

申沛鑫, 任术, 梁新悦, 胡远东. 哈尔滨城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.

哈尔滨城市河流廊道草本层自生植物多样性及分布特征

申沛鑫 任术 梁新悦 胡远东*

摘要: 【目的】河流廊道是城市自生植物重要的栖息地, 揭示其自生植物多样性分布格局及成因, 有助于完善城市植被研究体系、指导城市生物多样性保育以及低维护与可持续绿地景观营造。【方法】采取均匀取样法和典型取样法, 选取哈尔滨市何家沟和马家沟两条河流廊道的中心城区段共 951 个样方展开草本层自生植物调查, 并解析 3 个大类生境和 11 类微生境中的自生植物多样性及分布特征。【结果】1) 共记录草本层自生植物 151 种, 隶属于 36 科、112 属; 2) 中低等城市化水平 (I~III) 下的草本层自生植物及乡土植物的 α 多样性显著高于其他城市化水平 (IV~V) 下的 α 多样性; 不同类型生境自生植物的多样性特征差异显著, 入侵植物呈现均质化分布格局; 3) 不同生境类型所处的坡向、距水体的距离、植被结构、管理强度等因素对自生植物的生活型、发生方式以及扩散方式均产生显著影响。【结论】为哈尔滨城市河流廊道生物多样性的保育以及低碳、低维护植物景观设计提供了新的视角, 通过合理留存和利用自生植物, 能最大限度地发挥河流廊道绿地的各项生态服务功能。

关键词: 生物多样性; 生境异质性; 城市化水平; 河流廊道; 草本层自生植物

基金项目: 黑龙江省自然科学基金“黑龙江城市植被多样性格局及成因论研究”(编号 LH2023E007)

中图分类号: TU986; TU985.12

文献标识码: A

文章编号: 1673-1530(2024)06-0028-09

DOI: 10.3724/j.fjyl.202311250534

收稿日期: 2023-11-25

修回日期: 2024-04-18

开放科学 (资源服务)
标识码 (OSID)



在过去的数十年间, 城市的过度开发和扩张导致了自然生境破碎化乃至丧失、环境污染、外来物种入侵等一系列生态问题, 并引发了城市生物多样性及分布格局的显著变化。大多城市绿地植被的组分、结构和分布格局由规划师、风景园林师以及城市居民的偏好决定, 这也加剧了城市生物多样性均质化现象^[1]。自生植物 (spontaneous vegetation) 与栽培植物 (cultivated plant) 相对, 是指在城市环境中非人工栽植而自发定居生长的植物, 包括自生乡土植物、逸生栽培植物以及在人为或自然活动影响下由种子或繁殖体扩散的外来植物, 其中也包括一部分外来入侵植物, 是城市植被的重要组成部分^[2]。自 20 世纪 70 年代至今, 国外对城市自生植物已有系统的研究, 研究历程包括矿场遗址和农田土壤修复、城市生物多样性调查、景观应用策略 3 个阶段^[3]。国内目前关于自生植物的多样性分布格局、自生植物对环境的响应机制与适应策略等方向的研究已经较为成熟, 但这些研究大多关注中低纬度地区的城市尺度, 研究对象多位于城市绿地、建筑墙体表面、废弃地等受人类活动影响较大的陆地生境^[2, 4-6]。近几年, 景观应用潜力也成为国内自生植物研究

的热点, 自生植物的景观价值与人类偏好的研究尤为突出^[7]; 近年来, 河流廊道作为城市自生植物的重要栖息地之一, 此类特殊生境中自生植物的多样性分布特征及景观应用潜力也备受学者的关注^[8]。

城市河流是城市水陆生态系统的交错带, 扮演着关键生态廊道和重要生物栖息地的角色, 不仅能为城市居民提供户外活动和休闲娱乐的场所, 还对维持城市生态系统的完整性和稳定性具有重要意义^[9]。作为贯穿城市的线性生态空间, 河流廊道是研究城乡扰动及生态环境效应的主要对象之一^[10]。同时, 城市河流廊道也是自生植物的重要栖息地^[11], 这些自生植物对维持和提升河流廊道的生态系统服务功能具有积极作用^[12]。随着中国势不可挡的快速城市化发展, 河流廊道中大量原生植被被清除、驳岸硬化以及高度人工化景观建设, 导致地域景观特色缺失、外来物种入侵、生物多样性下降或丧失等问题, 从而威胁到区域生态安全与社会经济的可持续发展^[13]。

何家沟和马家沟作为松花江一级支流, 是哈尔滨市仅有的两条贯穿中心城区的城市河流, 容纳了丰富的动植物资源。近年来, 城市开发和人为活动干扰对河流廊道自生植

物的物种组成和多样性分布格局产生了重要影响, 但相关研究还比较匮乏。据此, 本研究以哈尔滨何家沟和马家沟两条河流廊道中心城区段的草本层自生植物为研究对象, 分析不同城市化水平和不同生境中草本层自生植物的多样性分布特征及其成因, 揭示自生植物对高度异质性生境的适应策略, 为丰富城市植被生态学研究内容、指导低碳植物景观设计及低成本绿地景观管理提供新视角。

1 研究方法

1.1 研究区域概况

哈尔滨市是中国最北、纬度最高的省会城市, 拥有丰富的河流水系资源。何家沟全长 32.59 km, 流经平房、香坊、南岗、道里 4 个行政区; 马家沟全长 44.3 km, 流经平房、南岗、道外 3 个行政区。随着城市的不断扩张和发展, 何家沟和马家沟河岸带人地关系紧张, 生境破碎化严重、景观异质性持续增强, 对其生物多样性的组成、结构和动态产生了重要影响。

1.2 研究方法

1) 调研样段选取。结合两条河流的现状以及既有研究成果, 选取何家沟与马家沟自松



1 调查样带布置图
Layout of survey sample sites

花江入江口至哈尔滨三环河段（长约 34.57 km），对于其中有连续植被覆盖的河道，以植被覆盖范围作为研究区域，对于其中无连续植被覆盖的河道，以土地利用类型明显变化边界以内的范围作为研究区域^[8, 11]，调查时间为 2022 年 6—9 月（图 1）。

2) 样方设置。以均匀取样为主，以确保样方能全面反映样地的总体基本情况。在研究区域内每间隔 200 m 做一条垂直于河岸线的样带，每条样带上每间隔 5 m 取 1~2 个 1 m×1 m 的样方记录植物。样带之间出现新的物种和新生境时，也设置典型样方进行记录。本次调查共设置草本群落样方 951 个，记录所有样方内植物的物种名、株数、高度、盖度、是否自生。本研究中自生植物包括城市杂草、栽培植物中的木本植物更新幼苗^[14]，以及废置地、硬质铺装和护岸缝隙等生境内生长的木本和草本植物；对于胸径超过 2 cm 的木本植物、有明显人工栽培管理痕迹的草本植物，均认定为栽培植物。参考前人对植被分布驱动因素的研究^[4, 9]，同时记录样方距河岸线的水平距离，样方所处生境的类型、坡度、坡向、宽度、管理强度以及内部植被结构、木本植物盖度。将坡向 22.5°~67.5°记为北，67.5°~112.5°记为东北，每 45°依次记录为东、东南、南、西南、西、西北。管理强度按照种植、灌溉、收割和基础设施建设等人工管理行为强度划分为等级 1~5。植被结构划分为草地、灌-草、乔-草、乔-灌-草。

3) 生境类型划分。所有样方内自生植物

表1 生境类型划分结果
Tab. 1 Classification results of habitat types

生境大类	大类编码	微生境类型	微生境类型编码	生境特征描述
河道	W	河漫滩	W-RB	季节性涨水的河道淤泥、沙砾、碎石
护岸	R	水泥护岸	R-CE	不同材质护岸表面的薄土或缝隙
		砌石护岸	R-MA	
		石笼护岸	R-GA	
		人工覆土护岸	R-AC	
		自然土壤护岸	R-NS	位于护岸的步道铺装缝隙
		铺装缝隙	R-PG	
		种植池	R-PB	
高地	L	连续园林绿地	L-CG	连续的较大面积绿地
		种植池	L-PB	硬质材料围合的小块绿地
		废置地	L-UL	裸地、废弃地和未利用地

生境按照所处河道的位置划分为河道、护岸和高地三大类^[15]，并在此基础上按照生境本底特征及使用功能进一步划分为 11 类微生境（表 1）。

4) 城市化水平指数计算。运用 ArcGIS 10.8 软件中的最大似然法，将 2020 年分辨率 30 m 的 Landsat 系列卫星影像解译为城市建设用地、水体、植被、耕地和裸地 5 个土地覆盖类型。以每条样带中点为中心、500 m 为半径，计算样带周边不透水率（即建设用地面积占比），并将样带周边不透水率按照 0.2 的数值间隔将 0~1.0 划分为 I~V 5 个等级，由低到高代表该样带所处位置的城市化水平。

1.3 数据处理

1) 采用重要值（P）作为评价各物种优势程度的指标，计算式为

$$P_i = (h_i + c_i) / 2,$$
 (1)

式中： h_i 为物种 i 的相对高度， c_i 为物种 i 的相对盖度。

2) α 多样性是指某个群落或生境内部的物种多样性，选取 α 多样性指数中的 Patrick 丰富度指数（R）、Shannon-Wiener 多样性指数（H）和 Pielou 均匀度指数（J）作为测度指标。其中 Patrick 丰富度指数是指一个群落中所有实际物种的数目（S）；Shannon-Wiener 多样性指数来源于信息理论，其值愈大，群落所含的信息量愈大，计算式为

$$H = -\sum_{i=1}^p P_i \ln(P_i),$$
 (2)

Pielou 均匀度指数是群落中不同物种的多度（生物量、盖度或者其他指标）分布的均匀

程度，计算式为

$$J = H / \ln(P_i),$$
 (3)

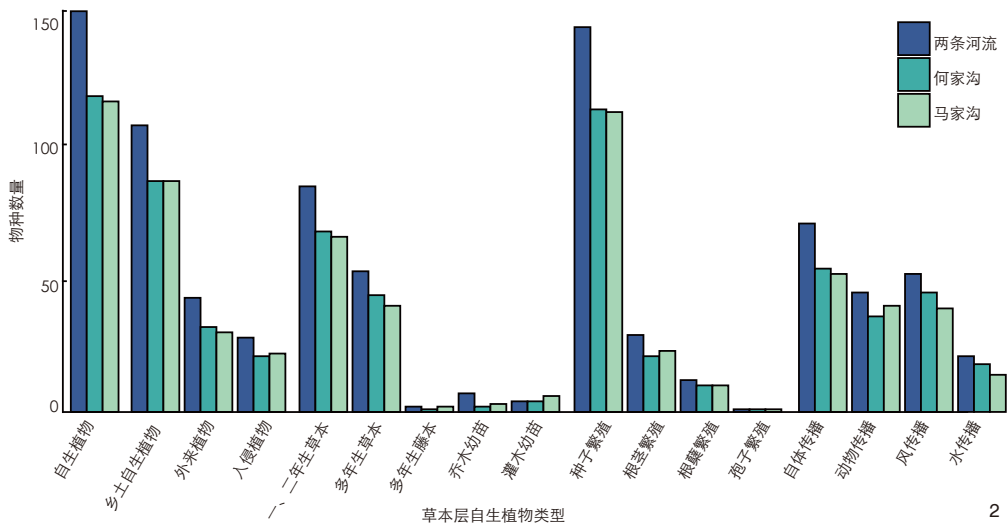
式（2）、（3）中， P_i 为物种 i 的重要值。

α 多样性指数利用 R 4.3.1 软件中的 Vegan 包进行计算。不同城市化水平下与不同生境间 α 多样性的差异比较以及不同生境的环境因素中分类变量对比均采用 Kruskal-Wallis 差异性检验，数值变量对比均采用 Spearman 相关性检验，检验过程利用 R 4.3.1 软件中的 Rstatix 包计算，检验结果利用 plot 包与 Pheatmap 包进行可视化。自生植物的物种来源、生活型、发生方式、扩散方式、是否为乡土植物、入侵植物等信息主要参考《中国植物志》《黑龙江省植物志》《中国入侵植物名录》《中国杂草原色图鉴》《黑龙江省主要乡土树种名录》《黑龙江省主要乡土草种名录》、中国植物物种信息数据库及 SID 数据库进行确定，入侵植物参考中国外来入侵物种信息系统（Invasive Alien Species of China, IASC）划分为恶性入侵、严重入侵、局部入侵类、一般入侵和有待观察 5 类。

2 结果与分析

2.1 草本层自生植物的物种组成

本次共记录草本层自生植物 151 种，隶属于 36 科、112 属，不同河流廊道中草本层自生植物的组成特征存在一定差异（图 2）。从科属构成上看，菊科（Asteraceae）物种数量最丰富，其次是禾本科（Gramineae）和蓼



2 两条河流廊道中草本层自生植物组成特征
Composition characteristics of spontaneous vegetation in herbaceous layer in the two river corridors

表2 草本层自生植物的科属种组成
Tab. 2 Species genus and family composition of spontaneous vegetation in herbaceous layer

科名	属数	物种数	比例/%
菊科	19	31	21.99
禾本科	13	14	9.93
蓼科	4	10	7.09
苋科	5	9	6.38
豆科	7	8	5.67

表5 草本层自生植物的繁殖方式
Tab. 5 Reproductive mode of spontaneous vegetation in herbaceous layer

繁殖方式	物种数	比例/%	代表性物种
种子繁殖	145	96.03	狗尾草、菵草、皱叶酸模、苣荬菜 (Sonchus oleraceus)、活血丹 (Glechoma longituba)、芦苇 (Phragmites australis)
根茎繁殖	29	19.21	皱叶酸模、白屈菜、宽叶荨麻 (Urtica laetevirens)
根蘖繁殖	12	7.95	问荆
孢子繁殖	1	0.66	问荆

科 (Polygonaceae), 是两条河流廊道中草本层自生植物的优势科 (表 2); 从生活型来看, 一、二年生草本自生植物占主导地位, 其次为多年生草本 (表 3); 物种来源以乡土自生植物为主, 入侵自生植物中恶性入侵类有 4 种, 包括小蓬草 (*Erigeron canadensis*)、鬼针草 (*Bidens pilosa*)、反枝苋 (*Amaranthus retroflexus*)、圆叶牵牛 (*Ipomoea purpurea*, 表 4); 不同繁殖方式中, 种子繁殖占绝对优

表4 草本层自生植物物种的来源
Tab. 4 Species origin of spontaneous vegetation in herbaceous layer

生活型	物种数	比例/%	代表性物种
乡土植物	108	71.52	狗尾草、菵草、皱叶酸模、小蓬草、牛膝菊 (<i>Galinsoga parviflora</i>)、虎尾草 (<i>Chloris virgata</i>)
外来植物	43	28.48	小蓬草、鬼针草、反枝苋
外来入侵植物	28	18.54	小蓬草、鬼针草、反枝苋

表6 草本层自生植物的扩散方式
Tab. 6 Dispersal mode of spontaneous vegetation in herbaceous layer

扩散方式	物种数	比例/%	代表性物种
自体传播	71	47.02	狗尾草、菵草、白屈菜、藜、狗尾草、白屈菜、稗 (<i>Echinochloa crus-galli</i>)、马唐 (<i>Digitaria sanguinalis</i>)、龙葵 (<i>Solanum nigrum</i>)
动物传播	45	29.80	皱叶酸模、大籽蒿、小蓬草、苣荬菜
风传播	52	34.44	狗尾草、稗、反枝苋、芦苇
水传播	21	13.91	狗尾草、稗、反枝苋、芦苇

势, 孢子繁殖的物种仅问荆 (*Equisetum arvense*) 1 种 (表 5); 从扩散型来看, 自体传播的物种最多, 风传播和动物传播自生植物物种数相近 (表 6)。

2.2 不同城市化水平草本层自生植物多样性特征

草本层自生植物的 Patrick 丰富度指数 (自生-R) 和 Shinnon-Wiener 多样性指数 (自生-H) 均值在城市化水平 II 中最高, 且在不

表3 草本层自生植物的生活型组成
Tab. 3 Composition of life forms of spontaneous vegetation in herbaceous layer

生活型	物种数	比例/%	代表性物种
一、二年生草本	85	56.29	狗尾草 (<i>Setaria viridis</i>)、藜 (<i>Chenopodium album</i>)、大籽蒿 (<i>Artemisia sieversiana</i>)
多年生草本	53	35.10	菵草 (<i>Humulus scandens</i>)、皱叶酸模 (<i>Rumex crispus</i>)、白屈菜 (<i>Chelidonium majus</i>)
多年生藤本	2	1.32	萝藦 (<i>Cynanchum rostellatum</i>)、蛇葡萄 (<i>Ampelopsis glandulosa</i>)
灌木 (幼苗)	4	2.65	紫丁香 (<i>Syringa oblata</i>)、接骨木 (<i>Sambucus williamsii</i>)
乔木 (幼苗)	7	4.64	榆 (<i>Ulmus pumila</i>)、旱柳 (<i>Salix matsudana</i>)

同城市化水平上的差异显著 ($p < 0.05$)。乡土自生植物的 Patrick 丰富度指数 (乡土-R) 和 Shinnon-Wiener 多样性指数 (乡土-H) 的最高均值同样出现在城市化水平 II 中, 且乡土-R、乡土-H 和 Pielou 均匀度指数 (乡土-J) 在不同城市化水平上的差异均显著 ($p < 0.05$)。入侵植物的 Patrick 丰富度指数 (入侵-R) 和 Shinnon-Wiener 多样性指数 (入侵-H) 和 Pielou 均匀度指数 (入侵-J) 在不同城市化水平上的差异均不显著 ($p \geq 0.05$, 图 3)。

2.3 不同生境类型草本自生植物多样性特征

自生-R、自生-H、乡土-R 和乡土-H 在三大类生境类型中的差异性显著 ($p < 0.05$), 且其均值排序均为高地>护岸>河道; 自生-J、乡土-J、入侵-R、入侵-H 和入侵-J 在三大类生境类型中均无显著差异 ($p \geq 0.05$, 图 4)。

不同微生境类型中自生-R、自生-H、乡土-R 和乡土-H 的差异性显著 ($p < 0.05$), 其中高地废置地、高地连续园林绿地、护岸铺装缝隙生境的 α 多样性指数均值最高。乡土-J 在不同微生境类型间的差异性显著 ($p < 0.05$), 而入侵-R、入侵-H 和入侵-J 在不同微生境类型中的差异性均不显著 ($p \geq 0.05$, 图 5)。

2.4 自生植物多样性分布格局的驱动因素

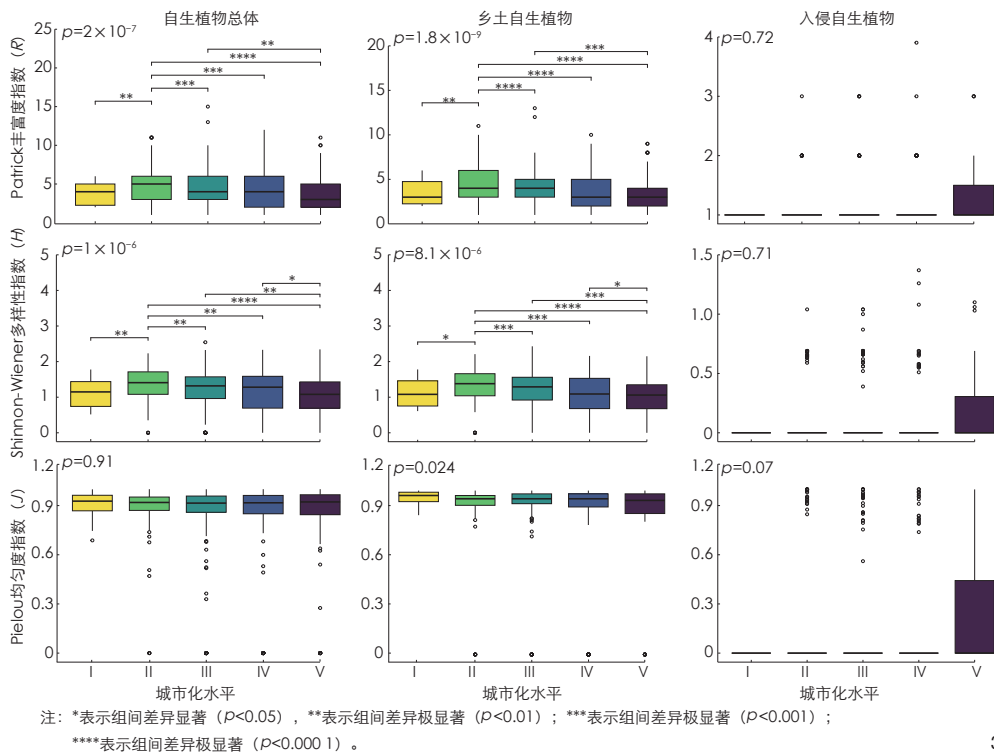
对不同驱动因素中数值变量与草本层自生植物多样性进行 Spearman 相关性检验, 发

现自生-*R* 与自生-*H* 与周边不透水率、管理强度均显著负相关（图 6）。从物种来源来看，入侵自生植物的 α 多样性指数均与样方距水体的距离显著正相关，与乡土物种比例显著负相关；从生活型来看，一、二年生草本-*R* 与管理强度显著负相关；从发生方式来看，种子繁殖-*R* 与自生比例和入侵比例显著正相关；从扩散方式来看，自体传播-*R* 与周边不透水率和管理强度显著负相关，动物传播-*R* 在西南坡向显著高于东坡向和北坡向，水传播-*R* 与入侵比例显著正相关，与管理强度和木本植物的盖度显著负相关，风传播-*R* 与入侵比例显著正相关。对不同驱动因素中类别变量与草本层自生植物 α 多样性指数进行 Kruskal-Wallis H 检验，发现多数类别草本层自生植物 α 多样性在乔-草和草地植被结构中高于在乔-灌-草植被结构中（表 7），多数类别草本层自生植物 α 多样性在南坡向最低（表 8）。

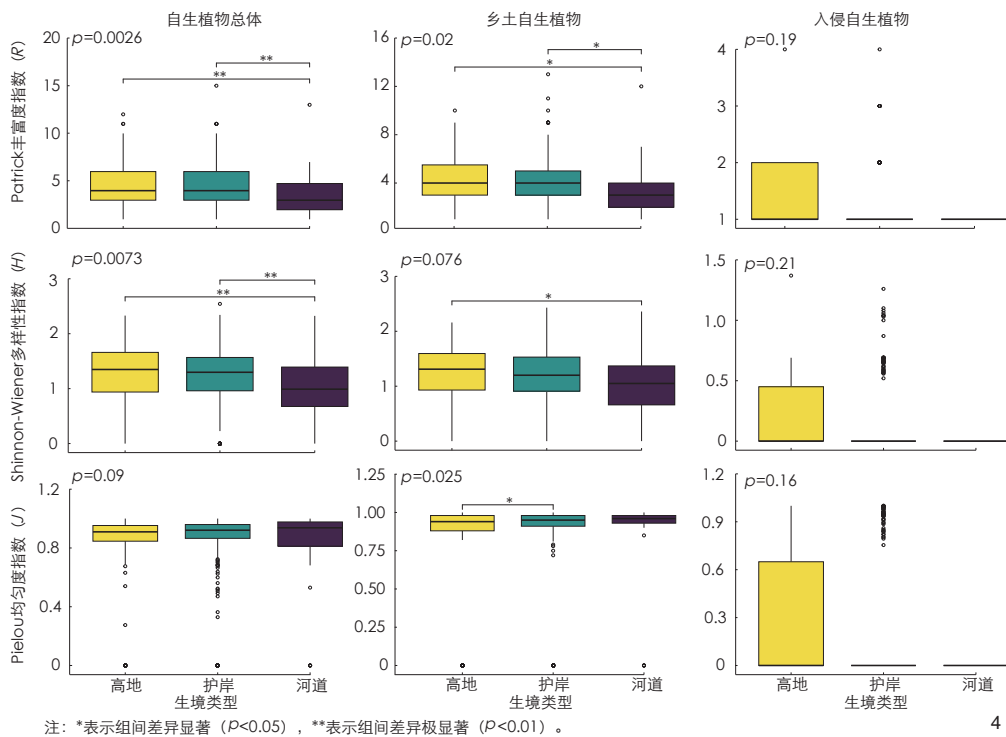
3 讨论

3.1 草本自生植物的物种组成特征

本研究在哈尔滨市何家沟、马家沟河流廊道中心城区段共记录草本层自生植物 151 种，约占哈尔滨三环内城市绿地维管束植物种类数（407 种）^[10] 的 37%。由此可见，河流廊道自生植物是城市生物多样性的重要组成部分。研究区域共记录乡土自生植物 108 种，占自生植物物种总数的 71.52%，和其他类似研究结果^[8, 11] 接近，表明河流廊道对乡土植物的保育具有积极的意义。草本层自生植物的生活型主要以一、二年生草本为主，共 85 种，它们能通过在规定时间内完成生活史，以适应河流廊道水湿条件变化较大且易受人类干扰的生态环境。草本层自生植物的扩散方式以自体传播为主，其次为风传播、动物传播和水传播，与南京市公园绿地的研究结果一致^[17]。由于城市建筑的形态会影响城市风环境，不同的风向和风速对植物种子的传播距离存在影响^[18]，同时可以传播种子的城市动物相对较少^[19]，所以城市河流廊道中风传播和动物传播自生植物的多样性会低于原始自然生态环境区域。



3



4

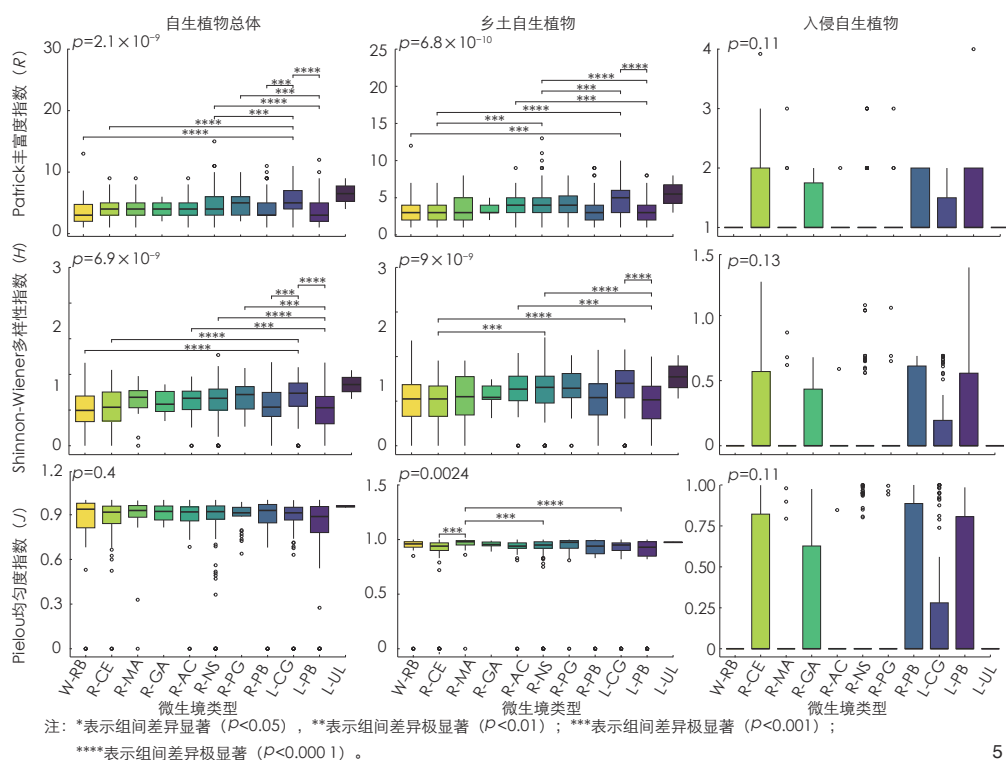
3 不同城市化水平的草本层自生植物 α 多样性
 α -diversity of spontaneous vegetation in herbaceous layer
at different urbanization levels

4 三大类生境类型中草本层自生植物的 α 多样性
 α -diversity of spontaneous vegetation in herbaceous layer
in three types of habitats

3.2 自生植物多样性对异质性生境的响应与适应

研究表明，自生植物是研究城市化

与城市生态系统互馈机制的绝佳对象。哈尔滨河流廊道草本层自生植物的 α 多样性指数在不同城市化水平下差异显著，在中低等城



5 11类微生境自生植物的 α 多样性
 α -diversity of spontaneous vegetation in herbaceous layer
 in 11 micro-habitats

6 不同驱动因素与草本层自生植物 α 多样性的相关性分析
 Analysis of correlation analysis between different driving
 factors and the α -diversity of spontaneous

市化水平 (I~III) 的区域达到最高, 而入侵自生植物的 α 多样性指数在不同城市化水平上无显著差异, 与北京温榆河入侵植物的分布规律相似^[11]。这表明乡土自生植物对城市当地的生物多样性具有支持作用^[20], 而入侵物种因具有更强的扩散能力和适应能力, 加上人

类干扰活动而加速进入河流廊道, 同时河流廊道也促进了入侵植物的扩散过程, 进而形成了入侵物种同质化的分布格局^[21]。

城市河流廊道是水陆系统的交错带, 生境类型丰富, 异质性生境的形成对自生植物多样性分布格局的影响较为显著。河漫滩生

境是水生及湿生植物重要生境类型, 但该生境易受雨洪干扰和河道清淤管理的影响, 导致其草本层自生植物多样性最低; 高地生境类型中废弃地和连续园林绿地这两类面积较大的微生境维持着最高的草本层自生植物 α 多样性, 符合生态学中的“种-面积”关系规律。草本层自生植物 α 多样性在各类微生境和护岸中的自然土壤护岸、人工覆土护岸、种植池这些以土壤为基底的微生境中高于在砌石护岸、石笼护岸、水泥护岸这些硬质护岸生境中, 是因为河岸的硬化工程不仅破坏了沿岸动植物的天然栖息地, 同时也隔断了沿岸的雨水与河水的自然循环, 对河流生态系统及生物多样性造成了不可逆转的影响^[23]。

自生植物 α 多样性同时也受到不同生境类型中生物因素和非生物因素的影响。从不同植被结构来看, 草地中的草本层自生植物 α 多样性指数最高, 与前人研究结果^[23]一致。

从不同坡向可以看出, 西南坡向的 α 多样性指数水平最高, 是由于西南坡属于阳坡和半阳坡生境, 阳光充足, 利于草本层中阳生植物发育^[24]。此外, 越靠近河流廊道边缘的生境类型, 入侵植物的 α 多样性指数越高, 有学者在青岛唐岛湾的研究中同样发现道路边缘绿地入侵植物物种数量高于其他位置^[25], 因此河流廊道边缘应该是入侵植物预防监控的重点区域。然而, 生境内部及周边不透水率与入侵植物 α 多样性的相关性并不显著, 可能与入侵植物的 α 多样性对500 m半径尺度下的不透水率不敏感有关, 有待从更多尺度上开展进一步研究。一、二年生草本, 种子繁殖和水传播植物受管理强度的影响显著, 其原因在于一、二年生草本植物生命周期短, 对人类干扰活动的响应更迅速; 种子繁殖植物易受除草时间和频率的影响; 水传播植物在研究区域内多生长于河漫滩和河岸, 更容易受河道清淤作业的影响。

3.3 生物多样性提升与低维护植物景观营造的策略

基于自生植物在不同城市化水平、生境类型以及生态环境特征下呈现出的分布规律和植物景观特征, 本研究分别从生境营造和物种选择两个方面提出城市河流廊道生物多

表8 不同坡向中草本层自生植物 α 多样性
Tab. 8 α -diversity of spontaneous vegetation in herbaceous layer in different slope aspects

坡向	北	东	东北	东南	南	西	西北	西南
自生-H	1.15 ± 0.52 ^{ab}	1.18 ± 0.53 ^{abb}	1.28 ± 0.53 ^{ab}	1.17 ± 0.56 ^{ab}	1.04 ± 0.56 ^b	1.26 ± 0.50 ^{ab}	1.25 ± 0.52 ^{abb}	1.35 ± 0.46 ^a
自生-R	4.14 ± 2.27 ^{ab}	4.22 ± 2.14 ^{ab}	4.73 ± 2.25 ^{ab}	4.18 ± 2.09 ^{ab}	3.75 ± 2.16 ^b	4.57 ± 2.15 ^{ab}	4.50 ± 2.16 ^{ab}	4.95 ± 2.32 ^a
乡土-H	1.00 ± 0.58 ^{bc}	1.15 ± 0.49 ^{abc}	1.23 ± 0.52 ^{abc}	1.06 ± 0.54 ^{abc}	0.95 ± 0.55 ^c	1.21 ± 0.53 ^{ab}	1.20 ± 0.51 ^{abc}	1.32 ± 0.44 ^a
乡土-R	3.43 ± 1.95 ^{bd}	3.83 ± 1.86 ^{abcd}	4.21 ± 1.98 ^{abcd}	3.54 ± 1.82 ^{abcd}	3.27 ± 1.92 ^d	4.13 ± 1.98 ^{bc}	3.99 ± 1.93 ^{abcd}	4.44 ± 2.02 ^{ac}
乡土-J	0.79 ± 0.36 ^{ab}	0.88 ± 0.25 ^{abb}	0.87 ± 0.25 ^{ab}	0.83 ± 0.32 ^{ab}	0.81 ± 0.31 ^b	0.86 ± 0.27 ^{ab}	0.89 ± 0.23 ^{ab}	0.94 ± 0.12 ^a
多年生草本-R	2.04 ± 1.26 ^{ab}	2.12 ± 1.16 ^{ab}	2.51 ± 1.26 ^a	1.97 ± 1.02 ^{ab}	1.84 ± 1.06 ^b	2.33 ± 1.11 ^{ab}	2.05 ± 1.08 ^{ab}	2.20 ± 1.39 ^{ab}
自体传播-R	2.28 ± 1.23 ^b	2.61 ± 1.29 ^{ab}	2.79 ± 1.26 ^{ab}	2.60 ± 1.29 ^{ab}	2.46 ± 1.40 ^{ab}	2.82 ± 1.30 ^a	2.78 ± 1.50 ^{ab}	2.66 ± 1.61 ^{ab}
动物传播-R	1.57 ± 0.97 ^{bc}	1.70 ± 0.89 ^{bc}	1.99 ± 0.96 ^{abc}	1.74 ± 0.88 ^{abc}	1.80 ± 0.93 ^{abc}	1.98 ± 1.09 ^{abc}	1.92 ± 0.94 ^{abc}	2.19 ± 1.25 ^a

注：同表7。

样性提升和低维护植物景观营造的策略，有助于在城市景观建设过程深入贯彻低维护、可持续植物景观设计理念，真正发挥城市自生植物在绿色低碳与可持续发展中的关键作用。

3.3.1 生境营造策略

1) 在满足城市河道防洪功能和安全功能的前提下，降低部分河段的沟渠化程度。在河流入江口周边河段和城市居民生产生活频繁的河段，应以防洪功能和安全功能为主。在承担次要泄洪功能的河段，以抛石、石笼、混凝土球、空心砌砖等生态护岸代替混凝土、浆砌石块等传统硬质护岸，同时可以适当扩宽河道，增加横截面以提升蓄洪量^[26]。在上游低城市化水平河段，应尽可能保护河流廊道的自然形态和原有土壤底质，从而形成河漫滩、河岸、护坡、高地的多级河道结构，营造丰富多样的微生境格局和近自然河流景观，还有利于降低流速、延长滞留时间、增加河道容量和生物多样性。

2) 保护生境的连续性与完整性。不同生境类型自生植物多样性与单个生境的面积大小和完整性紧密相关^[27]，对废置地、连续园林绿地和其他面积较大的生境斑块应予以优先保护。对于被道路和其他硬质铺装分割的生境类型，建议采用嵌草铺装或步石打破硬质界面，以提升各类生境间的连通度，增强物种迁移能力。

3) 提升生境内植被结构类型的多样性。在种植池、连续园林绿地等以人工栽培植被为主的微生境中，增加乔-草和草地等多种植被结构能够有效降低郁闭度，从而提升草本植物的多样性。与此同时，为给鸟类、蝶类、

表7 不同植被结构中草本层自生植物 α 多样性

Tab. 7 α -diversity of spontaneous vegetation in herbaceous layer in different vegetation structures

植被结构	草地	灌-草	乔-草	乔-灌-草
自生-H	1.24 ± 0.49 ^{ac}	1.29 ± 0.55 ^{abc}	1.29 ± 0.51 ^{ac}	0.98 ± 0.62 ^b
自生-R	4.40 ± 2.07 ^{ac}	4.78 ± 2.43 ^{abc}	4.80 ± 2.24 ^{ac}	3.61 ± 2.41 ^b
乡土-H	1.16 ± 0.50 ^a	1.25 ± 0.54 ^a	1.25 ± 0.50 ^a	0.94 ± 0.62 ^b
乡土-R	3.87 ± 1.89 ^b	4.31 ± 2.21 ^{abc}	4.28 ± 1.93 ^a	3.3 ± 2.070 ^c
多年生草本-R	2.18 ± 1.21 ^a	2.20 ± 1.08 ^{ab}	2.35 ± 1.16 ^a	1.76 ± 0.92 ^b
种子繁殖-R	4.37 ± 2.28 ^a	4.72 ± 2.40 ^a	4.80 ± 2.25 ^a	3.56 ± 2.38 ^b
自体传播-R	2.64 ± 1.34 ^a	2.38 ± 1.35 ^{ab}	2.95 ± 1.33 ^b	2.33 ± 1.37 ^b
动物传播-R	1.80 ± 0.99 ^b	2.06 ± 1.07 ^{ab}	2.04 ± 1.03 ^a	1.78 ± 1.02 ^{ab}
水传播-R	1.33 ± 0.60 ^a	1.09 ± 0.29 ^{ab}	1.23 ± 0.52 ^{ab}	1.13 ± 0.42 ^b

注：表中仅列出组间差异显著（ $p < 0.05$ ）的草本层自生植物 α 多样性指数；标记相同字母表示差异不显著（ $p \geq 0.05$ ），标注不同字母表示差异显著（ $p < 0.05$ ）。

蜂类等小型动物提供活动、觅食、隐蔽和栖息的条件^[28]，在所有生境类型中都应保留足够面积的乔-灌-草和灌-草结构^[29]。

4) 保护部分生境的独特性。研究结果显示，西南坡向的生境类型往往有着较高的物种多样性水平，例如在河道景观建设过程中在西南坡向可以采用低维护的自生植物；铺装缝隙生境类型的土壤贫瘠且易受到踩踏，但对其中生存的抗逆性较强的物种建议适当保留，在提高城市生物多样性的同时，也有助于形成富有自然野态的植物景观。

3.3.2 物种选择策略

1) 选取乡土植物和低入侵风险外来植物。对于恶性入侵类、严重入侵类和局部入侵类，应定期调查、监测，采取物理防治的同时使用乡土植物对该类入侵物种进行生态替代，以河流廊道边缘为重点调查监测区域。而对于有观赏价值的一般入侵和有待观察类入侵物种，如草木樨（*Melilotus suaveolens*）、苜蓿（*Medicago*

sativa）、虎尾草、毛酸浆（*Physalis philadelphica*）、菊芋（*Helianthus tuberosus*）、香附子（*Cyperus rotundus*）、芥（*Capsella bursa-pastoris*）、鹅肠菜（*Stellaria aquatica*）、地锦（*Parthenocissus tricuspidata*），可与竞争力较强的乡土自生植物共同作为植物群落构建材料。

2) 选取生境适应性强的自生植物。一般来说，城市化水平较高（Ⅳ~Ⅴ）的河段受人类活动干扰较大、硬质化生境较多，适合使用一、二年生，种子繁殖或自体传播的自生草本植物作为植物景观营造的材料。对于不同生境类型来说，滨水生境适合使用水传播、耐水湿的自生植物材料，而远离水岸的生境则推荐使用其他扩散方式的物种；硬质生境适合使用抗逆性较强、植株较小、生命周期较短的自生植物材料；以土壤为底质的生境对植物的发生方式和传播方式的选择则相对宽泛（表9）。对于不同植被结构的微生境来说，在草本层生境中推荐采用自体传播和风

Tab. 9 Recommendations for spontaneous vegetation species in herbaceous layer in different habitats and microhabitats

生境区位	生境基底	生境类型	推荐物种
滨水	硬质	石笼、混凝土球、空心砌砖等生态护岸	篇蓄 (<i>Polygonum aviculare</i>)、独行菜 (<i>Lepidium apetalum</i>)、朝天委陵菜 (<i>Potentilla supina</i>)、紫花地丁 (<i>Viola philippica</i>)、早开堇菜 (<i>Viola prionantha</i>)、萝藦、附地菜 (<i>Trigonotis peduncularis</i>)、蒲公英 (<i>Taraxacum mongolicum</i>)、马唐、披碱草 (<i>Elymus dahuricus</i>)、狗尾草
	土壤	河漫滩、人工覆土护岸、自然土壤护岸	问荆、透茎冷水花 (<i>Pilea pumila</i>)、篇蓄、春蓼 (<i>Persicaria maculosa</i>)、水蓼 (<i>Persicaria hydropiper</i>)、酸模叶蓼 (<i>Persicaria lapathifolia</i>)、红蓼 (<i>Persicaria orientalis</i>)、繁缕、沼生蔊菜 (<i>Rorippa palustris</i>)、附地菜、茵草 (<i>Beckmannia syzigachne</i>)、稗、披碱草、画眉草 (<i>Eragrostis pilosa</i>)、芦苇、香蒲 (<i>Typha orientalis</i>)、头状穗莎草 (<i>Cyperus glomeratus</i>)
远离水岸	硬质	嵌草铺装 (景观道路)、混凝土球、空心砌砖等生态护岸	篇蓄、朝天委陵菜、车前 (<i>Plantago asiatica</i>)、地锦、独行菜、附地菜、狗尾草、虎尾草、马唐、披碱草、蒲公英、夏至草 (<i>Lagopsis supina</i>)、酢浆草 (<i>Oxalis corniculata</i>)
	土壤	连续园林绿地、废置地、人工覆土护岸、自然土壤护岸、种植池	篇蓄、皱叶酸模、地肤 (<i>Bassia scoparia</i>)、马齿苋 (<i>Portulaca oleracea</i>)、繁缕 (<i>Stellaria media</i>)、鹅肠菜、芥、风花菜 (<i>Rorippa globosa</i>)、蛇莓 (<i>Duchesnea indica</i>)、朝天委陵菜、天蓝苜蓿 (<i>Medicago lupulina</i>)、苜蓿、草木樨、酢浆草、老鹳草 (<i>Geranium wilfordii</i>)、鼠掌老鹳草 (<i>Geranium sibiricum</i>)、紫花地丁、早开堇菜、蛇床 (<i>Cnidium monnieri</i>)、打碗花 (<i>Calystegia hederacea</i>)、附地菜、活血丹、夏至草、益母草 (<i>Leonurus japonicus</i>)、毛酸浆、挂金灯 (<i>Alkekengi officinarum</i> var. <i>franchetii</i>)、龙葵、赤瓟 (<i>Thladiantha dubia</i>)、平车前 (<i>Plantago depressa</i>)、紫菀 (<i>Aster tataricus</i>)、菊芋、旋覆花 (<i>Inula japonica</i>)、苣荬菜、蒲公英、虎尾草

传播的自生植物种类,在密度较大的灌木层或乔木层生境建议减少风传播的植物比例,增加自体传播和动物传播且较为耐阴的自生植物物种比例。在东南、南、西南、西、西北坡向中使用喜阳的自生植物,在东北、东、北坡向中使用喜阴、耐阴的自生植物。

4 结论

城市河流廊道是自生植物重要的栖息地, 自生植物不仅是城市生物多样性的的重要组成部分, 也是研究城市化与城市生态系统互馈机制的绝佳对象。本研究以哈尔滨市两条河流廊道的草本层自生植物为研究对象, 探索了自生植物的 α 多样性分布特征及其成因。研究结果显示, 哈尔滨城市河流廊道的草本层自生植物资源丰富, 在不同城市化水平上, 草本层自生植物的 α 多样性差异显著, 且生境类型、坡向、植被结构类型等是影响其 α 多样性分布的关键因子。乡土自生植物对维持河流廊道生物多样性具有积极作用。在未来低碳可持续发展的背景下, 在进行城市河流廊道景观建设与管理过程中, 应针对自生植物的适应性策略开展生境营造和植物群落设计, 结合适度的管理养护以及对外来入侵植物的密切监测, 更好地发挥河流廊道对城市生物多样性的支持功能。在未来的研究中, 可通过多季节调查和群落调查, 进一步探索城市河流廊道草本层自生植物的时空分布特征。

参考文献 (References):

- [1] IGNATIEVA M, AHRNÉ K, WISSMAN J, et al. Lawn as a Cultural and Ecological Phenomenon: A Conceptual Framework for Transdisciplinary Research[J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2015, 14 (2): 383-387.
- [2] GAO Z W, PAN Y L, BODEGOM V, et al. Beta Diversity of Urban Spontaneous Plants and Its Drivers in 9 Major Cities of Yunnan Province, China[J]. Landscape and Urban Planning, 2023, 234: 104741.
- [3] 潘玉韵, 姚丽敏, 郭蓓琳, 等. 基于 WoS 和 CiteSpace 的自生植物研究进展[J]. 西南师范大学学报 (自然科学版), 2022, 47 (3): 100-110.
- [4] PAN W Y, YAO L M, GUO B L, et al. On Progress of Spontaneous Vegetation Based on WoS and Citespace[J]. Journal of Southwest China Normal University (Natural Science Edition), 2022, 47 (3): 100-110.
- [5] [4] 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.
- [6] CHEN C D. Forgotten Urban Habitats: Analysis of Spontaneous Vegetation on the Urban Walls of Chongqing City[J]. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40 (2): 473-483.
- [7] [5] 李东啉, 李文, 董荣荣, 等. 哈尔滨城市工业废弃地自生植物多样性与分布特征[J]. 风景园林, 2024, 31 (1): 112-120.
- [8] LI D N, LI W, DONG R R, et al. Diversity and Distribution Characteristics of Spontaneous Plants in Urban Industrial Wasteland in Harbin[J]. Landscape Architecture, 2024, 31 (1): 112-120.
- [9] [6] 梁新悦, 游桂璇, 祝珊, 等. 哈尔滨市高校校园绿地自生植物多样性及其在异质生境中的分布特征[J]. 中国园林, 2023, 39 (12): 138-144.
- [10] LANG X Y, YOU G X, ZHU S, et al. Spontaneous Vegetation Species Diversity and Distribution in Heterogeneous Habitats of University Campus Green Spaces of Harbin[J]. Chinese Landscape Architecture, 2023, 39 (12): 138-144.
- [11] [7] 李晓鹏. 城市化环境下公园自生植物的多样性与公众感知研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2020.
- [12] LI X P. Diversity and Public Perception of Spontaneous Plants in Public Parks in Urban Environment[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2020.
- [13] [8] 李晓鹏, 张思凝, 冯黎, 等. 成都城区河流廊道自生植物

物的生境及物种多样性[J]. 风景园林, 2022, 29 (1): 64-70.
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]. Landscape Architecture, 2022, 29 (1): 64-70.

- [9] NAIMAN R J, DECAMPS H, POLLOCK M. The Role of Riparian Corridors in Maintaining Regional Biodiversity[J]. *Ecological Applications*, 1993, 3 (2): 209-212.
- [10] KUGLEROVÁ L, KIELSTRA B W, MOORE R D, et al. Importance of Scale, Land-Use, and Stream Network Properties for Riparian Plant Communities Along an Urban Gradient[J]. *Freshwater Biology*, 2019, 64 (3): 587-600.
- [11] 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.
- 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 Ecologica Sinica*, 2022, 42 (7): 2582-2592.
- [12] 朱玲, 王睿, 魏宜, 等. 生态系统服务视角下的城市滨河缓冲带生态修复策略研究[J]. *景观设计*, 2020 (6): 4-11.
- ZHU L, WANG R, WEI Y, et al. Restoration Strategies of Urban Riparian Buffer Zone from the Perspective of Ecosystem Services[J]. *Landscape Design*, 2020 (6): 4-11.
- [13] 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.
- 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]. *Chinese Landscape Architecture*, 2021, 37 (12): 87-91.
- [14] GAO Z W, SONG K, PAN Y J, et al. Drivers of Spontaneous Plant Richness Patterns in Urban Green Space Within a Biodiversity Hotspot[J]. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2021, 61: 127098.
- [15] 陈天一, 赵聪聪, 文素洁, 等. 城市生境单元制图研究进展及其在生物多样性保护中的应用[J]. *风景园林*, 2022, 29 (1): 12-17.
- CHEN T Y, ZHAO C C, WEN S J, et al. Research Progress in Urban Habitat Mapping and Its Application in Biodiversity Conservation[J]. *Landscape Architecture*

2022, 29 (1): 12-17.

[16] 贾博.哈尔滨城乡梯度上城市绿地植物多样性与群落类型[D].上海: 华东师范大学, 2021.

JIA B. Plant Diversity and Community Types of Urban Green Space on Urban-Rural Gradient in Harbin[D]. Shanghai: East China Normal University, 2021.

[17] 张明娟, 李青青, 李竹君.南京市公园绿地中自生草本植物的种子传播方式及园林应用策略研究[J].中国园林, 2020, 36 (8): 119-123.

ZHANG M J, LI Q Q, LI Z J. Seed Dispersal Modes and Landscape Application Strategies of Autogenesis Herbs in the Parks of Nanjing City[J]. Chinese Landscape Architecture, 2020, 36 (8): 119-123.

[18] DITOMMASO A, STOKES C A, CORDEAU S, et al. Seed-Dispersal Ability of the Invasive Perennial Vines Vincetoxicum Nigrum and Vincetoxicum Rossicum[J]. Invasive Plant Science and Management, 2018, 11 (1): 10-19.

[19] GELMI-CANDUSSO T A, HÄMÄLÄINEN A M. Seeds and the City: The Interdependence of Zoochory and Ecosystem Dynamics in Urban Environments[J]. Frontiers in Ecology and Evolution, 2019, 7: 41.

[20] 达良俊.基于本土生物多样性恢复的近自然城市生命地标构建理念及其在上海的实践[J].中国园林, 2021, 37 (5): 20-24.

DA L J. Urban Near-to-Nature Biocoenose Landmark Construction for the Restoration of Native Biodiversity: Concepts and Practices in Shanghai[J]. Chinese Landscape Architecture, 2021, 37(5): 20-24.

[21] ARONSON M F J, PATEL M V, O'NEILL K M, et al. Urban Riparian Systems Function as Corridors for Both Native and Invasive Plant Species[J]. Biological Invasions, 2017, 19 (12): 3645-3657.

[22] 鲍林林, 李叙勇, 智仕杰, 等.张家口市河流筑坝与硬化的生态系统健康影响研究[J].水生态学杂志, 2021, 42 (1): 1-9.

BAO L L, LI X Y, ZHI S J, et al. Effects of Damming and

Channel Hardening on River Ecosystem Health in Zhangjiakou City[J]. Journal of Hydroecology, 2021, 42 (1): 1-9.

[23] LI X P, FAN S X, GUAN J H, et al. Diversity and Influencing Factors on Spontaneous Plant Distribution in Beijing Olympic Forest Park[J]. Landscape and Urban Planning, 2019, 181: 157-168.

[24] 王飞, 王永元, 杨萌萌, 等.干旱河谷草本植物随海拔变化的物种多样性[J].森林与环境学报, 2017, 37 (4): 471-476.

WANG F, WANG Y Y, YANG M M, et al. Biodiversity of Herbaceous Plants Along Altitude Gradient in the Arid Valley[J]. Journal of Forest and Environment, 2017, 37 (4): 471-476.

[25] XU Y, ZHANG X, LIU X J, et al. Biodiversity and Spatiotemporal Distribution of Spontaneous Vegetation in Tangdao Bay National Wetland Park, Qingdao City, China[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2022, 19 (18): 11665.

[26] DONG M J, LIU M X, YIN L, et al. Concept and Practices Involved in Comprehensive River Control Based on the Synergy Among Flood Control, Ecological Restoration, and Urban Development: A Case Study on a Valley Reach of Luanhe River in a Semiarid Region in North China[J]. Water (Basel), 2022, 14 (9): 1413.

[27] 武晶, 余新春, 刘志民, 等.科尔沁沙地“生境岛屿”面积对植物物种多样性及其分布格局的影响[J].生态学杂志, 2017, 36 (1): 43-53.

WU J, YU X C, LIU Z M, et al. Effects of “Habitat Island” Area on Plant Species Diversity and Its Distribution Pattern in Horqin Sand Land[J]. Chinese Journal of Ecology, 2017, 36 (1): 43-53.

[28] 张颖, 朱建宁.融入风景园林因子的生境单元制图法及在公园鸟类微生境研究中的应用[J].风景园林, 2021, 28 (2): 96-102.

ZHANG Y, ZHU J N. Biotope Mapping with Landscape Architecture Elements and Its Application in the Research

of Park Avian Microhabitats[J]. Landscape Architecture, 2021, 28 (2): 96-102.

[29] AGUIRRE-GUTIÉRREZ J, WALLISDEVRIES M F, MARSHALL L, et al. Butterflies Show Different Functional and Species Diversity in Relationship to Vegetation Structure and Land Use[J]. Global Ecology and Biogeography, 2017, 26 (10): 1126-1137.

图表来源(Sources of Figures and Tables):

文中图表均由作者绘制, 其中图 1 底图来源于《哈尔滨市城市总体规划 (2011—2020 年)》。

(编辑 / 项曦)

作者简介:

申沛鑫 / 男 / 东北林业大学园林学院在读硕士研究生 / 研究方向为风景园林规划与设计、城市生物多样性

任术 / 男 / 东北林业大学园林学院在读硕士研究生 / 研究方向为风景园林规划与设计、城市生物多样性

梁新悦 / 女 / 大庆市自然资源局科员 / 研究方向为风景园林规划与设计、城市生物多样性

胡远东 / 男 / 博士 / 东北林业大学园林学院、西安建筑科技大学交叉创新研究院副教授 / 黑龙江寒地园林植物种质资源开发与景观生态修复重点实验室固定研究员 / 研究方向为风景园林规划与设计、城市生态与生态设计、城市生物多样性

通信作者邮箱: huyuandong@nefu.edu.cn

SHEN P X, REN S, LIANG X Y, HU Y D. Diversity and Distribution Characteristics of Spontaneous Vegetation in Herbaceous Layer of Urban River Corridors in Harbin[J]. Landscape Architecture, 2024, 31(6): 28-36. DOI: 10.3724/j.fjyl.202311250534.

Diversity and Distribution Characteristics of Spontaneous Vegetation in Herbaceous Layer of Urban River Corridors in Harbin

SHEN Peixin, REN Shu, LIANG Xinyue, HU Yuandong*

Abstract:

[Objective] In recent decades, the excessive development and continuous expansion of urban rivers and their surroundings have led to a series of ecological issues such as habitat fragmentation and loss, environmental pollution, invasion of alien species, and a sharp decrease in biodiversity. Urban rivers, as the interlace zones of urban aquatic and terrestrial ecosystems, play a crucial role as key ecological corridors and important habitats for biodiversity.

They not only provide outdoor activities and recreational spaces for city residents, but also significantly contribute to the integrity and stability of urban ecosystems. River corridors serve as vital habitats for spontaneous vegetation, which are profoundly affected by urban development and human activities, leading to the formation of highly heterogeneous habitats. Spontaneous vegetation is an excellent subject for studying the feedback mechanisms between urbanization and urban ecosystems, and holds great potential for

addressing issues such as urban biodiversity loss, pollution control, ecological restoration and rewilding, and for creating low-maintenance and sustainable plantscape. Based on this, this research takes the native plants in herbaceous layer in the central urban sections of the Hejiagou and Majiagou river corridors in Harbin as the research object, analyzes the compositional characteristics of spontaneous vegetation across different urbanization levels and habitats, elucidates the distribution patterns of spontaneous vegetation diversity and their influencing factors, and reveals the strategies for spontaneous vegetation to adapt to highly heterogeneous habitats.

[Methods] The research period is from June to September 2022. In this research, a combination of uniform and typical sampling methods are employed to conduct a survey of spontaneous vegetation in herbaceous layer in 951 quadrats along the Hejiagou and Majiagou river corridors in Harbin. The river corridor habitats are classified into three major categories of river channels, revetments, and uplands, which are further divided into 11 microhabitats such as river beaches, concrete revetments, and stone revetments. The species composition and diversity distribution of spontaneous vegetation in herbaceous layer in these habitats and microhabitats are analyzed. Concurrently, based on the urbanization level index and the division of urbanization gradients, the differences in α -diversity of spontaneous vegetation among different urbanization levels and habitats are examined. Finally, from the perspectives of habitat creation and species selection, strategies for enhancing biodiversity in urban river corridors and creating low-maintenance and sustainable plantscape are discussed.

[Results] Research results are summarized as follows. 1) Harbin's urban river corridors are rich in spontaneous vegetation species, with a total of 151 species recorded, belonging to 112 genera under 36 families. The life forms of spontaneous vegetation are mainly annuals and biennials; native species account for 71.52%, and alien invasive species account for 18.54%. In terms of reproduction, seed reproduction dominates, accounting for 96.03%. Regarding dispersal, the types of spontaneous vegetation featuring autogenic dispersal, wind dispersal, animal dispersal and water dispersal respectively account for 47.02%, 34.44%, 29.80% and 13.91%. 2) The composition of spontaneous vegetation varies with different levels of urbanization. The α -diversity of herbaceous spontaneous vegetation and native spontaneous vegetation species is significantly higher at medium to low levels of urbanization (I – III); significant differences in diversity characteristics are observed among different habitat types, with invasive species showing a homogenized distribution pattern. 3) Such factors as slope aspect, distance from water body, vegetation structure, and management intensity significantly impact the life forms, occurrence modes, and dispersal methods of spontaneous vegetation in herbaceous layer. 4) Two strategies are proposed to enhance biodiversity and create low-maintenance and sustainable plantscape in urban river corridors. One is reducing the channelization of some river sections while ensuring the flood prevention and safety functions of urban rivers, protecting habitat continuity and

integrity, and increasing the diversity of vegetation structure types within habitats; the other is preferentially selecting native plants and fully considering the life habits such as life forms, reproduction methods, and dispersal modes of native plant materials, while also focusing on monitoring invasive species along the edges of river corridors.

[Conclusion] The spontaneous vegetation in urban river corridors is an important component of urban vegetation. It holds great potential for addressing issues such as loss of urban biodiversity, pollution control, ecological restoration and rewilding, and for creating sustainable plantscape with low maintenance requirements. This research analyzes the composition characteristics of spontaneous vegetation in different habitats under varying levels of urbanization, elucidates the causes of diversity distribution patterns, and proposes the strategies for habitat creation and spontaneous vegetation application for river corridor landscape. This research may help enrich the urban vegetation database of Harbin, provide a new perspective for the landscape creation of urban river corridors, and offer theoretical support for the conservation of urban river corridor biodiversity, the development and application of spontaneous vegetation, and the creation of low-carbon and sustainable green landscape. Ecological researches suggest that urban ecosystems and their spontaneous vegetation communities are dynamic. This research only conducts surveys during the summer season, which may impose certain limitations on the results. In subsequent work, the distribution characteristics of spontaneous vegetation in urban river corridors should be further explored through surveys conducted in multiple seasons and a community-level perspective should be formed.

Keywords: biodiversity; habitat heterogeneity; urbanization level; river corridor; spontaneous vegetation in herbaceous layer

Authors:

SHEN Peixin is a master student in the School of Landscape Architecture, Northeast Forestry University. His research focuses on landscape planning and design, and urban biodiversity.

REN Shu is a master student in the School of Landscape Architecture, Northeast Forestry University. His research focuses on landscape planning and design, and urban biodiversity.

LIANG Xinyue is a clerk in Daqing Natural Resources Bureau. Her research focuses on landscape planning and design, and urban biodiversity.

HU Yuandong, Ph.D., is an associate professor in the School of Landscape Architecture, Northeast Forestry University and in the Institute for Interdisciplinary Innovation Research, Xi'an University of Architecture and Technology, a permanent research fellow in the Key Lab for Garden Plant Germplasm Development & Landscape Eco-Restoration in Cold Regions of Heilongjiang Province. His research focuses on landscape planning and design, urban ecology and ecological design, and urban biodiversity.

Corresponding author Email: huyuandong@nefu.edu.cn