



南昌城市河道自生植物多样性研究

梁烨珊, 杨坪赫, 李淑云, 刘青

引用本文:

梁烨珊, 杨坪赫, 李淑云, 等. 南昌城市河道自生植物多样性研究[J]. 热带亚热带植物学报, 2026, 34(4): 375–386.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11923/jtsb.5044>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

金马河温江段河岸带不同生境植物物种多样性与土壤理化性质的动态变化

Dynamic Changes in Plant Diversity and Soil Physical and Chemical Properties in Different Habitats in Wenjiang Section of Jinma River

热带亚热带植物学报. 2021, 29(1): 1–8 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4237>

广西中部7种典型灌丛群落的物种多样性特征

Species Biodiversity of Seven Typical Shrub Communities in the Middle of Guangxi Zhuang Autonomous Region

热带亚热带植物学报. 2018, 26(2): 157–163 <https://doi.org/10.11926/jtsb.3841>

草海国家级自然保护区华山松群落特征及物种多样性研究

热带亚热带植物学报. 2020, 28(1): 44–52 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4063>

人为干扰对栲树次生林群落物种多样性和土壤理化性质的影响

Effect of Human Disturbance on Species Diversity and Soil Physiochemical Properties of Castanopsis fargesii Secondary Forest

热带亚热带植物学报. 2018, 26(4): 355–362 <https://doi.org/10.11926/jtsb.3843>

广州市植物多样性现状调查与分析

Investigation and Analysis of Plant Diversity in Guangzhou

热带亚热带植物学报. 2021, 29(3): 229–243 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4241>

向下翻页，浏览PDF全文

南昌城市河道自生植物多样性研究

梁烨珊¹, 杨坪赫², 李淑云¹, 刘青^{1*}

(1. 江西农业大学园林与艺术学院, 南昌 330045; 2. 东华理工大学测绘与空间信息工程学院, 南昌 330013)

摘要: 河流廊道是城市自生植物重要的栖息地, 揭示不同等级河道自生植物多样性特征及成因, 有助于完善城市植被研究体系、指导河流廊道的低维护与可持续景观营造。本研究采用典型样地取样法, 于 2023 年 3 月—11 月对赣江(干流)和乌沙河(支流)样段 330 个样方进行全面调查, 共记录自生植物 240 种, 隶属于 49 科 169 属, 以草本植物为主。结果表明, 两河段在高频种的数量及其生活型组成上均存在差异, 支流的高频植物数量较干流多; 季节动态主导群落格局, 形成春秋单优势群组连续分布和夏季双群组片段化分布。不同河岸梯度中, 除支流 Margalef 丰富度指数呈现市政道路边>水边的特征外, 其余 α 多样性指数均表现为下段>上段>中段>水边>市政道路边的空间差异特征。Shannon-Wiener 多样性指数和 Pielou 均匀度指数在极端和轻微干扰下呈现出显著差异。城市河岸带自生植物多样性是河岸环境异质性与人为干扰梯度共同作用的结果。因此, 生态保护与修复应维系从水边至路边的纵向河岸梯度, 尊重群落的季节性动态, 并实施以干扰分级为基础的管理方法, 即保护轻微干扰、利用中度干扰、疏导高强度干扰。因此, 将各梯段的优势乡土植物作为景观资源进行应用, 能够使河流廊道的生态修复、低维护管控与特色景观营造协同发展。

关键词: 城市河岸带; 自生植物; 植物多样性; 南昌市

doi: 10.11923/jtsb.5044 CSTR:32235.14.jtsb.5044

Spontaneous Vegetation Diversity in Urban River Corridors of Nanchang

LIANG Yeshan¹, YANG Pinghe², LI Shuyun¹, LIU Qing^{1*}

(1. College of Landscape Architecture and Art, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China; 2. School of Surveying and Geoinformation Engineering, East China University of Technology, Nanchang 330013, China)

Abstract: River corridors are important habitats for spontaneous plants in cities. Revealing the diversity characteristics and causes of spontaneous plants in different grades of rivers can help improve the urban vegetation research system and guide the low-maintenance and sustainable landscape creation of river corridors. This study adopted the typical plot sampling method to conduct a comprehensive investigation of 330 plots in the sample sections of the Ganjiang River (mainstream) and Wusha River (tributary) from March to November 2023. A total of 240 species of spontaneous plants were recorded, belonging to 49 families and 169 genera, with herbaceous plants being the majority. The results showed that there were differences in the number of high-frequency species and their life form composition between the two river sections, with more high-frequency plants in the tributary than in the mainstream. Seasonal dynamics dominated the community pattern, forming a continuous distribution of single dominant groups in spring and autumn and a fragmented distribution of double groups in summer. Among different riverbank gradients, except for the Margalef richness index of the tributary showing the characteristic of municipal road side>water side, the other α -diversity indices all presented a spatial difference feature of lower section>upper section>middle section>water side>municipal road side. The Shannon-

收稿日期: 2025-07-10 接受日期: 2025-10-27

基金项目: 国家自然科学基金项目(32160401)资助

This work was supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 32160401).

作者简介: 梁烨珊(2000 年生), 女, 硕士研究生, 主要从事园林生态与景观规划研究。E-mail: 15015633111@163.com

* 通讯作者 Corresponding author, E-mail: liuqing88699@163.com

Wiener diversity index and Pielou evenness index showed significant differences under extreme and mild disturbances. The diversity of spontaneous plants in urban riverbanks is the result of the combined effect of riverbank environmental heterogeneity and human disturbance gradients. Therefore, ecological protection and restoration should maintain the longitudinal riverbank gradient from water side to road side, respect the seasonal dynamics of communities, and implement management methods based on disturbance grading, that is, protect mild disturbances, utilize moderate disturbances, and guide intense disturbances. Therefore, applying the dominant native plants of each gradient as landscape resources can promote the coordinated development of ecological restoration, low-maintenance management, and characteristic landscape creation of river corridors.

Key words: Urban riparian zone; Spontaneous vegetation; Plant diversity; Nanchang city

随着全球城市化的快速推进,城市的过度开发和扩张占用了大量的自然和半自然生境,河流廊道作为城市生物多样性维护的关键场所,在其改造过程中,原生植被的大规模移除、河道驳岸的硬化处理以及高度人工化的景观建设,引发了包括地域性景观特征的消失、外来物种的入侵以及生物多样性急剧下降等一系列问题。这些变化不仅削弱了河流生态系统的自然属性,也对生态平衡和生物多样性造成了负面影响^[1]。城市植物作为生物多样性的一个重要组成部分,是城市生态系统生物多样性的基础,其中,自生植物不仅是城市中独特的生物多样性资源,更因其自生性、适应性和抗逆性,被视为推动低维护、可持续景观建设的宝贵材料^[2-5]。同时,也因自生植物对环境敏感的适应能力,使得其群落组成与分布格局能够较直观地反映出生境的异质性与人为干扰的影响。河流廊道作为一个典型的环境异质性场所,不同等级河道在河道宽度、河岸形态以及水系特征上存在一定差异,植物对于自然和人类活动的影响也相应呈现出不同的响应模式^[6]。在河岸生态系统中,干流与支流区域通常展现出具有较大差异的植物群落特征^[7]。研究表明河岸生态系统是对生物多样性变化极为敏感的区域之一^[8],尤其是在城市化地区,城市河流及其河岸带受到众多生物和非生物因素的复合影响,这些因素包括外来物种的入侵、水文条件的变化、河岸工程、商用港口以及农业活动等^[9-10]。在河流生态系统中,水位的波动对物种的侵入和扩散起到了促进作用,这进一步导致了群落组成结构和生物多样性的变化^[11-13]。除了河道等级的差异,河岸断面梯度也是影响自生植物多样性的重要因素,其不仅反映了植物群落与水体之间的距离变化,还直接影响了水分获取、土壤条件、光照强度等环境因子。已有研究表明,河岸梯度是决定植物群落结构和物种分

布的关键因素之一^[14],但城市河岸带的渠化和硬化处理使得自然河岸梯度逐渐消失,导致原有的生态过渡带被破坏,进一步影响了自生植物的分布和多样性。尽管一些研究探讨了河岸带的植物多样性,但梯度划分多基于离散生境类型^[15-17],缺乏对不同河岸梯度之间差异的深入探讨,难以反映连续环境因子的生态过滤作用。卢家锋等^[18]对桂林环城水系的研究尝试突破这一局限,其通过人为干扰强度与自然水文特征的耦合,将生境划分为硬质岸边、半自然缓坡岸边、水边荒草地、河漫滩及自然绿地,揭示了不同干扰与自然组合生境的多样性分异规律。然而,该研究未对比干流与支流的梯度响应差异,因此,本研究以南昌市赣江和乌沙河 2 条河流廊道中心城区段的自生植物为研究对象,分析不同等级河道的多样性分布特征及物种组成差异,以及不同河岸梯度对自生植物多样性的影响。通过揭示植物群落对微生境的响应特征,旨在为城市河流廊道的生态修复、低维护景观设计以及自生植物多样性保护提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

南昌市(115°27'~116°35' E, 28°09'~29°11' N)位于江西省中北部,长江中下游地区,全市总面积 7 194.98 km²,其中水域面积 2 204.37 km²,占 29.78%。市区水网密布,赣江、抚河、玉带河、乌沙河等纵横境内。其中,赣江为江西省内最长的河流,流域面积 83 500 km²,纵贯南北,其在南昌境内段呈现典型冲积性河道特征;抚河因人工截流改道工程影响,河道-洪泛区横向连通性及地表-地下水垂向交换能力显著弱化;玉带河属老城区封闭式景观水系,与赣江缺乏水文联系,且受人工驳岸的影响,生

境异质性超出可控变量范围; 乌沙河作为赣江中下游北岸一级支流, 流域面积 263.3 km², 流经湾里区、新建区及红谷滩新区等城市化梯度显著区域, 完整覆盖城市核心区-城乡过渡带-近郊自然带 3 类典型景观单元。基于水系等级差异、人类干扰强度及空间连续性等原则, 本研究选取赣江与乌沙河作为对比样本, 以规避改道河流的系统性偏差及封闭水系的尺度效应干扰。

1.2 研究方法

本研究选取赣江(英雄大桥至朝阳大桥段)及其支流乌沙河(北一环线至长棱立交段)为研究样段, 于 2023 年 3 月—11 月对 2 条河流进行全面踏查。由于城市生境的破碎化和人类活动的干扰, 样段内自生植物群落的大小和分布具有较大差异, 因此采用典型样地取样法对 2 段河岸带开展自生植物调查。沿赣江和乌沙河自北向南每隔 1 km 设置 1 个样点, 根据河流的地形地理特征进行适当的微调(图 1), 再以每个选定的样点为中心, 布置 5 个垂直于河道的 2 m×2 m 的样方, 2 段河岸带共选取样点 22 个, 3 季共计样方 330 个。记录样方内自生物种的名称、

株数等信息, 以此作为每个样方的综合数据。样方根据河岸基于水体的距离划分为 5 种类型: 水边、下段、中段、上段和市政道路边(图 2), 参照既有研究的分类体系^[19-20], 根据研究地实际情况, 按干扰类型与程度划分为 6 个干扰等级(表 1)。

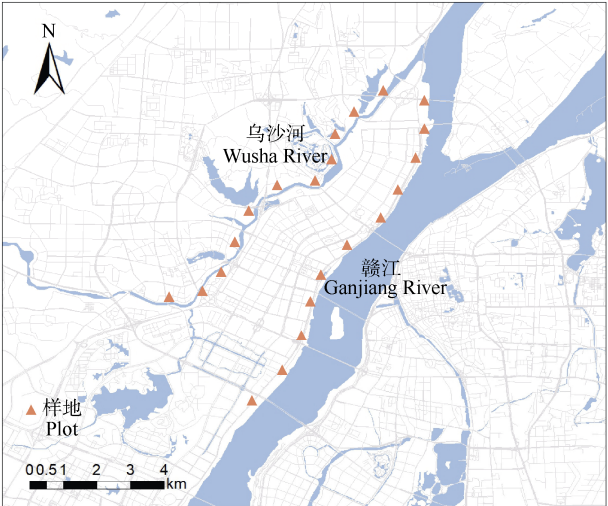


图 1 调研样段及样地分布

Fig. 1 Survey sample section and distribution of sample plots

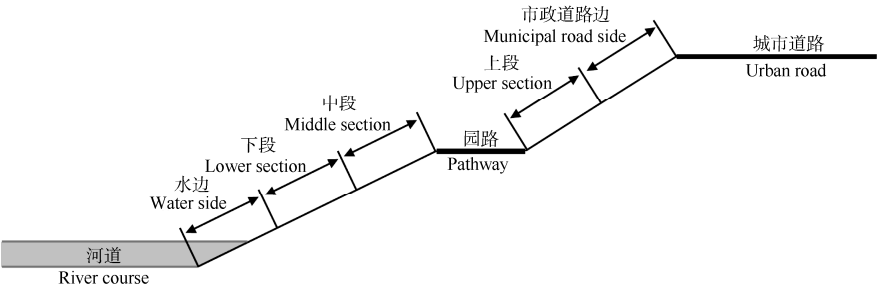


图 2 河岸带样地断面示意图

Fig. 2 Diagram of the cross-section of the riparian zone sample plot

表 1 南昌城市河岸带干扰等级划分

干扰等级 Disturbance level	类型 Type	参数/标准 Parameter/standard	样方数 Sample number
极端	河岸硬化	面积>75%	30
	大型工程	>5 hm ²	
高	河岸硬化	面积 50%~75%	45
	中型工程	1~5 hm ²	
中	施工/改造	面积 20%~30%	30
	高频维护	每季度维护范围 10%~20%	
低	临时设施	面积 10%~20%	75
	低频维护	每半年维护范围 5%~10%	
轻微	步行/垂钓	偶尔发生	105
极轻	步行/垂钓	极少发生	45

1.3 物种鉴定与分类

对于自生植物的科、属、种主要参考《中国植物志》和《江西植物志(第 2 卷)》等;植物生活型划分依据《植被生态学》。乡土植物是指在其当前分布范围内,无需人类直接或间接引种,而是通过自然扩散能力形成种群的物种;外来植物是指经过自然或者人类活动从其原产地扩散至其他领域(一般指国家或地区)的物种^[21],分为国外外来和省外中国本土植物,通过查询植物志和相关文献确定^[22],其中,能够在自然条件下通过自身繁殖并延续的类群,则称为归化植物^[21],经较具权威的文献和数据库分布图确定^[23-24]。外来入侵植物特指上述归化植物中,已被权威文献或管理机构认定其新的环境中建立种群、大量繁殖和扩散,对当地生态系统、生物多样性或社会经济造成显著危害的物种,参考环境保护部和中国科学院联合发布的《中国外来入侵植物名单》及相关公开文献确定^[25-26]。

1.4 数据处理

研究采用频度分析探究物种在调查区域内的分布特征,以 Shannon-Wiener 多样性指数 H' 、Simpson 多样性指数 D' 、Pielou 均匀度指数 J' 、Margalef 丰富度指数 R' 等 α 多样性指数评估自生植物的物种多样性、均匀度和丰富度情况。数据整理使用 Excel 2019, α 多样性指数运用 R 4.4.1 软件中的 Vegan 包计算。不同河岸梯度下的 α 多样性差异比较采用 SPSS 27 中的单因素 ANOVA 和 Tukey 法检验,干扰强度下的 α 多样性差异比较采用 Kruskal-Wallis 非参数检验。

表 2 河道调研样段自生植物生活型组成情况

Table 2 Composition of life forms of spontaneous vegetation in river survey sample sections

生活型 Life form	物种数 Number of species	%	代表物种 Representative species
一、二年生草本	126	52.50	苍耳(<i>Xanthium strumarium</i>)、小蓬草(<i>Erigeron canadensis</i>)
多年生草本	79	32.92	狗牙根(<i>Cynodon dactylon</i>)、空心莲子草(<i>Alternanthera philoxeroides</i>)
一或多年生草本	4	1.67	裂叶月见草(<i>Oenothera laciniata</i>)、窃衣(<i>Torilis scabra</i>)
二或多年生草本	2	0.83	峨参(<i>Anthriscus sylvestris</i>)、野甘蓝(<i>Brassica oleracea</i>)
一年生藤本	2	0.83	瘤梗番薯(<i>Ipomoea lacunosa</i>)、西瓜(<i>Citrullus lanatus</i>)
多年生藤本	7	2.92	猫爪藤(<i>Dolichandra unguis-cati</i>)、华东葡萄(<i>Vitis pseudoreticulata</i>)
挺水植物	2	0.83	断节莎(<i>Cyperus odoratus</i>)、野天胡荽(<i>Hydrocotyle vulgaris</i>)
灌木	8	3.33	马甲子(<i>Paliurus ramosissimus</i>)、山莓(<i>Rubus corchorifolius</i>)
乔木	10	4.17	构(<i>Broussonetia papyrifera</i>)、楝(<i>Melia azedarach</i>)

2.2 河道自生植物物种组成差异及时空特征

赣江(干流)自生植物有 43 科 130 属 168 种,出现次数最多的高频种为狗牙根(*Cynodon dactylon*),

2 结果和分析

2.1 自生植物总体概况

赣江、乌沙河调查共记录自生植物 240 种,隶属于 49 科 169 属,其中,物种数达到 15 种及以上的有 5 科,分别为菊科(*Asteraceae*) 38 种、禾本科(*Gramineae*) 33 种、豆科(*Fabaceae*) 17 种、唇形科(*Lamiaceae*)和十字花科(*Brassicaceae*)各 15 种;单科单属的植物有 20 种,如千屈菜(*Lythrum salicaria*)、肾蕨(*Nephrolepis cordifolia*)、鸭跖草(*Commelina communis*)、粟米草(*Trigastrotheca stricta*)等。按物种来源划分,乡土植物 72 种,占所调查植物种类总量(240 种)的 30%;外来植物共 168 种,占 70%。国外外来植物的来源以美洲和欧洲为主,省外中国本土植物主要来源于我国陕西、新疆、河北、甘肃、云南等地。在外来植物中,归化植物 100 种,占外来植物种数的 59.52%,如美洲黑杨(*Populus deltoides*)、截叶铁扫帚(*Lespedeza cuneata*)和细风轮菜(*Clino-podium gracile*)等;外来入侵植物 68 种,均为草本或藤本植物,占外来植物种数的 40.48%,入侵植物中菊科以 19 种居首,苋科(*Amaranthaceae*)、豆科和禾本科次之,各 6 种,商陆科(*Phytolaccaceae*)、紫葳科(*Bignoniaceae*)、牻牛儿苗科(*Geraniaceae*)等的入侵植物种类较少。按生活型划分,一、二年生草本植物最多,共计 126 种,占 52.5%;多年生草本植物次之,共 79 种,占 32.92%;而二或多年生草本、一年生藤本和挺水植物均仅记录 2 种,各占 0.83% (表 2)。

在 95 个样方中均有出现,频度为 57.58%,其次是苍耳(*Xanthium strumarium*)和空心莲子草(*Alternanthera philoxeroides*),频度分别为 53.33%和 52.13%。

出现频度>10%的物种共有 24 种, 来自 14 个科。只出现 1 次的低频种共计 63 种, 如积雪草(*Centella asiatica*)、拟南芥(*Arabidopsis thaliana*)等。乌沙河(支流)有 36 科 116 属 165 种, 狗牙根同样占据了最高频种的位置, 而次高频种则有所不同, 小蓬草(*Erigeron canadensis*)的频度是 37.84%, 一年蓬(*E. annuus*)和皱叶酸模(*Rumex crispus*)的频度均为 31.35%。出现频度>10%的物种共有 28 种, 来自 17 科, 只出现 1 次的低频种共计 66 种, 干流样段出现频度较高的一、二年生与多年生草本低于

支流样段。

对 2 条河流不同季节自生植物物种进行 Bray-Curtis 相异度分析(表 3), 结果表明干流、支流均表现为春季与夏秋两季相异度较大, 夏秋两季相异度小。干流和支流之间物种相异度春>秋>夏, 表明春季 2 河流物种组成差异最大, 而夏季物种相似度最高。

采用 ArcGIS 进行样点物种聚类分析(图 3), 结果表明春、秋季聚类格局高度一致, 样点 4、10、12、14 (或 13)各自单独成类, 其余样点聚为一类。其中, 样点 4、10 因受极端干扰, 其优势种主要为

表 3 不同等级河道的自生植物 Bray-Curtis 相异度

Table 3 Bray-Curtis dissimilarity of spontaneous vegetation in rivers of different grades

	春季干流 Spring mainstream	夏季干流 Summer mainstream	秋季干流 Autumn mainstream	春季支流 Spring tributary	夏季支流 Summer tributary	秋季支流 Autumn tributary
春季干流	—	0.778 7	0.796 1	0.569 7	0.807 4	0.801 4
夏季干流		—	0.389 0	0.766 8	0.489 7	0.463 6
秋季干流			—	0.790 3	0.536 1	0.512 9
春季支流				—	0.730 4	0.725 6
夏季支流					—	0.349 9
秋季支流						—

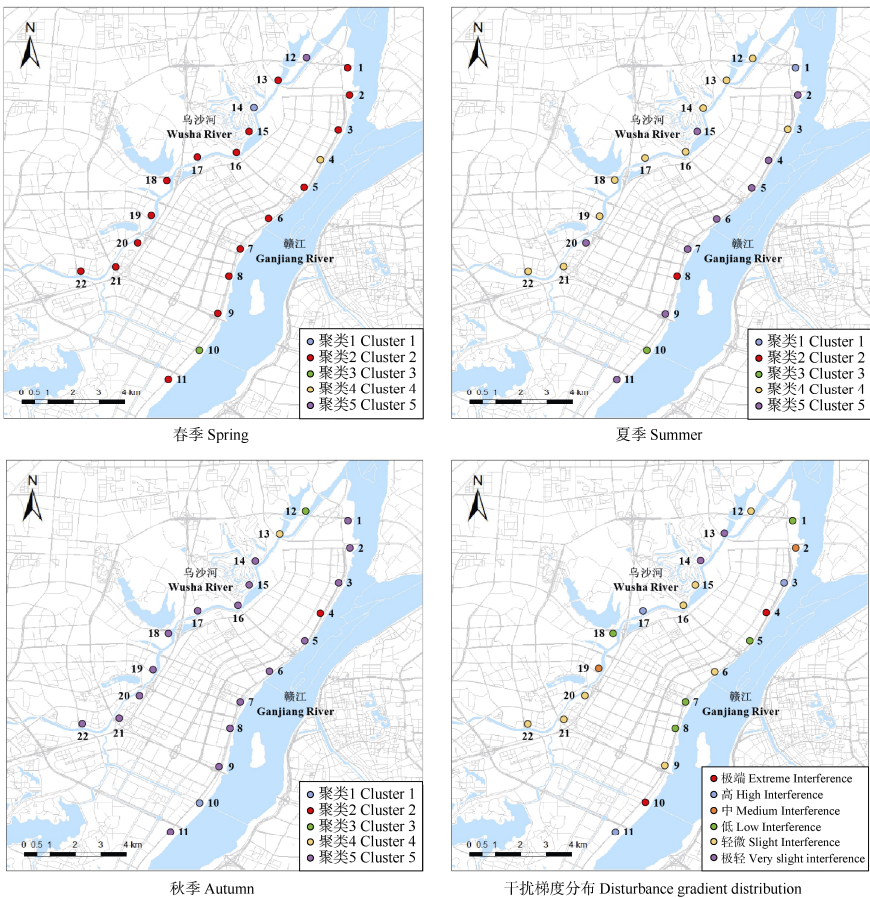


图 3 三季聚类格局与干扰梯度分布图

Fig. 3 Cluster pattern of three seasons and disturbance gradient distribution map

外来入侵植物; 样点 12、14 受轻微至极轻干扰, 优势种以乡土草本植物为主; 而其他样点则由耐干扰性强、繁殖能力突出的广适种占主导。夏季形成明显的干流、支流聚类分异, 干流以聚类 5 为主导, 主要分布耐践踏物种和入侵植物, 反映了夏季生境受到较高干扰强度的特征; 样点 1、8、10 各自独立成类, 其优势物种是易通过人为活动传播种; 支流则聚类成 2 类, 受较低干扰影响, 以聚类 4 为主导, 广适种占据主要生态位, 并伴生花期为夏季的乡土植物, 仅样点 15、20 归属于聚类 5, 与干流主要物种特征一致。

2.3 河岸梯度和干扰对自生植物 α 多样性影响

从图 4 可见, 在河岸梯度上, 除支流的指数 R 平均值呈现市政道路边>水边的特征外, 干流和支流的其余多样性指数 H 、 D 、 J 及干流的指数 R 平均值均表现为下段>上段>中段>水边>市政道路边的空间差异特征。多重比较结果显示, 河岸梯度间干流与支流各指数的差异性整体上保持一致, 但支流的 H 、 J 指数在水边和市政道路边存在显著差异

而干流无显著差异, 表明支流植物群落比干流对干扰更为敏感, 其物种组成与分布均匀度易受影响。干流的 R 指数在上段和市政道路边存在显著差异而支流无显著差异, 干流下段和市政道路边存在差异, 与其余梯度无显著差异, 而支流的下段则与其余梯度均存在显著差异, 表明干流在物种丰富度方面受局部干扰影响显著, 但低干扰区段保持相对稳定, 支流的生态系统则是依赖核心生境维持物种库, 整体抗干扰能力较弱。

对 2 条河道样段自生植物 α 多样性进行 Kruskal-Wallis H 检验, 结果表明 2 条河道样段的自生植物 α 多样性对干扰等级的响应存在差异。Shannon-Wiener 多样性指数($P=0.043$)和 Pielou 均匀度指数($P=0.025$)在不同干扰等级下呈现出显著差异。Simpson 多样性指数($P=0.107$)和 Margalef 丰富度指数($P=0.057$)则未达到显著水平。通过成对比较, Shannon-Wiener 指数仅在极端干扰组与轻微干扰组间存在显著差异($P=0.05$); Pielou 均匀度指数则显示极端干扰组与低强度组($P=0.046$)及轻微组($P=0.036$)均差异显著。

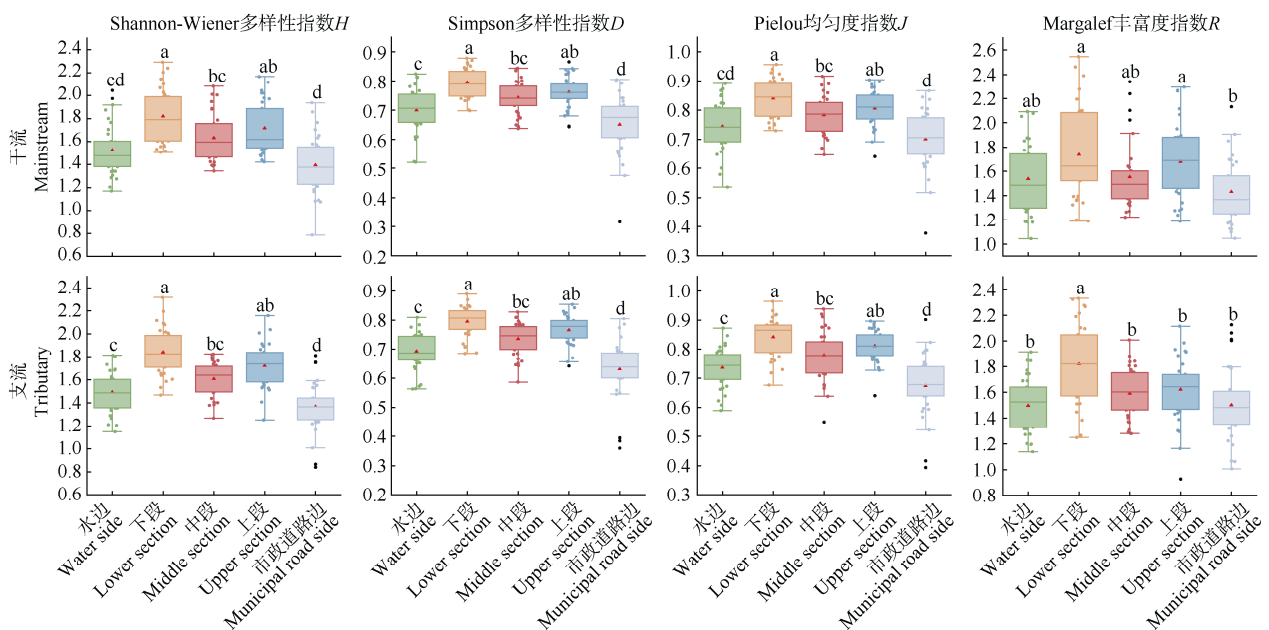


图 4 不同河岸梯度的自生植物 α 多样性

Fig. 4 Alpha diversity of spontaneous vegetation in different riverbank gradients

3 讨论和结论

3.1 南昌市河流廊道自生植物物种组成特征

研究在南昌市城区赣江和乌沙河 2 条河道共记录到自生植物 240 种, 高于华东地区京杭大运河^[27]

和闽江福州段^[20]。其中, 乡土自生植物 72 种, 远低于成都^[17]、北京温榆河-北运河^[28]和哈尔滨^[29]; 入侵植物 68 种, 这些物种可能由人类活动引入或者随着环境变化进入了该地区, 对乡土植物群落造成竞争和生态影响^[30]。

南昌市河流廊道草本自生植物共计 211 种, 占总物种数的 87.92%。草本层自生植物的生活型主要以一、二年生草本和多年生草本为主, 其对土壤类型和水分条件相对广泛的适应性^[31], 在环境多变的河流廊道区域中凸显优势。一年生草本、多年生乔木和多年生灌木在赣江样段出现的频度更高, 彰显其对高度人工化的城市河道环境适应性更强。乌沙河样段的多年生草本、一、二年生草本、多年生藤本和挺水植物主要生长于人为干扰较低、荒野程度较高的河岸带生境中。

3.2 不同等级河道自生植物多样性的影响因素

3.2.1 河道等级与水文特征的驱动作用

南昌市不同等级河道的自生植物群落差异受到多种自然和人为因素的影响, 其中包括水文^[32]、土壤^[33]、地下水位^[34]以及气候等环境因子。在物种种类方面, 干流物种数略高于支流; 在物种出现频度方面, 干流出现频度>10%的物种有 24 种, 均为草本植物, 而支流出现频度>10%的物种有 28 种, 其中包含了木本、草本和草质藤本植物。干流物种总数较多, 但高频种以草本植物为主, 这主要是因为干流水位季节性波动明显, 枯水期水位下降, 为适应干旱环境的植物种子萌发创造了机会^[18]; 洪水期对不耐水淹植物不利^[35], 且相对较快的水流速度带来的冲击也会抑制木本植物定居^[36], 影响其在河底或河岸的固定生长, 所以高频植物中草本植物占主导地位, 这一群落格局与已有研究结果高度吻合^[16,29]。支流水位波动幅度相对较小, 植物群落能在较长时间内保持稳定的生长状态^[11], 不容易受到频繁的水淹和干涸交替的影响; 且对于一些幼苗阶段的乔木植物, 较弱的水流冲击有利于它们的生长和扎根。

3.2.2 河岸梯度与人为干扰的交互影响

干流与支流多样性指数最高值和最高平均值均出现在与河水边缘相邻的河岸下段梯度, 在 α 多样性上也与其他河岸梯度呈现出显著差异, 这主要是由于下段区域处于水文干扰与人为干扰的过渡带, 既避免了水边频繁淹没的物理胁迫和市政路边极端的践踏与土壤压实, 又能获得充足的水分供应, 从而为更多物种提供了定植机会^[34]。支流的 H' 、 J' 指数在水边和市政道路边存在显著差异而干流无显著差异是由于干流的水边难以形成稳定的群落, 市政道路边的人为干扰意外创造了与水边类似的胁迫环境, 均形成了由耐受草本共占优势的群落结

构。支流水边的 R 指数均值最低, 可能是长期稳定的环境使木本、藤本等通过遮荫、根系竞争等抑制草本多样性。干流市政道路边的各项 α 多样性指数均值在 5 个河岸梯度中均为最低, 主要是受人为干扰以及灰色基础设施和不透水铺装面积的增加等多种影响引起了生境变化^[18,29], 导致其物种丰富度呈现出负相关的特征。相关研究从土壤功能的角度印证, 践踏使土壤容重增加、水分保持能力下降, 其支持的植物群落生产力和养分循环相关酶活性均显著低于受干扰较轻的生境, 从根本上限制了植物多样性的恢复与维持^[37]。相比之下, 虽然中段和上段区域同样因园路的存在而受到人为干扰, 但由于园路周边以间歇性踩踏和景观修剪为主, 且多采用透水铺装材料, 保留了土壤种子库和边缘微生境, 使得该区域多样性指数显著高于市政道路边, 该结果与已有的关于干扰梯度与多样性关系的研究观点相吻合^[18,30]。在干扰强度方面, Shannon-Wiener 多样性指数仅在最强烈对比组间显著, 表明河岸植物多样性可能在干扰强度达到某一临界值时才会急剧下降, 这与已有研究提出的“城市河岸干扰阈值理论”一致^[10]。高强度干扰可能优先淘汰稀有种, 显著降低了 Shannon-Wiener 指数, 而对常见种影响较小, 故 Simpson 指数之间无显著差异。Pielou 均匀度指数在极端干扰与低干扰、轻微干扰组间均存在显著差异, 可能是由于在极端干扰下少数耐受种占据绝对优势, 导致均匀度降低。

3.2.3 季节动态与群落演替特征

从不同季节的空间聚类分布结果可以看出, 植物群落的格局不仅受季节动态影响, 还可能更深层次地反映了“自然-半自然-人工”3 种典型地段的生境过滤作用, 不同的环境条件过滤了不具备相应性状的物种, 从而形成了与生境类型对应的特异群落, 与既有研究结论一致^[15]。春季的植物群落呈现出明显的生境分异特征, 聚类 1 的样点分布于狮子山驳岸, 属于自然地段, 其湿润的驳岸湿地生境筛选出了以两栖蓼(*Persicaria amphibia*)、早熟禾(*Poa annua*)和沼生蔺菜(*Rorippa palustris*)为优势种的、偏好湿润环境的乡土植物群落。聚类 5 的样点位于一环线附近的边缘地带, 同样代表了受轻微干扰的自然地段, 但生境条件较为干旱, 优势种为阿拉伯婆婆纳(*Veronica persica*)和臭芥(*Lepidium didymum*)等耐旱型荒野自生植物。与之形成对比的聚类 3、4 分布于人流量大的广场、游乐园等极端干扰区域,

对应人工干扰地段, 其中, 聚类 3 以入侵物种为主导, 北美车前(*Plantago virginica*)和空心莲子草占据优势, 反映出高强度人为干扰不仅助长了外来入侵物种的扩张, 也挤压了本土植物的生存空间^[38]。聚类 2 是介于二者之间的半自然地段, 其生境承受着中度、频繁但非极端的人为扰动, 由拉拉藤(*Galium spurium*)、野老鹳草(*Geranium carolinianum*)等广适种占主导, 此类区域的群落结构还可能受上层植被的调控。相关研究发现, 在人工绿地的乔木和灌木下层, 由于形成了荫蔽、湿润的微型栖息地, 除了适合广适种生长外, 往往也具备吸引并庇护更多喜阴低频种的潜力^[39]。这表明尽管当前群落以广适种为主, 但该类生境仍有望从广适种主导向更具多样性的物种共存状态演替。秋季的植物群落空间分布格局与春季基本一致, 各聚类组的优势种组成表现出较高的相似性, 进一步印证了上述基于地段的生境过滤机制的稳定性。夏季与春秋两季的植物群落聚类结果差异显著, 从空间分布来看, 主导聚类组集中分布于 2 河段人流与车流量较大的区域, 这主要是由于夏季旅游旺季带来的持续踩踏等人为干扰强度达到顶峰^[40], 使得干流整体作为高强度干扰的载体, 其群落呈现出人工化地段的特征, 以耐践踏物种和入侵植物为主。持续踩踏为抗损伤能力强的狗牙根提供了竞争优势, 其快速再生能力使其在干扰后能迅速恢复; 河道清理等管理活动客观上促进了空心莲子草的断枝扩散, 而游客活动则加速了苍耳种子的传播。其次则是由水热条件和干扰强度的季节性差异共同驱动, 夏季高温多雨的气候特征使得生境极化, 驳岸区因水位上涨形成长期淹水环境, 而道路边缘带则因蒸发强烈呈现干旱特征, 狗牙根因其独特的生理生态特性占据较大优势, 该物种既喜湿润环境, 又具备极强的耐热耐旱能力, 能够适应夏季极化的生境条件。这些人为干扰与物种适应性之间的正反馈机制, 共同塑造了夏季特有的植物群落格局。相较而言, 春秋季温和的气候条件和较弱的人为干扰, 使得广适性物种在多种生境中均能占据竞争优势, 导致群落组成在整体上呈现均质化趋势。然而, 这种均质化是优势种层面的, 细微的生境差异依然塑造着特定的植物组合^[16,18,29]。这种宏观均质化与微观分异并存的现象, 是造成季节间聚类差异的主要原因, 也正是这种由自生植物动态演替所塑造的、不断变化的群落格局, 其价值正日益受到重视。有研究强调, 公众的景观偏好中,

“自然性”是一个关键因素, 而自生植被所带来的这种动态的、季节性的美学体验, 是实现低维护、可持续城市绿化的核心^[5]。因此, 理解并尊重这种自然动态, 而非追求一成不变的景观, 应是未来城市河流廊道管理的方向。

3.3 基于河岸梯度与干扰视角的自生植物保护与应用

在南昌的城市河道中, 河岸下段是维持物种多样性的关键生态节点, 较高的多样性源于其作为水陆交错带所兼具的水分优势与相对稳定的土壤条件, 为多种植物提供了避难所和种源库。然而, 此区域容易受水力冲击与侵蚀风险, 在传统的河道工程中, 使其渠化和硬化能够经济便利地消除这些不稳定因素, 但这种方法同时也会破坏其作为水陆交错带的生态功能。因此, 对其中生物多样性保护的首要原则是维系河岸纵向梯度的完整性, 规避对自然河岸下段的开发与硬化, 为核心植物多样性斑块的生存与扩散提供空间。水边一定程度的水位波动和自然侵蚀过程, 为耐水湿植物提供生境。中段和上段作为重要的缓冲带, 应最大限度地减少高强度的人工维护, 例如频繁除草、景观式修剪等, 一方面能够使原场地自生植物顺利完成其生活史, 形成一种自然的野趣景观; 另一方面则是保护土壤种子库, 为下段的核心区提供物种扩散的源。针对生态功能退化较严重的市政道路边, 其生态恢复应侧重于减轻胁迫、改善生境基底, 保留而非频繁清除自然生长的、具有较强耐践踏能力的乡土草本植物。

河岸带自生植物群落不仅受到其所在空间位置的影响, 也承受着人为干扰这一关键因素的直接驱动。研究样段中轻微与极轻干扰区域多位于城市内人为管理较低的河岸带桥下空间及其周边范围, 包含了较多的植物种类, 这类轻微干扰区域的自生植被在调节地表温度、截留雨水等方面具有显著优势, 是城市绿色基础设施中不可或缺的组成部分^[41]。刘青等^[42]对南昌市再野化过程的研究表明, 在适度干扰且具有矗立物的场地, 乔木恢复更为显著, 尤其是构树(*Broussonetia papyrifera*)、白花泡桐(*Paulownia fortune*)等乡土树种, 其传播和定居与鸟类活动及场地结构密切相关。对此类空间自生植物的保护, 建议“最小干预, 最大保留”, 将其作为城市生物多样性的补充性栖息地^[16]。中度干扰区域多位于人流量适中的河岸带城市公园、广场等, 这类场地的管理模式创造了一种独特的生境, 其环

境特质介于荒野的原始性与市政道路的过度人工化之间。适度的干扰本身可以维持一种有趣的生态平衡, 中度干扰的区域也不应是植物多样性的荒漠, 而应成为展示人与自然和谐共生的窗口。对于此类区域, 可划定免剪区或延时修剪区, 不必对整个场地进行整齐划一的高频修剪。可在林地边缘、坡地、大型灌丛下方等次要区域, 划出允许自生植物自由生长的“生态岛”。树池、墙缝、石头边等地方是多样性的热点, 同样可以作为生态空间的有效补充^[43], 避免使用覆盖物或硬化将其完全密封, 给予种子萌发的机遇。高度与极端干扰区域多位于人流量较大的广场与江边游乐园, 应通过设置美观的矮护栏、低矮绿篱或地面标识, 巧妙引导人流, 减少对关键区域的直接践踏。由于目前南昌城市河岸带中外来植物占比较高, 为实现乡土植物多样性的提升与种群稳定, 生物多样性保护不能是简单的一概保护, 对入侵植物仍要进行危害评估与重点防控, 如空心莲子草、北美车前等, 必要时进行适当清除, 防止其侵占生态位, 为乡土群落的扩散和繁殖提供优先权。在系统性的保护框架基础上, 城市河岸带的生态管理可进一步将自生植物视为宝贵的景观资源, 通过低干预、低维护的策略, 将其生态价值转化为独特的景观与社会价值。在河岸下段与水边, 可充分发挥耐水湿植物群体的形态与季相特色, 打造自然的野趣湿地景观。保留以芦苇(*Phragmites australis*)、千屈菜等为主体的高位禾草群落, 其秋末摇曳的穗序极具观赏性; 同时, 还应保留自然生长的断节莎(*Cyperus odoratus*)和野天胡荽(*Hydrocotyle vulgaris*)等湿生植物斑块, 能极大地丰富水陆交错带的层次。对于河岸中段与上段, 可通过调整修剪制度凸显乡土草本的花果之美, 构建动态的缀花草地, 如保留紫云英(*Astragalus sinicus*)、酢浆草(*Oxalis corniculata*)、黄花草(*Arivela viscosa*)等春夏季开花植物, 形成区域性紫色或黄色小花海; 保留天蓝苜蓿(*Medicago lupulina*)、丁香蓼(*Ludwigia prostrata*)等夏秋季开花物种, 营造连续的花期展示, 构树、乌桕(*Triadica sebifera*)等乔木在再野化过程中表现出较强的适应性与景观潜力, 可在河岸带中段与上段适度保留, 形成具有地方特色的乔草复合群落^[42]。在市政道路边、人流密集的广场等高度干扰区, 应推广韧性地被式低成本绿化, 鼓励狗牙根、黑麦草(*Lolium perenne*)等耐践踏草本植物的自然繁殖, 使其逐步替代需高维护的人工草

坪, 既能覆盖裸土抑制扬尘, 又通过柔和质感和生态外观转变公众对“杂草”的负面认知, 展示城市的生态韧性。针对桥下空间等轻干扰区, 可突出蕨类与耐阴草本植物的特性, 如肾蕨、天胡荽(*Hydrocotyle sibthorpioides*)等, 保留其自然斑块作为“阴生植物微生境”展示点, 将灰色基础设施转化为生态教育场所。对于公园等中度干扰区, 应在免剪区内保留狗尾草(*Setaria viridis*)、芒(*Miscanthus sinensis*)等观赏草, 发挥其秋冬季观赏价值高的植物特征; 同时果期保留蛇莓(*Duchesnea indica*)等具鲜亮果色的地被植物, 增添景观趣味。

综上, 本研究共调查到南昌城市河流廊道自生植物 240 种, 以草本植物为主, 其物种数占总物种数的 87.92%; 藤本、灌木、乔木以及挺水植物等相对较少。河道干流与支流之间的物种组成差异较大, 高频植物种类在支流更为丰富。不同河岸梯度中, 干、支流的 α 多样性均为下段最高, 且显著高于市政道路边。Shannon-Wiener 多样性指数和 Pielou 均匀度指数在不同干扰程度下呈显著差异, 同时季节动态在一定程度上主导群落格局, 从春秋单季优势群组连续分布转变为夏季双群组片段化分布。这些差异是由于受到多种自然和人为因素等相互作用的影响, 在水位稳定, 保留较多自然绿地和人为干预较低的环境下, 植物的丰富度更高。因此, 在未来的城市河流廊道建设和景观规划中, 应针对自生植物对当下环境的适应性进行河岸带的生境营造和植物群落设计, 结合合理的养护措施, 对外来入侵物种做好动态监测, 以期能够让自生植物真正发挥其生态效益, 保护和建设城市中的野趣和自然。

参考文献

- [1] ZHANG N N, WU X F. Influence of urban land use compact change on riparian habitat: A case study of Wuhan section of Hanjiang river small watershed [J]. Chin Landsc Archit, 2021, 37(12): 87-91. [张楠楠, 吴雪飞. 城市用地紧凑变化对河岸带生境的影响——以汉江小流域武汉段为例 [J]. 中国园林, 2021, 37(12): 87-91. doi: 10.19775/j.cla.2021.12.0087.]
- [2] WOODWARD S L. Spontaneous vegetation of the Murray springs area, san Pedro valley, Arizona [J]. J Ariz Acad Sci, 1972, 7(1): 12. doi: 10.2307/40024359.
- [3] COHEN M, BAUDOUIN R, PALIBRK M, et al. Urban biodiversity and social inequalities in built-up cities: New evidences, next questions.

- The example of Paris, France [J]. *Landsc Urban Plann*, 2012, 106(3): 277–287. doi: 10.1016/j.landurbplan.2012.03.007.
- [4] LI C S, LIU H, CHENG A Y, et al. Let nature participate in design: An approach to improve the design of urban spontaneous community based on natural succession [J]. *Chin Landsc Archit*, 2019, 35(7): 118–123. [李仓拴, 刘晖, 程爱云, 等. 让自然参与设计: 一种基于自然演替的城市自生群落改良设计途径 [J]. *中国园林*, 2019, 35(7): 118–123. doi: 10.19775/j.cla.2019.07.0118.]
- [5] ILIE D, COSMULESCU S. Spontaneous plant diversity in urban contexts: A review of its impact and importance [J]. *Diversity*, 2023, 15(2): 277. doi: 10.3390/d15020277.
- [6] ARIF M, JIE Z, WOKADALA C, et al. Assessing riparian zone changes under the influence of stress factors in higher-order streams and tributaries: Implications for the management of massive dams and reservoirs [J]. *Sci Total Environ*, 2021, 776: 146011. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.146011.
- [7] ZHANG L M, TAN X, DONG Z, et al. Effects of *Alternanthera philoxeroides* invasion on plant diversity in the riparian zones of downtown Chongqing in the Three Gorges Reservoir area [J]. *Acta Pratac Sin*, 2022, 31(9): 13–25. [张丽苗, 谭雪, 董智, 等. 喜旱莲子草入侵对三峡库区重庆主城区河岸带植物多样性的影响 [J]. *草业学报*, 2022, 31(9): 13–25. doi: 10.11686/cyxb2021447.]
- [8] SUWAL N, HUANG X F, KURIQI A, et al. Optimisation of cascade reservoir operation considering environmental flows for different environmental management classes [J]. *Renew Energy*, 2020, 158: 453–464. doi: 10.1016/j.renene.2020.05.161.
- [9] ARIF M, TAHIR M, JIE Z, et al. Impacts of riparian width and stream channel width on ecological networks in main waterways and tributaries [J]. *Sci Total Environ*, 2021, 792: 148457. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.148457.
- [10] CHEN C D, WU S J, DOUGLAS M C, et al. Effects of local and landscape factors on exotic vegetation in the riparian zone of a regulated river: Implications for reservoir conservation [J]. *Landsc Urban Plann*, 2017, 157: 45–55. doi: 10.1016/j.landurbplan.2016.06.003.
- [11] VOESENEK L A C J, COLMER T D, PIERIK R, et al. How plants cope with complete submergence [J]. *New Phytol*, 2006, 170(2): 213–226. doi: 10.1111/j.1469-8137.2006.01692.x.
- [12] FRANCIS R A. Positioning urban rivers within urban ecology [J]. *Urban Ecosyst*, 2012, 15(2): 285–291. doi: 10.1007/s11252-012-0227-6.
- [13] VILÀ M, ESPINAR J L, HEJDA M, et al. Ecological impacts of invasive alien plants: A meta-analysis of their effects on species, communities and ecosystems [J]. *Ecol Lett*, 2011, 14(7): 702–708. doi: 10.1111/j.1461-0248.2011.01628.x.
- [14] ZHANG Q H, JI X Y, DING S Y, et al. Effect of longitudinal gradient on riparian plant species diversity along the mainstream of Beiji River [J]. *Chin J Ecol*, 2018, 37(12): 3654–3660. [赵清贺, 冀晓玉, 丁圣彦, 等. 北江干流河岸带植物物种多样性的纵向梯度效应 [J]. *生态学杂志*, 2018, 37(12): 3654–3660. doi: 10.13292/j.1000-4890.201812.040.]
- [15] LI X P, FENG L, HUANG R, et al. Species composition and abundance pattern of spontaneous plants responding to various habitats along urban river corridors in Chengdu [J]. *Chin Landsc Archit*, 2023, 39(8): 108–114. [李晓鹏, 冯黎, 黄瑞, 等. 成都城区河流廊道自生植物的物种组成及其响应不同生境的多度格局 [J]. *中国园林*, 2023, 39(8): 108–114. doi: 10.19775/j.cla.2023.08.0108.]
- [16] HAN R, YANG Q J. Research on habitat and species diversity of spontaneous plants in the Dujiangyan canal corridors [J]. *Landsc Archit*, 2025, 32(4): 97–105. [韩瑞, 杨青娟. 都江堰渠系廊道自生植物生境及物种多样性研究 [J]. *风景园林*, 2025, 32(4): 97–105. doi: 10.3724/j.fjyl.202408150458.]
- [17] LI X P, ZHANG S N, FENG L, et al. Habitat and species diversity of spontaneous plants on both sides of river corridor in Chengdu urban area [J]. *Landsc Archit*, 2022, 29(1): 64–70. [李晓鹏, 张思凝, 冯黎, 等. 成都城区河流廊道自生植物的生境及物种多样性 [J]. *风景园林*, 2022, 29(1): 64–70. doi: 10.14085/j.fjyl.2022.01.0064.07.]
- [18] LU J F, KANG X Q, MENG H X. Composition and diversity of spontaneous plant species in different habitats of the water system around Guilin City [J]. *Guangxi Sci*, 2024, 31(6): 1101–1111. [卢家锋, 康秀琴, 孟皓轩. 桂林市环城水系不同生境自生植物物种组成及多样性研究 [J]. *广西科学*, 2024, 31(6): 1101–1111. doi: 10.13656/j.cnki.gxkx.20241209.002.]
- [19] SUN Y Z, WANG Z T, BAO Y, et al. Responses of plant community structure and stability to artificial disturbance in urban remnant mountains [J]. *Chin J Ecol*, 2023, 42(8): 1829–1840. [孙玉真, 王志泰, 包玉, 等. 城市遗存山体植物群落结构与稳定性对人为干扰的响应 [J]. *生态学杂志*, 2023, 42(8): 1829–1840. doi: 10.13292/j.1000-4890.202308.010.]
- [20] XIE W L, WANG Q Y, WANG Q X, et al. Niche and interspecific association of spontaneous herbaceous plants in Fuzhou section of Minjiang River [J]. *J Trop Subtrop Bot*, 2025, 33(2): 149–158. [谢婉丽, 王奇悦, 王秋雪, 等. 闽江福州段自生草本植物生态位和种间联结研究 [J]. *热带亚热带植物学报*, 2025, 33(2): 149–158. doi: 10.11926/jtsb.4866.]
- [21] LIN Q W, YU S X, TANG S C, et al. Current status of naturalized

- alien species in China and its relative problem [J]. *Chin J Plant Ecol*, 2021, 45(11): 1275–1280. [林秦文, 于胜祥, 唐赛春, 等. 中国外来归化植物的编目现状及有关问题 [J]. *植物生态学报*, 2021, 45(11): 1275–1280. doi: 10.17521/cjpe.2021.0314.]
- [22] MA J S. *Alien Invasive Flora of China* [M]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University Press, 2020. [马金双. *中国外来入侵植物志* [M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2020.]
- [23] Royal Botanical Garden Kew. *Plants of the world online* [EB/OL]. [2022-03-20]. <https://powo.science.kew.org/>.
- [24] The Biodiversity Committee of Chinese Academy of Sciences. *Catalogue of Life China: 2021 Annual Checklist*. [中国科学院生物多样性委员会. *中国生物物种名录 2021 版* [EB/OL]. [2021-05-22] <http://www.sp2000.org.cn/>]
- [25] YAN X L, LIU Q R, SHOU H Y, et al. The categorization and analysis on the geographic distribution patterns of Chinese alien invasive plants [J]. *Biodiv Sci*, 2014, 22(5): 667–676. [闫小玲, 刘全儒, 寿海洋, 等. 中国外来入侵植物的等级划分与地理分布格局分析 [J]. *生物多样性*, 2014, 22(5): 667–676. doi: 10.3724/SP.J.1003.2014.14069.]
- [26] ZHANG S S, XIAO Y A. Life-form and diversity of sexual system of invasive alien plants in China [J]. *Bull Bot Res*, 2013, 33(3): 351–359. [张斯斯, 肖宜安. 中国外来入侵植物生活型与性系统多样性 [J]. *植物研究*, 2013, 33(3): 351–359. doi: 10.7525/j.issn.1673-5102.2013.03.016.]
- [27] JIN Y L, LOU J P, YAO X D, et al. Species composition and diversity characteristics of spontaneous vegetation in different habitats in the riparian zone of urban channelized rivers: A case study of the Beijing-Hangzhou Grand Canal in the main section of Hangzhou [J]. *Chin Landsc Archit*, 2022, 38(10): 110–115. [金亚璐, 楼晋盼, 姚兴达, 等. 京杭大运河(杭州主城区段)河岸带不同生境自生植物物种组成与多样性特征 [J]. *中国园林*, 2022, 38(10): 110–115. doi: 10.19775/j.cla.2022.10.0110.]
- [28] ZHANG M Y, LI K, XING X Y, et al. Responses of spontaneous plant diversity to urbanization in Wenyu River-North Canal Ecological Corridor, Beijing [J]. *Acta Ecol Sin*, 2022, 42(7): 2582–2592. [张梦园, 李坤, 邢小艺, 等. 北京温榆河-北运河生态廊道自生植物多样性对城市化的响应 [J]. *生态学报*, 2022, 42(7): 2582–2592. doi: 10.5846/stxb202104160993.]
- [29] SHEN P X, REN S, LIANG X Y, et al. Diversity and distribution characteristics of spontaneous vegetation in herbaceous layer of urban river corridors in Harbin [J]. *Landsc Archit*, 2024, 31(6): 28–36. [申沛鑫, 任术, 梁新悦, 等. 哈尔滨市河流廊道草本层自生植物多样性及分布特征 [J]. *风景园林*, 2024, 31(6): 28–36. doi: 10.3724/j.fjyl.202311250534.]
- [30] ZHAGN H B, ZHANG Y. The impact of human activities on riparian wetland plant communities [J]. *J SW Univ (Nat Sci)*, 2024, 46(6): 88–97. [张慧斌, 张翼. 人类活动对河岸湿地植物群落的影响 [J]. *西南大学学报(自然科学版)*, 2024, 46(6): 88–97. doi: 10.13718/j.cnki.xdzk.2024.06.008.]
- [31] WANG R, ZHU L. Adaptability and landscape application of perennial herbaceous plants in Shenyang area [J]. *Chin Landsc Archit*, 2023, 39(2): 127–132. [王睿, 朱玲. 多年生草本植物在沈阳地区的适应性及应用研究 [J]. *中国园林*, 2023, 39(2): 127–132. doi: 10.19775/j.cla.2023.02.0127.]
- [32] GUO Y F, WAN R R, GONG L Q, et al. Typical plant communities' biodiversity and its environmental drivers in the middle and low floodplains of Lake Poyang wetland [J]. *J Lake Sci*, 2023, 35(4): 1370–1379. [郭宇菲, 万荣荣, 龚磊强, 等. 鄱阳湖湿地中低滩典型植物群落的生物多样性及影响因子 [J]. *湖泊科学*, 2023, 35(4): 1370–1379. doi: 10.18307/2023.0431.]
- [33] JANOUSEK C N, FOLGER C L. Variation in tidal wetland plant diversity and composition within and among coastal estuaries: Assessing the relative importance of environmental gradients [J]. *J Veg Sci*, 2014, 25(2): 534–545. doi: 10.1111/jvs.12107.
- [34] FENG L, LIU J T, HAN G X, et al. Effects of groundwater level fluctuation on characteristics of soil seed banks in coastal wetlands of the Yellow River Delta [J]. *Acta Ecol Sin*, 2021, 41(10): 3826–3835. [冯璐, 刘京涛, 韩广轩, 等. 黄河三角洲滨海湿地地下水位变化对土壤种子库特征的影响 [J]. *生态学报*, 2021, 41(10): 3826–3835. doi: 10.5846/stxb202006281666.]
- [35] HE S F, ZHANG H, YANG P S, et al. Relationship between spatial pattern of riparian vegetation and relative water level in Lower Heishui River [J]. *J Hydroecol*, 2021, 42(5): 127–136. [何术锋, 张辉, 杨培思, 等. 黑水河下游岸边带植物群落空间格局与相对水位响应关系 [J]. *水生态学杂志*, 2021, 42(5): 127–136. doi: 10.15928/j.1674-3075.202106300224.]
- [36] CHEN C X, SONG W F, MA J G. Characteristics and influencing factors of plant diversity in ditches of the Hani terraces [J]. *J W China For Sci*, 2024, 53(1): 25–32. [陈春仙, 宋维峰, 马建刚. 哈尼梯田沟渠的植物多样性特征及其影响因素 [J]. *西部林业科学*, 2024, 53(1): 25–32. doi: 10.16473/j.cnki.xblykx1972.2024.01.004.]
- [37] MOLINA J A, MARTÍN-SANZ J P, CASERMEIRO M Á, et al. Spontaneous urban vegetation as an indicator of soil functionality and ecosystem services [J]. *Appl Veg Sci*, 2023, 26(2): e12827. doi: 10.1111/avsc.12728.
- [38] LI S M, WANG Q, XUE J H, et al. Analysis of composition and diversity of plant communities in the lake shore zone of Taihu Lake [J]. *J*

- Nanjing For Univ (Nat Sci), 2026, 50(1): 58–64. [李素梅, 汪庆, 薛建辉, 等. 太湖湖滨带植物群落的物种组成与多样性分析 [J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2026, 50(1): 58–64. doi: 10.12302/j.issn.1000-2006.202504028.]
- [39] LI X P, ZHANG S N, HUANG R, et al. Diversity and distribution variation of urban spontaneous vegetation with distinct frequencies along river corridors in a fast-growing city [J]. *J Environ Manage*, 2023, 333: 117446. doi: 10.1016/j.jenvman.2023.117446.
- [40] YAN Z. Assessment of the impact of ecotourism on plant biodiversity and its protection effect [J]. *Mol Plant Breed*, 2024, 22(19): 6548–6553. [闫曾. 生态旅游对植物多样性的影响与保护效果评估 [J]. 分子植物育种, 2024, 22(19): 6548–6553. doi: 10.13271/j.mpb.022.006548.]
- [41] SIKORSKA D, CIEŻKOWSKI W, BABAŃCZYK P, et al. Intended wilderness as a Nature-based Solution: Status, identification and management of urban spontaneous vegetation in cities [J]. *Urban For Urban Greening*, 2021, 62: 127155. doi: 10.1016/j.ufug.2021.127155.
- [42] LIU Q, YANG P H, ZHANG H T, et al. Study on the spatiotemporal characteristics of urban wasteland rewilding in Nanchang [J]. *Chin Landsc Archit*, 2023, 39(9): 40–46. [刘青, 杨坪赫, 章昊天, 等. 南昌市城市废弃地再野化时空特征研究 [J]. 中国园林, 2023, 39(9): 40–46. doi: 10.19775/j.cla.2023.09.0040.]
- [43] CHEN C D. Forgotten urban habitats: Analysis of spontaneous vegetation on the urban walls of Chongqing City [J]. *Acta Ecol Sin*, 2020, 40(2): 473–483. [陈春谛. 被遗忘的城市“生境”: 重庆市墙体自生植物调查分析 [J]. 生态学报, 2020, 40(2): 473–483. doi: 10.5846/stxb.201804130848.]