn/),外来入侵植物的种名及其危害等级参考《成都市外来入侵植物》[17-18]。

1.2.2　数据处理

(1)重要值计算。本研究以重要值作为多样性指数的测度数据,分别计算乔木、灌木和草本植物的重要值(Ⅳ),公式如下:

$$Ⅳ_{乔木层}=\frac{1}{3}(相对密度+相对高度+相对显著度) \quad (1)$$

$$Ⅳ_{灌木、草本层}=\frac{1}{2}(相对盖度+相对高度) \quad (2)$$

式中:相对密度=某种植物的密度/所有植物种的总密度;相对高度=某种植物的高度/所有植物种的总高度;相对显著度=某种乔木的胸高断面积和/样方中全部乔木个体胸高断面积之和;相对盖度=某种植物盖度/所有植物种的盖度之和。

(2)植物多样性计算。在评估样地植物多样性时,采用Shannon-Wiener多样性指数(H')、Simpson优势度指数(D)、物种丰富度指数(R)和Pielou均匀度指数(E)作为多样性测度指标,各指标计算方法如下:

$$R=S \quad (3)$$

$$H'=-\sum_{i=1}^{s}P_i\ln(P_i) \quad (4)$$

$$D=1-\sum_{i=1}^{s}P_i^2 \quad (5)$$

$$E=\frac{H'}{\ln(S)} \quad (6)$$

式中:P_i为第i个物种的重要值;S为样方内物种数。

(3)统计分析。在Excel中完成数据初步处理以及计算重要值和多样性指数;统计分析使用IBM SPSS Statistics 27进行;采用Kruskal-Wallis单因素ANOVA进行全部成对多重检验,比较不同群落类型、管理模式及功能林地的乔灌草各层次物种多样性指数差异;利用Origin 2021完成图形制作。

2　结果与分析

2.1　群落物种组成特征

2.1.1　植物物种组成

调查结果表明,研究区共有植物92科,177属,231种,其中乔木73种,灌木31种以及草本127种。物种数最多的4个科依次为菊科(*Asteraceae*)24种,豆科(*Fabaceae*)17种,禾本科(*Poaceae*)15种,以及蔷薇科(*Rosaceae*)9种。前4科的种数合计约占总种数的28%。物种数较多的属为茄属(*Solanum*)5种和李属(*Prunus*)4种。常见乔木为构树(*Broussonetia papyrifera*)、天竺桂(*Cinnamomum japonicum*)、栾树(*Koelreuteria paniculata*)等;常见灌木为女贞(*Ligustrum lucidum*)、海桐(*Pittosporum tobira*)、水麻(*Debregeasia orientalis*)等;常见草本植物为空心莲子草(*Alternanthera philoxeroides*)、求米草(*Oplismenus undulatifolius*)、葎草(*Humulus scandens*)等。从物种重要值来看(表1),乔木层优势种有池杉(*Taxodium distichum* var. *imbricarium*)、西府海棠(*Malus micromalus*)、加杨(*Populus*×*canadensis*)等;灌木层优势种有齿叶冬青(*Ilex crenata*)、金叶女贞(*Ligustrum*×*vicaryi*)、蓖麻(*Ricinus communis*)等;草本层优势种有小赤麻(*Boehmeria spicata*)、淡竹叶(*Lophatherum gracile*)、雀稗(*Paspalum thunbergii*)等。总体来看,成都市城郊植物物种组成较丰富,呈现出乡土植物和景观植物共生的次生植被演替特征。

表1　乔灌草层主要优势种及其重要值

Table 1　Dominant species and important values in tree, shrub, and herb layers

层次	序号	树种	重要值(IV)
乔木层	1	池杉(*T. distichum* var. *imbricarium*)	1.000
	2	西府海棠(*M. micromalus*)	1.000
	3	加杨(*Populus*×*canadensis*)	0.915
	4	刺桐(*Erythrina variegata*)	0.860
	5	柠檬桉(*Corymbia citriodora*)	0.796
	6	小叶杨(*P. simonii*)	0.769
	7	水杉(*Metasequoia glyptostroboides*)	0.658
	8	桉(*Eucalyptus robusta*)	0.630
	9	落羽杉(*Taxodium distichum*)	0.626
	10	菩提(*Ficus religiosa*)	0.606
灌木层	1	齿叶冬青(*I. crenata*)	1.000
	2	金叶女贞(*L. vicaryi*)	0.851
	3	蓖麻(*R. communis*)	0.732
	4	红花檵木(*Loropetalum chinense* var. *rubrum*)	0.688
	5	八角金盘(*Fatsia japonica*)	0.400
	6	木芙蓉(*Hibiscus mutabilis*)	0.319
	7	紫荆(*Cercis chinensis*)	0.313
	8	南天竹(*Nandina domestica*)	0.253
	9	十大功劳(*Mahonia fortunei*)	0.233
	10	龙牙花(*Erythrina corallodendron*)	0.216
草本层	1	小赤麻(*B. spicata*)	0.712
	2	淡竹叶(*L. gracile*)	0.644
	3	雀稗(*P. thunbergii*)	0.603
	4	紫娇花(*Tulbaghia violacea*)	0.590
	5	香附子(*Cyperus rotundus*)	0.579
	6	美人蕉(*Canna indica*)	0.545
	7	天名精(*Carpesium abrotanoides*)	0.485
	8	葎草(*H. scandens*)	0.435
	9	落葵薯(*Anredera cordifolia*)	0.381
	10	狗牙根(*Cynodon dactylon*)	0.378

2.1.2　物种来源

优越的地理环境孕育了成都市丰富的植物资源。成都市本土植物指自然分布于成都地区的物种,外来植物指人类有意或无意引进的成都范围以外的物种,其中包含国内引进和国外引进植物。从生活型数量来看(图2),成都市本土植物为主要来源,共95种,占总数的41.1%,如银杏(*Ginkgo biloba*)、紫荆、接骨草(*Sambucus williamsii*)等;其次是国内引进,共77种,占总数的33.3%,如水杉、海桐、红花羊蹄甲(*Bauhinia*×*blakeana*)等;国外引进的植物种类占25.5%(59种),如雪松(*Cedrus deodara*)、蓖麻、五叶地锦(*Parthenocissus quinquefolia*)等。总体来看,本土植物比例较高且草本数量最多,同时,该区域也注重引进国内外的植物资源以丰富城市绿化和生物多样性。此外,调查发现,外来入侵植物合计17科,28属,31种。其中危害等级1级的有7种,2级的有6种,3级的有2种,4级和5级各有8种;外来入侵乔木仅2种,外来入侵草本数量最多,为25种,约占80.6%,常见的有细叶旱芹(*Cyclospermum leptophyllum*)、垂序商陆(*Phytolacca americana*)、白车轴草(*Trifolium repens*)等,需要加强外来物种管理。

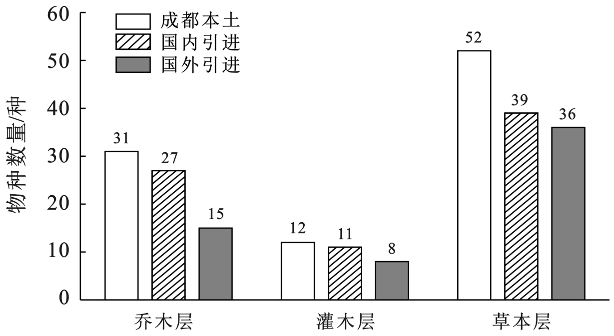


图2　乔灌草各层不同物种来源的数量

Fig.2　Number of species from different origins in tree, shrub, and herb layers

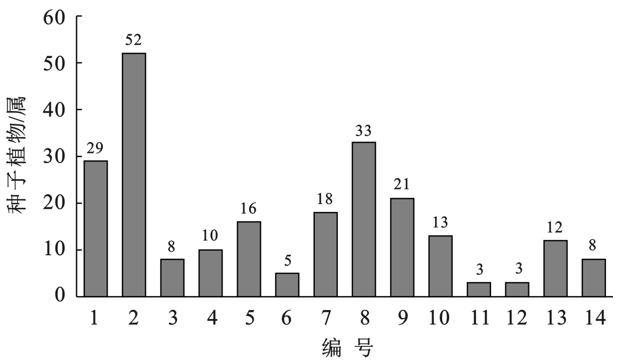
2.1.3　植物区系地理成分

环城生态区的种子植物属划分为14个地理分布类型(图3),占世界15个分布区类型的93.3%,说明该区域的种子植物属地理成分较为复杂。其中泛热带分布型的属最多,占总属数的29.4%,如榕属(*Ficus*)、鳢肠属(*Eclipta*)、刺桐属(*Erythrina*)等;其次是北温带分布,占18.6%,包括李属(*Prunus*)、杨属(*Populus*)、紫荆属(*Cercis*)等;世界分布的占16.4%,包括卫矛属(*Euonymus*)、茄属(*Solanum*)、蒿属(*Artemisia*)等;而中国特有分布有8属,占4.5%。

2.2　环城生态区植物多样性研究

2.2.1　群落类型对植物多样性的影响

研究结果表明,成都环城生态区主要由混交林、常绿阔叶林及落叶阔叶林3种群落类型组成,以落叶阔叶林为主。图4表明,3种群落类型各层次物种丰富度指数差异均不显著($p>0.05$),但混交林草本层物种丰富度指数均值最高(5.46);混交林乔木层的Shannon-Wiener指数、Simpson指数和Pielou指数均显著高于落叶阔叶林乔木层($p<0.05$);Shannon-Wiener指数的低值分布(图4b)和Pielou指数的箱体触底现象(图4d),是因为群落内出现单一乔木种和灌木种。



注：1 世界分布；2 泛热带分布；3 热带亚洲和热带美洲间断分布；4 旧世界热带分布；5 热带亚洲至热带大洋洲分布；6 热带亚洲至热带非洲分布；7 热带亚洲（印度-马来西亚）分布；8 北温带分布；9 东亚和北美洲间断分布；10 旧世界温带分布；11 温带亚洲分布；12 地中海区、西亚至中亚分布；13 东亚分布；14 中国特有分布。

图 3　种子植物属的地理成分

Fig.3　Phytogeographic composition of seed plant genera

2.2.2　管理模式对植物多样性的影响

根据管理方式不同将样地划分为具有人为干预的公园管理和自然生长的非公园管理模式（图 5）。研究结果表明，公园管理模式下各层次物种丰富度指数均低于非公园管理，但不存在显著差异（$p>0.05$）；非公园管理的乔木层 Shannon-Wiener 指数显著高于公园管理（$p<0.05$），指数均值分别为 0.75 和 0.56；不同管理模式下乔灌草各层的 Simpson 指数未表现出显著差异（$p>0.05$），非公园草本层 Simpson 指数均值最高为 0.58；不同管理模式下各层次的 Pielou 指数也未表现出显著差异（$p>0.05$）。

2.2.3　不同功能林地的植物多样性差异

依据林地的主要功能，将样地划分为以景观营造和美化为主要目标的景观林和以生态、生产等其他功能为主的非景观林（图 6）。研究结果表明，非景观林乔木层物种丰富度指数与景观林乔木层存在显著差异（$p<0.05$），指数均值分别为 3.18 和 2.44；不同功能林地的 Shannon-Wiener 指数差异不显著（$p<0.05$），非景观林草本层指数均值最高（1.20），景观林乔木层指数均值最低（0.61）；非景观林乔木层 Simpson 指数显著高于景观林乔木层（$p<0.05$）；非景观林 Pielou 均匀度指数均值高于景观林，但不存在显著差异（$p>0.05$）。

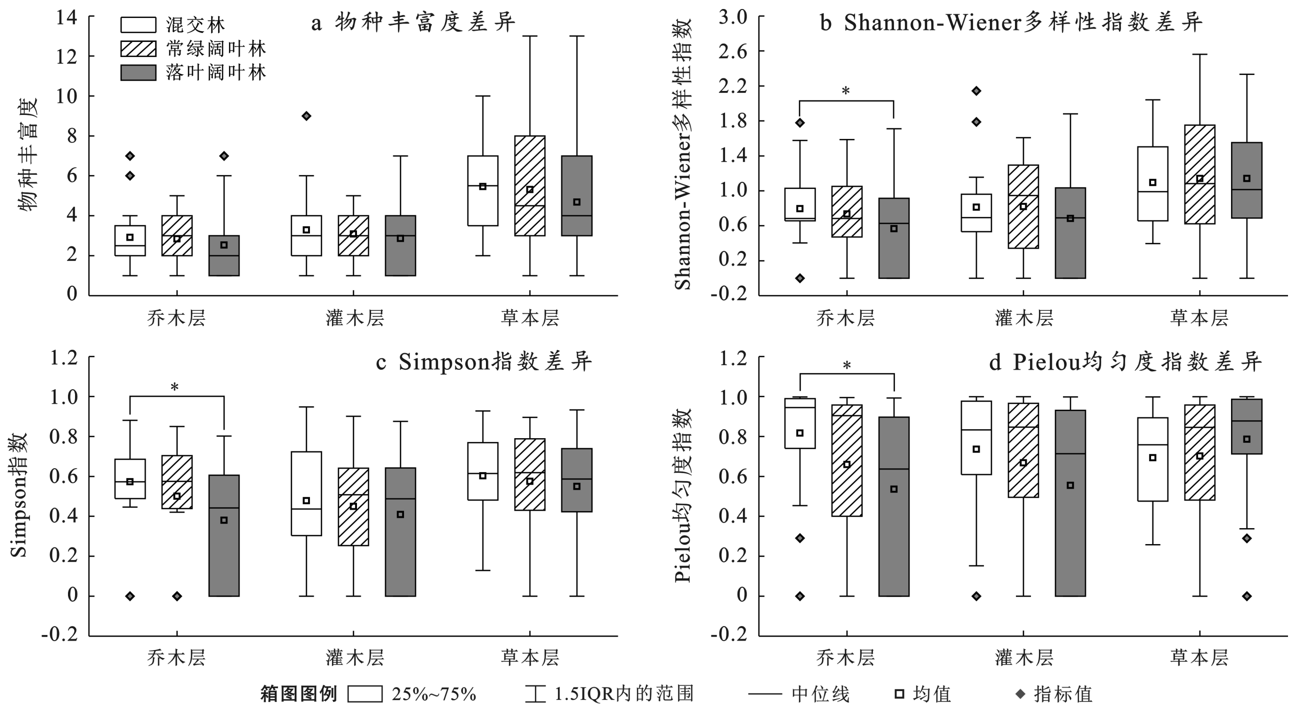


图 4　不同群落类型乔灌草各层多样性差异

Fig.4　Differences in species diversity of tree, shrub and herb layers of different community types

3　讨 论

本研究共记录成都环城生态区植物 92 科 177 属 231 种，物种多样性在国内同类城郊绿化带中处于较高水平，物种数量显著多于 2016 年合肥环城公园（77 种）与 2021 年上海环城绿带（78 种）[19-20]，尽管后两者历经约 20 年植被演替，但物种数量整体变化较小，乔木层丰富度仅少量增长。相比之下，成都市环城生态区自 2018 年公园城市建设启动以来，生态保护恢复成效初显，具备较高的生境异质性和群落演替潜力。此外，环城生态区植物种类多于同时期的成都城市公园（178 种），但其乡土植物占比却明显低于城市公园[21]，且外来入侵植物数量占全成都市外来入侵（158 种）的 19.6%[22]，以起源于世界分布及泛

热带分布者居多，与同样处于西南地区的重庆市外来入侵植物数量相似[23]，总体来看，环城生态区植物种类丰富多样，但在快速恢复过程中也面临着城市生态安全问题。

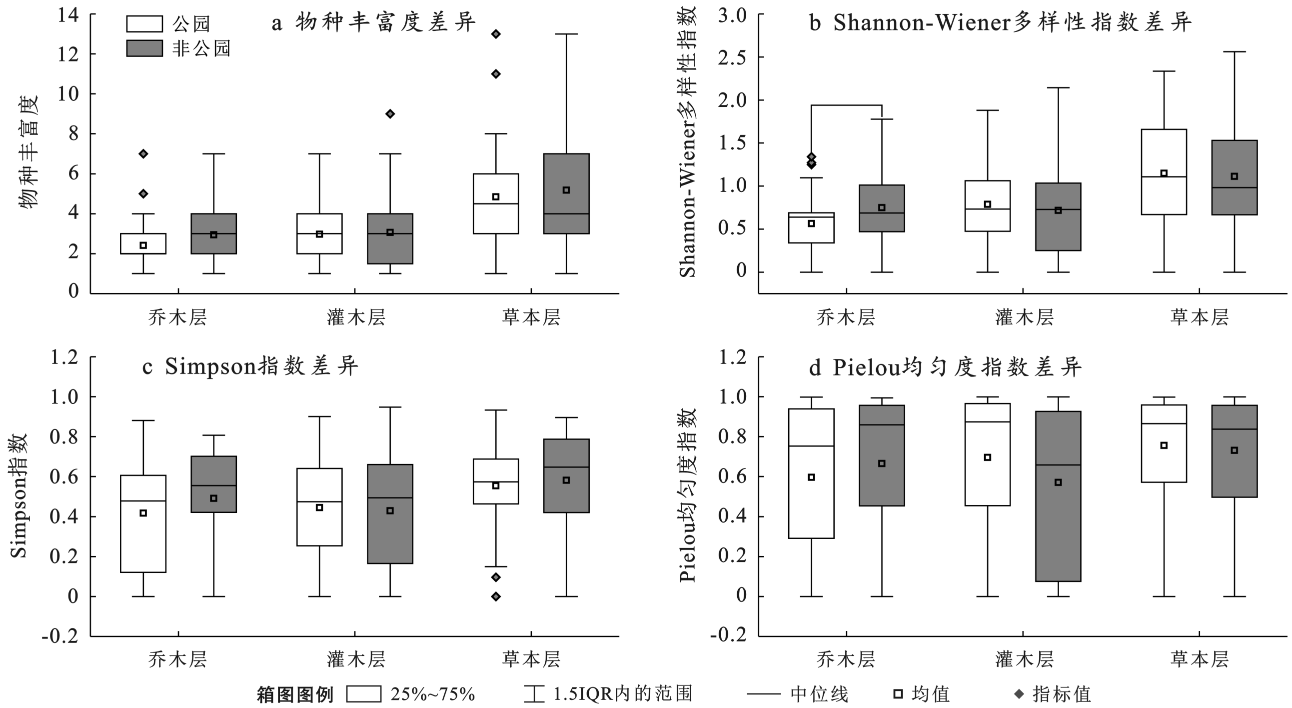


图5　不同管理模式下乔灌草各层多样性差异

Fig.5　Differences in species diversity of tree, shrub and herb layers under different management modes

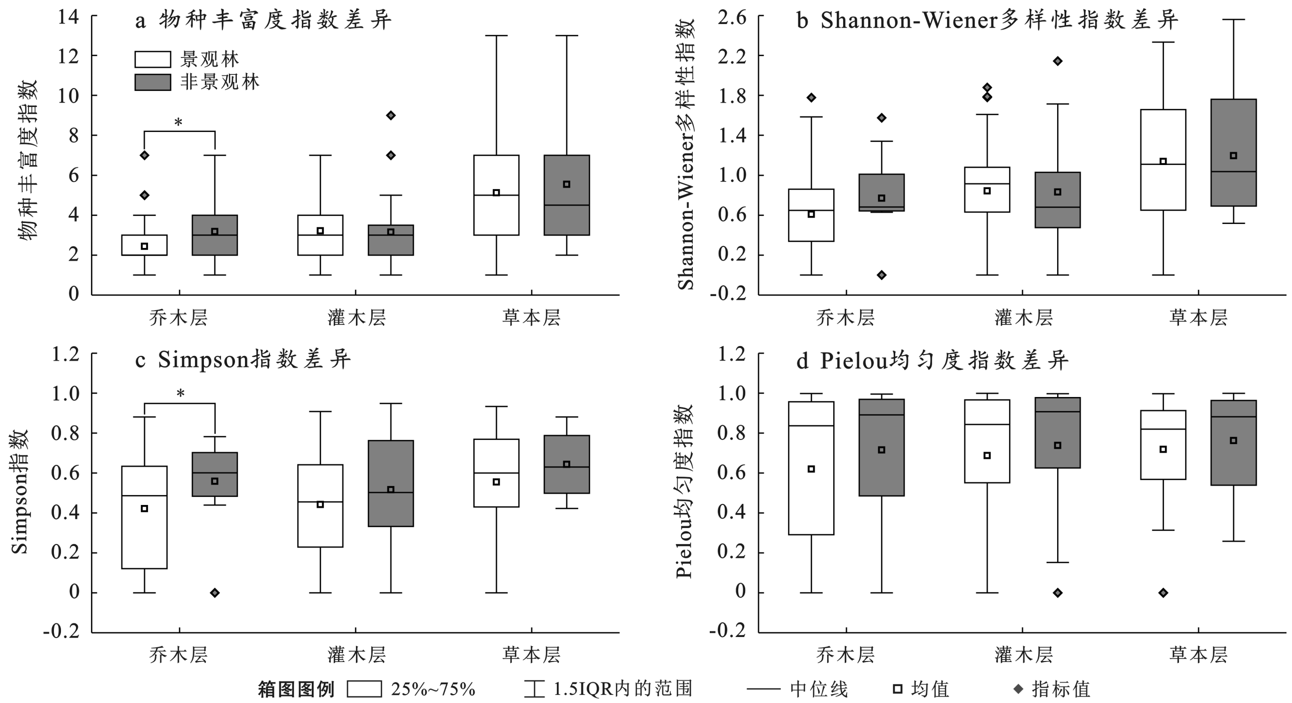


图6　不同功能林地的乔灌草各层多样性差异

Fig.6　Differences in species diversity of tree, shrub and herb layers under different functional forest lands

近年来，环城生态区实施的土地整治与生态修复工程导致林地面积减少 11.2%，而草地、公园与城市绿地增加约 15.0%[24]，植被的物种组成及群落结构发生明显变化。研究发现，研究区域内以落叶阔叶林为主，与成都市亚热带常绿阔叶林这一地带性植被不符，可能是长期受人类活动影响导致原生常绿阔叶林难以正向演替。群落类型分析显示，混交林在结构稳定性和物种均匀性方面更具生态优势。常

绿和落叶树种在混交林中共存，具有生态位互补性[25]，常绿阔叶树种可以有效进行全年光合作用，而落叶树种在生长季提供庇荫，二者协同其生态功能（如生物量积累、土壤养分吸收、环境异质性等）和抗干扰能力比纯林更好[26]。

在管理模式方面，非公园管理样地因较少修剪、杂草清除等频繁的人为干预，保留了更多自然演替特征和生境异质性，有利于更多乡土物种和伴生植物的繁殖与生长，特别是乔木层，能够容纳更多不同生态位和生活史对策的树种，因此非公园管理样地的乔木层 Shannon-Wiener 指数显著高于公园管理。已有研究指出，管理强度和持续时间对植物群落的多样性和稳定性有明显的负面影响[27]，公园管理模式出于景观需求或安全考虑，偏好于乔木疏林的营造，其次引进大量灌木和草本新品种，建立丰富的视觉层次，导致公众偏好和城市绿化管理模式下植物群落同质化。

从不同功能林地看，非景观林的乔木层物种丰富度与 Simpson 指数均显著高于景观林，Pielou 均匀度也较高。景观林通常倾向于选择形态整齐或季相变化鲜明的树种进行集中栽植，人工配置后可能出现少数景观树种占据绝对优势，导致群落功能单一；而非景观林作为生态保护林和水源涵养林，保留了更多演替物种与乡土树种，形成结构更复杂、种间互作更丰富的群落格局。

在环城生态区生态恢复中，建议优先考虑提高常绿阔叶林比例，逐步补植本地常绿阔叶树种如香樟（*Camphora officinarum*）、楠木（*Phoebe zhennan*）等；依照《成都市环城生态区保护条例》加强对非公园区域的管理保护，防止过量开发或干扰对乔木层和自然群落的破坏，公园区域建议采用基于自然的解决方案（NbS），引入更多乡土植物进行近自然种植，避免过分依赖外来观赏植物，适度再野化管理，提高生态系统自我调节能力；完善优化生物多样性与生态服务监测系统，实时掌握城郊过渡带生态系统状态及其变化趋势，为适应性管理提供精准决策支撑。

本研究通过实地调查首次揭示成都城郊过渡带植物群落物种组成及多样性差异，但调查集中于 7—8 月，季节性的草本植物无法反映。此外，由于仅开展单一年份调查，尚不能完全展现植物群落动态，建议未来加强长时序监测，结合土壤、气象等生态因子进一步探讨城郊过渡带植物群落多样性的时空演变规律及其驱动机制。

4　结论

（1）成都市环城生态区调查记录植物 92 科 177 属 231 种。其中，乡土植物占 411%，国内引进种占 33.3%，国外引进种占 25.5%。

（2）植物属地理分布占 14 个分布区类型，表明种子植物属地理成分较为复杂，其中泛热带分布型的属占 29.4%，其次北温带分布占 18.6%，而中国特有分布属占 4.5%。

（3）成都市城郊地带植物群落多为落叶阔叶林，常绿落叶阔叶混交林内乔木层树种比落叶阔叶林更加多样、分布更均匀；公园管理模式下乔木层多样性显著低于非公园管理；非景观林乔木层植物种类更丰富。

参考文献（References）

[1] Kong Fanhua, Yin Haiwei, Nakagoshi N, et al. Urban green space network development for biodiversity conservation: Identification based on graph theory and gravity modeling [J]. Landscape and Urban Planning, 2010, 95(1/2): 16-27.

[2] Sirakaya A, Cliquet A, Harris J. Ecosystem services in cities: Towards the international legal protection of ecosystem services in urban environments [J]. Ecosystem Services, 2018, 29: 205-212.

[3] Hou Yanzhen, Zhao Wenwu, Hua Ting, et al. Mapping and assessment of recreation services in Qinghai-Tibet Plateau [J]. Science of the Total Environment, 2022, 838: 156432.

[4] 杜海龙. 国际比较视野中我国绿色生态城区评价体系优化研究[D]. 山东 济南：山东建筑大学，2020.
Du Hailong. Study on the optimization of evaluation system of green ecological urban districts in China from the perspective of international comparison [D]. Jinan, Shandong: Shandong Jianzhu University, 2020.

[5] Liu Shidong, Zhang Jianjun, Wu Xia, et al. Potential thermal constraints for sustainable industrial city: Refined simulation and prediction of extreme urban heat island effect [J]. Sustainable Cities and Society, 2024, 105: 105342.

[6] Yuan Ying'an, Wang Deyun, Zhang Ludan, et al. Data-driven urban waterlogging risk management approach considering efficiency-equity trade-offs and risk mitigation capability evaluation [J]. Journal of Hydrology, 2024, 634: 131004.

[7] Melon M, Sikorski P, Archiciński P, et al. Nature on our doorstep: How do residents perceive urban parks *vs.* biodiverse areas? [J]. Landscape and Urban Planning, 2024, 247: 105059.

[8] McDonnell M J, Hahs A K. The use of gradient analysis studies in advancing our understanding of the ecology of urbanizing landscapes: Current status and future directions [J]. Landscape Ecology, 2008, 23(10): 1143-1155.

[9] Vakhlamova T, Rusterholz H P, Kanibolotskaya Y, et al. Changes in plant diversity along an urban-rural gradient in an expanding city in Kazakhstan, Western Siberia [J]. Landscape and Urban Planning, 2014,132:111-120.

[10] Useni Sikuzani Y, Malaisse F, Cabala Kaleba S, et al. Tree diversity and structure on green space of urban and peri-urban zones: The case of Lubumbashi City in the Democratic Republic of Congo [J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2019,41:67-74.

[11] Aronson M F J, Handel S N, La Puma I P, et al. Urbanization promotes non-native woody species and diverse plant assemblages in the New York metropolitan region [J]. Urban Ecosystems, 2015,18(1):31-45.

[12] McDonald R I, Mansur A V, Ascensão F, et al. Research gaps in knowledge of the impact of urban growth on biodiversity [J]. Nature Sustainability, 2020, 3(1):16-24.

[13] Guo Chao, Zhang Yang, Han Jichang, et al. A practice study of land and water comprehensive remediation in urban-rural fringe: With *Sichuan River Shaanxi Province, Northwest China*, as an example [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2023,30(29):74006-74020.

[14] McKinney M L. Urbanization as a major cause of biotic homogenization [J]. Biological Conservation, 2006,127(3):247-260.

[15] Zerbe S, Maurer U, Schmitz S, et al. Biodiversity in Berlin and its potential for nature conservation [J]. Landscape and Urban Planning, 2003,62(3):139-148.

[16] 李雄,张云路.新时代城市绿色发展的新命题:公园城市建设的战略与响应[J].中国园林,2018,34(5):38-43.
Li Xiong, Zhang Yunlu. A new approach in urban green development for the new era: Strategies for building park cities [J]. Chinese Landscape Architecture, 2018, 34(5):38-43.

[17] 吴征镒,孙航,周浙昆,等.中国种子植物区系地理[M].北京:科学出版社,2011.
Wu Zhengyi, Sun Hang, Zhou Zhekun, et al. Floristics of Seed Plants from China [M]. Beijing: Science Press, 2011.

[18] 徐波,高信芬,涂卫国.成都市外来入侵植物[M].北京:科学出版社,2020.
Xu Bo, Gao Xinfen, Tu Weiguo. Alien Invasive Plants in Chengdu [M]. Beijing:Science Press, 2020.

[19] 刘慧,朱建,王嘉楠,等.合肥环城公园植物群落结构动态变化[J].生态环境学报,2017,26(8):1284-1291.
Liu Hui, Zhu Jian, Wang Jianan, et al. Dynamic change of plant community structure in the ring park around Hefei City [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2017,26(8):1284-1291.

[20] 贾熙璇,张庆费,戴兴安,等.上海环城绿带群落植物多样性20年动态及其对干扰响应[J].中国城市林业,2022,20(6):31-40.
Jia Xixuan, Zhang Qingfei, Dai Xing'an, et al. Dynamics of plant diversity in 20 years and its response to disturbance in green space communities in the greenbelt around Shanghai [J]. Journal of Chinese Urban Forestry, 2022,20(6):31-40.

[21] 包钰婷,黄瑞.成都10个城市公园自生植物物种组成与多样性研究[J].绿色科技,2023,25(17):53-57.
Bao Yuting, Huang Rui. Study on the species composition and diversity of spontaneous plants in urban parks [J]. Journal of Green Science and Technology, 2023,25(17):53-57.

[22] 邓亨宁,廖敏,鞠文彬,等.成都市外来入侵植物种类特征及区系分析[J].生物安全学报,2020,29(2):135-141.
Deng Hengning, Liao Min, Ju Wenbin, et al. The taxonomic affinites and species characteristics and flora analysis of invasive alien plants in Chengdu City, Sichuan Province, China [J]. Journal of Biosafety, 2020,29(2):135-141.

[23] 王友国,庄华蓉,张庆刚,等.重庆市入侵植物种类组成及分布格局分析[J].中国野生植物资源,2021,40(5):84-90.
Wang Youguo, Zhuang Huarong, Zhang Qinggang, et al. Analysis of species composition and distribution pattern of Chongqing's invasive plants [J]. Chinese Wild Plant Resources, 2021,40(5):84-90.

[24] 康瑛,赵文力,胡佳,等.成都环城生态公园土地综合整治与生态修复对生态系统生产总值(GEP)的影响[J].现代城市研究,2023,38(1):21-27.
Kang Ying, Zhao Wenli, Hu Jia, et al. The impact of comprehensive land improvement and ecological restoration in ecological belt surrounding the Chengdu City on the gross ecosystem product (GEP) [J]. Modern Urban Research, 2023,38(1):21-27.

[25] 伏成秀,杨济达,张庆,等.间伐和不同引种植物对刺槐林下群落的影响[J].西南农业学报,2021,34(7):1534-1539.
Fu Chengxiu, Yang Jida, Zhang Qing, et al. Effect of inter-lumbering and introduction under forest on community of *Acacia pseudoacacia* [J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2021,34(7):1534-1539.

[26] Zheng Ji, Ali A, Wei Xiaohua, et al. The role of biodiversity in mitigating the effects of nutrient limitation and short-term rotations in plantations of subtropical China [J]. Journal of Environmental Management, 2022,303:114140.

[27] Huang Cheng, Fu Songling, Tong Yinhao, et al. Impacts of forest management on the biodiversity and sustainability of *Carya dabieshanensis* forests [J]. Forests, 2023,14(7):1331.