

# 太原城市生态廊道草本植被调查及其分布格局分析<sup>\*</sup>

Survey and Analysis of the Composition and Distribution Pattern of Herb in Taiyuan Urban Ecological Corridors

崔虎亮<sup>\*</sup> 高静 徐强

CUI Hu-liang<sup>\*</sup>, GAO Jing, XU Qiang

**摘要:** 对太原市河流生态廊道和道路生态廊道的草本植被进行调查, 分析其植物种类构成和分布格局, 探讨城市生态廊道植物多样性及景观效益。结果表明, 太原城市生态廊道草本植物有 174 种, 隶属于 41 科 20 属, 其中乡土植物 107 种, 所占比例 61.49%; 外来植物 48 种, 所占比例 27.59%; 入侵植物 19 种, 所占比例 10.92%。相关分析表明, 距离城市中心越远, 调查样点草本植物多样性越高, 可见城市化进程降低了城市生态廊道的植物丰富度。总体来看, 道路生态廊道草本植被多样性高于河流生态廊道。不同廊道中入侵种占比的分布规律并不一致, 河流生态廊道入侵种比例随着城市中心距离的增加而增加; 而道路生态廊道恰恰相反, 距城市中心越近, 入侵种占比反而越大。

**关键词:** 生态廊道; 草本植被; 种类构成; 分布格局; 太原市

**中图分类号:** S688

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1671-2641 (2021) 05-0086-05

**收稿日期:** 2021-04-02

**修回日期:** 2021-05-01

**Abstract:** This paper carried out a research on the species composition and distribution pattern of herb in Taiyuan urban ecological corridors, in order to investigate the plant diversity and landscape effects of urban ecological corridors. As results, a total of 174 species of herb, belonging to 20 genera and 41 families, were concerned in ecological corridors, including 107 species of indigenous plants, 48 species of alien plants and 19 species of invasive plants, accounting for 61.49%, 27.59% and 10.92%, respectively. The correlation analysis showed that the farther the survey site is from the city center, the higher the diversity of herb. Thus, urbanization decreases herb richness. In the investigation, the road ecological corridors always showed higher plant diversity than river ecological corridors. In addition, the invasive plants showed different distribution patterns in the two different ecological corridors. The ratio of invasive plants showed direct proportion to urban center distance in river ecological corridors, while showed inverse proportion in road ecological corridors.

**Key words:** Ecological corridor; Herb; Species composition; Distribution pattern; Taiyuan

山西省太原市古称晋阳或并州, 有 2 500 年建城史, 其在北宋和明初的建设, 尤其是在明代被作为九边重镇之首, 奠定了太原日后城市发展的总体形态特征, 使其逐步成为我国北方区域政治中心和经济中心<sup>[1]</sup>。太原位于晋中盆地北端, 东、西、北三面环山, 汾河穿城而过, 形成了“一水中分, 三山环抱, 九水环绕”的河谷地貌。但长期以来的重工业粗放发展, 使太原市成为地质灾害和空气污染的敏感区域, 生态环境总体较为脆弱<sup>[2-4]</sup>。近年来, 太原市各级政府积极改善城市生态环境, 取得明显成效。至 2010 年, 太原市被国家住房和城乡建设部命名为国家园林城市, 绕城高速范围内约 186 km<sup>2</sup> 的建成区绿化

覆盖率达到 42.73%, 人均绿地面积 12.39 m<sup>2</sup>。2018 年, 太原市初步建成了“一轴双区三楔多廊多园”的城市绿地系统。王云才<sup>[5]</sup>针对太原城市生态修复实例, 结合太原城市“山-水”关系, 认为建立自然过程主导的城市生态系统修复框架和路径是主要的城市景观低影响营造策略, 并提出“水绿共举, 复绿养水, 水绿孕城”的系统理念。由此可见, 城市生态廊道在太原城市生态修复中发挥着重要作用。

城市生态廊道是以植物为主体, 植被覆盖度良好的线性或带状生态学要素, 在保护生物多样性、过滤污染物、防止水土流失、防风固沙、排蓄洪水等方面具有重要作用<sup>[6]</sup>。而廊道的生物多样性保护也成为生态领域研

究的热点之一<sup>[7]</sup>。基于“斑块—廊道—基底”的生态学理论, 生态廊道对于促进斑块之间物种的交流, 维持物种多样性及生态系统稳定具有重要的意义<sup>[8-9]</sup>。城市廊道演化过程中发现, 生态廊道对于完善城市生态网络, 促进人与自然和谐, 改善城市环境质量, 保护城市生态安全具有不可替代的作用<sup>[10]</sup>。

长期以来, 有关生态廊道内部动植物多样性, 特别是植物的多样性及其分布影响等方面的相关研究较少。植物是人居环境可持续发展的主要载体, 是形成城市肌理的主要角色<sup>[11]</sup>, 而生态廊道的植物多样性及其分布格局直接影响城市景观异质性及生态网络构建。本研究针对太原市道路生态廊道和河流生态廊道的草本植物种类

<sup>\*</sup> 基金项目: 山西省艺术科学规划课题“两山论转化路径视野下山西森林康养产业发展模式研究——以沁源太岳山区为例 (2020A055)”

和数量进行调查并分析其分布格局,研究太原城市化进程对其城市绿地生态廊道植被构成的影响,同时为揭示城市生态廊道景观格局和功能效益,探索河谷型城市的生态廊道发展规律提供参考依据。

## 1 研究背景

### 1.1 研究区概况

太原市地处华北平原西面的黄土高原,位于晋中盆地北缘(111°30'~113°09' E, 37°27'~38°25' N),总面积约 6 999 km<sup>2</sup>,东、西、北三面环山,中部和南部为河流冲积平原,汾河从北向南流过。太原属于北温带大陆性气候,四季分明,雨季集中于 6—9 月,年均气温 9.5℃,年均降雨量 456 mm,年均无霜期 202 d。

### 1.2 研究方法

本研究于 2020 年 6—8 月进行,参照太原市城市绿地系统规划,对太原城市生态廊道植被种类构成进行抽样调查,研究范围为太原绕城高速以内(图 1),对宽度大于 12 m 的生态廊道进行随机样点布置,每个样点设定 1 m×1 m 样方 5 个,作为重复。最终布置样点 78 个,其中道路生态廊道 64 个,河流生态廊道 14 个。由于太原城市总体沿汾河南北向带状分布,城市中心区域几经变迁,因此本研究以当前太原城市中心区域迎泽大街为基础,设定迎泽大桥(d1)和五一广场(d2)两个城市中心点,利用地图软件计算不同样点与两个城市中心的距离。

对样点中的植物进行实地识别并统计相关数据,无法现场识别的植物则采集标本带回实验室后,参照《中国植物志》和《山西植物志》进行研判;对乡土植物、外来植物和入侵植物的界定参照《中国植物志》《山西植物志》及中国外来入侵物种数据库<sup>①</sup>进行综合判断。

### 1.3 数据处理

调查指标包括物种频度( $F$ )、物种相对多度( $P_i$ )、物种丰富度指数( $R$ )、物种 Shannon-Wiener 多样性指数( $H$ )和物种均匀度指数( $J_{sw}$ )。各指标计算方法参照前人文献<sup>[12-14]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 太原市生态廊道草本植被组成

本研究参照恩格勒系统,最终调查记录的草本植物共有 174 种,隶属于 41 科 20 属,其中乡土植物 107 种,占比 61.49%;外来植物 48 种,占比 27.59%;入侵植物 19 种,占比 10.92%。统计草本植物频度(表 1)发现,乡土植物中频度最高的是狗尾草,其次为藜;外来植物中频度排前二的是如意草和苜蓿;入侵植物中频度最高的是苦苣菜。由此可知,太原城市生态廊道中乡土植物狗尾草和藜的分布范围最广。



图 1 太原城市生态廊道调查样点分布示意图

草地早熟禾虽然分布范围不广,但是在草坪中大量使用,因此相对多度最高,达 66.37%;结缕草 *Zoysia japonica* 作为外来植物也是草坪草常见植物,因此相对多度也比较高,达 7.42%。在入侵植物中,相对多度排序最高的是斑地锦,达 0.73%,笔者调查发现该植物在草坪生境中出现频率较高,而太原城市生态廊道中人工草坪占比较大,因此该植物相对多度较高。

#### 2.1.1 河流生态廊道草本植被组成

在河流廊道调查记录的草本植物共有 75 种,隶属于 27 科 61 属,Shannon 多样性指数 1.29,其中乡土植物 46 种,占比例 61.33%;外来植物 20 种,占比 26.67%;入侵植物 9 种,占比 12%。在河流廊道中分布频度最高的是乡土植物蒲公英,频度达 14.10%,其次为入侵植物斑地锦和乡土植物草地早熟禾,频度均为 12.82%(表 2);相对多度最高的是乡土植物草地早熟禾,达 26.46%,其次为外来植物结缕草,达 7.42%(表 3)。可以看出,河流廊道中大量使用草坪草,沿岸绿地人工痕迹较为明显,而入侵植物斑地锦和乡土植物天蓝苜蓿在草坪生境中分布范围较广,属于草坪草伴生植物。

① 中国外来入侵物种数据库 [www.chinaias.cn/wjPart/index.aspx](http://www.chinaias.cn/wjPart/index.aspx)



本调查中发现有9种植物仅在河流廊道样点中有分布,分别为田旋花、山萵苣 *Lactuca sibirica*、独行菜 *Lepidium apetalum*、长叶车前 *Plantago lanceolata*、林荫鼠尾草 *Salvia nemorosa*、红车轴草 *Trifolium pratense*、野青茅 *Deschampsia pyramidalis*、轮叶景天 *Sedum chauveaudii* 和麦蓝菜 *Gypsophila vaccaria*, 其中林荫鼠尾草、轮叶景天和麦蓝菜是常见的栽培花卉植物,而其余6种植物均为湿地生境自生植物。

2.1.2 道路生态廊道草本植被组成

在道路生态廊道调查记录的草本植物共有165种,隶属于41科20属,Shannon多样性指数1.91,其中乡土植物102种,占比61.82%;外来植物46种,占比27.88%;入侵植物17种,占比10.30%。在道路廊道中分布频度最高的植物为狗尾草、藜和苜蓿,频度分别达到74.36%、69.23%和43.59%,均为乡土植物(表4)。草地早熟禾的相对多度最高,达到39.91%(表5),这是由于人工草坪的大量使用,该物种的数量集中增加。相对多度较高的乡土植物狗尾草和外来植物苜蓿均为常见农田杂草,往往成为农田旁道路边缘优势种,本调查设定的绕城高速周边样点中该现象尤为明显。城市中心存在入侵植物比重增加的现象,外来种如意草和入侵种苦苣菜在城市中心区域道路廊道中分布逐渐增多。另外费菜作为公路护坡常见种植材料,同样大量分布于城市主干道周边绿地。

2.2 太原市生态廊道草本植被分布格局

2.2.1 河流生态廊道草本植被分布格局

相关分析表明(图2),本研究设定的河流生态廊道调查样点与迎泽大桥和五一广场两个城市中心距离的相关关系存在一定差异,河流生态廊道样点各生态指标与迎泽大桥距离的相关关系较为明显,与五一广场距离的相关关系不明显。观察发现入侵种类占比与迎泽大桥距离呈正比(相关系数  $R^2=0.3018$ ),即距离迎泽大桥越远,入侵植物种类所占比例越大;

表1 不同类型草本植物频度排序前十的植物种类

乡土植物		外来植物		入侵植物	
物种名称	频度/%	物种名称	频度/%	物种名称	频度/%
狗尾草 <i>Setaria viridis</i>	84.62	如意草 <i>Viola arcuata</i>	47.44	苦苣菜 <i>Sonchus oleraceus</i>	42.31
藜 <i>Chenopodium album</i>	74.36	苜蓿 <i>Medicago sativa</i>	38.46	小蓬草 <i>Erigeron canadensis</i>	25.64
苜蓿 <i>Cynanchum rostellatum</i>	43.59	尖裂假还阳参 <i>Crepidiastrum sonchifolium</i>	30.77	苋 <i>Amaranthus tricolor</i>	24.36
草地早熟禾 <i>Poa pratensis</i>	42.31	苣荬菜 <i>Sonchus wightianus</i>	16.67	斑地锦 <i>Euphorbia maculata</i>	15.38
蒲公英 <i>Taraxacum mongolicum</i>	30.77	白车轴草 <i>Trifolium repens</i>	12.82	牛筋草 <i>Eleusine indica</i>	10.26
马齿苋 <i>Portulaca oleracea</i>	29.49	戟叶堇菜 <i>Viola betonicifolia</i>	12.82	曼陀罗 <i>Datura stramonium</i>	7.69
猪毛菜 <i>Kali collinum</i>	29.49	长叶藤长苗 <i>Calystegia pellita</i> subsp. <i>longifolia</i>	11.54	天人菊 <i>Gaillardia pulchella</i>	3.85
黄花蒿 <i>Artemisia annua</i>	28.21	野豌豆 <i>Vicia sepium</i>	10.26	百日菊 <i>Zinnia elegans</i>	2.56
车前 <i>Plantago asiatica</i>	26.92	草木樨 <i>Melilotus officinalis</i>	8.97		
葎草 <i>Humulus scandens</i>	25.64	柔毛打碗花 <i>Calystegia pubescens</i>	7.69		

注:入侵植物当中仅有8种植物的出现次数超过1次,故仅统计此8种植物频度。

物种丰富度指数、Shannon-Wiener多样性指数和物种均匀度指数与迎泽大桥距离均呈正比,表明距离迎泽大桥越远,河流生态廊道物种多样性越高。外来植物种类比例与Shannon-Wiener多样性指数存在显著性正相关关系,相关系数达到0.9034,表明外来植物的分布直接影响到物种多样性。

2.2.2 道路生态廊道草本植被分布格局

道路廊道调查样点各生态指标与两个城市中心距离均存在明显的相关关系(图3)。研究发现道路廊道调查样点的入侵植物和外来植物种类占比与两个城市中心距离呈反比,其中,两者与迎泽大桥距离相关系数( $R^2$ )分别为-0.0257和-0.2576,与五一广场距离相关系数( $R^2$ )分别为-0.0689和-0.2719,可见距离市中心越近,入侵植物和外来植物所占比例越大,这一规律与河流生态廊道恰恰相反。物种丰富度指数、Shannon-Wiener多样性指数和物种均匀度指数均与城市中心距离呈正比,表明距离市中心越远,物种多样性也越多,这与河流生态廊道的规律一致。

3 讨论

3.1 太原城市生态廊道草本乡土植物的应用比例

城市建设对自然生境的改造必然导致城市植被的物种构成产生变化,其中外来植物种类增多和乡土植物种类减少是较为显著的问题<sup>[13]</sup>。陆庆轩<sup>[14]</sup>认为,特定植物区系内自然发生、生长的植物一般就是该地区的乡土植物。乡土植物的应用对于维护植物物种多样性和生态安全具有重要作用,因此外来植物的引入需要谨慎。总体来看,我国北方城市园林绿地中乡土植物应用比例低于南方城市,如张楠等<sup>[12]</sup>对北京市生态廊道草本种类进行调查,发现乡土植物占比为53.09%~58.16%;赵娟娟等<sup>[15]</sup>进一步对北京建成区外来植物种类进行调查,发现外来种比例达到53%;西安市城市绿地群落中乡土树种占整体树种的55.5%<sup>[16]</sup>;石家庄公园绿地以乡土植物为主体,但引进植物种类较为丰富,统计结果表明乡土植物所占比例为54.86%<sup>[17]</sup>;马杰等<sup>[18]</sup>以郑州市16个绿道为研究对象,统计得出乡土植物比例为74.24%;杨

表2 河流生态廊道频度排序前10的草本植物

序号	物种名称	类型	频度 / %
1	蒲公英	乡土	14.10
2	斑地锦	入侵	12.82
3	草地早熟禾	乡土	12.82
4	天蓝苜蓿 <i>Medicago lupulina</i>	乡土	11.54
5	如意草	外来	11.54
6	狗尾草	乡土	10.26
7	车前	乡土	7.69
8	苦苣菜	入侵	6.41
9	野豌豆	外来	5.13
10	结缕草	外来	5.13

表4 道路生态廊道频度排序前10的草本植物

序号	物种名称	类型	频度 / %
1	狗尾草	乡土	74.36
2	藜	乡土	69.23
3	萝藦	乡土	43.59
4	苜蓿	外来	37.18
5	如意草	外来	35.90
6	苦苣菜	入侵	35.90
7	草地早熟禾	乡土	29.49
8	尖裂假还阳参	外来	28.21
9	黄花蒿	乡土	28.21
10	猪毛菜	乡土	26.92

表3 河流生态廊道多度排序前10的草本植物

序号	物种名称	类型	多度 / %
1	草地早熟禾	乡土	26.46
2	结缕草	外来	7.42
3	狗尾草	乡土	1.20
4	斑地锦	入侵	0.65
5	高羊茅 <i>Festuca elata</i>	外来	0.20
6	芦苇 <i>Phragmites australis</i>	乡土	0.19
7	田旋花 <i>Convolvulus arvensis</i>	乡土	0.19
8	草木樨	外来	0.18
9	矛叶荩草 <i>Arthraxon prionodes</i>	乡土	0.18
10	秋英 <i>Cosmos bipinnatus</i>	外来	0.17

表5 道路生态廊道多度排序前10的草本植物

序号	物种名称	类型	多度 / %
1	草地早熟禾	乡土	39.91
2	狗尾草	乡土	3.63
3	苜蓿	外来	2.24
4	白车轴草	外来	1.34
5	费菜 <i>Phedimus aizoon</i>	乡土	1.16
6	藜	乡土	1.10
7	如意草	外来	0.63
8	黄花蒿	乡土	0.55
9	苦苣菜	入侵	0.52
10	结缕草	外来	0.37

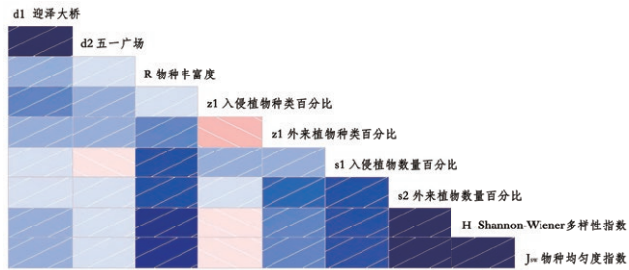
敏等<sup>[19]</sup>应用群落生态学方法对南京地区植物进行调查，发现乡土植物比例达到68.08%。北方地区由于适生植物种类相对较少，城市园林建设为满足延长绿期的要求，大量引种南方植物，这导致北方城市本土植物应用比例下降，最终导致地带性植物应用严重缺乏，造成景观同质化现象<sup>[11]</sup>。而过度引种南方植物易增加绿地养护成本，带来入侵植物风险，产生生态平衡压力。

本研究中，太原城市生态廊道草本乡土植物种类比例达61.49%，略高于北方主要城市，略低于南方主要城市。乡土植物是当前太原市生态廊道的应用主体，这对于维系太原城市生态平衡具有重要作用。乡土植物的相对多度同样较高，但是景观同质化现象严重，这归因于人工草坪在城市重要景观节点的大量使用，而人工草坪过于依赖乡土植物草地早熟禾，如汾河城市中心段两岸绿地、绕城高速出入口绿地及城市快速路环岛等。此外，城市主干道路大量使用乡土植物费菜，也增加了乡土植物相对多度。

河流廊道中乡土植物相对多度较小的区域是北中环桥下湿地公园和南中环桥下湿地公园，道路廊道中乡土植物相对多度较小的区域是北部的新兰路与新城大街交叉区域。这是由于湿地公园中人工痕迹较少，草坪使用不多，因此外来物种和入侵物种比例较高；而北部新兰路与新城大街交叉区域由于城市化建设中景观节点建设尚未成型，草坪使用同样较少，植被分布较为单一，外来物种苜蓿通常成为其优势种。

3.2 河流与道路生态廊道草本植被多样性差异

生态廊道是城市中以提升环境品质、保护城市生态环境及野生动植物为主要目的的线性空间<sup>[10]</sup>，生态廊道对于维护生物多样性、解决城市景观碎片化具有重要作用<sup>[20]</sup>。在本研究调查结果中，太原市河流生态廊道的Shannon多样性指数为1.29，道路生态廊道的为1.91，道



注：蓝色表示正相关，红色表示负相关，颜色越深表示相关关系越显著，图3同。

图2 河流廊道生态指标相关系数热图

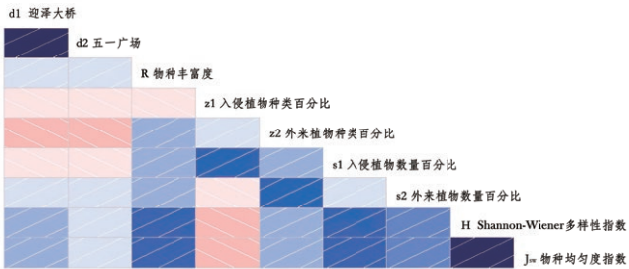


图3 道路廊道生态指标相关系数热图

路生态廊道的草本植物多样性高于河流生态廊道。这是因为汾河沿岸大面积使用草地早熟禾,且频繁地对人工草坪进行除草,削弱了河流廊道的草本植物多样性。然而太原市9条边山支河基流小<sup>[21]</sup>,生态修复尚未完善,所有河岸均进行了垂直硬化处理,游人无法靠近,河岸带绿化薄弱,本研究亦未能在边山支河设定调查样点,因而本研究河流生态廊道仅针对汾河设定调查样点,致使湿地野生草本植被的调查缺少全面性。修晨等<sup>[22]</sup>针对北京永定河植物群落进行调查,发现人为影响较多的城市段外来种比例为25.5%,明显高于人为影响较少的山峡段(20.9%);不过张楠等<sup>[12]</sup>对北京市生态廊道草本植物多样性进行调查,发现北京市河流生态廊道Shannon多样性指数与道路生态廊道差异不大。关于两城市草本植物多样性结果的差异,分析认为,可能是由于北京城市化水平较高,两类生态廊道的人工痕迹明显,从而两者多样性差异较小;而太原中环以外区域城市化水平较低,城市道路向外延伸区域为农田,因此道路生态廊道的植物多样性更高。

本研究发现,在河流生态廊道中,距市中心越远,入侵植物占比越大;而在道路生态廊道的情况相反,距市中心越近,入侵植物占比越大。这表明相较于河流廊道,道路交通更有利于入侵植物的传播。张楠等<sup>[12]</sup>认为,人为引进对入侵植物的传播更为便利,因而道路生态廊道易促进外来植物入侵进程,本研究也证实了这一规律。而本研究中入侵植物斑地锦在河流生态廊道中分布较广,在道路生态廊道中分布较少,是因其株型矮小,易分布于人工修剪较为频繁的草坪生境中,而道路生态廊道中植物多样性和乡土植被比重略高于河流生态廊道,且人工修剪频率较低,植被盖度较高,一定程度上抑制了其生长。斑地锦繁殖能力强,对草坪危害极大,被列为我国高风险入侵植物,有学者建议应借鉴中欧风险评估体系(WG-WRA)对其进行入侵风险评估<sup>[23-25]</sup>。

同样在河流生态廊道中分布较广的乡土植物天蓝苜蓿是一种良好的绿肥植物,固氮效果明显,适应性强,目前我国已有草坪建植的相关经验<sup>[25]</sup>。太原城市绿地可尝试将其与草坪草混播建植永久草坪,一方面能够减少人工草坪养护成本,一方面可增加草坪草植被多样性,提升城市景观质量。

## 4 结论

综上所述,太原城市生态廊道草本植物的应用主体为乡土植物,这对于维系太原城市生态平衡具有重要作用。但由于人工草坪在城市重要景观节点的大量使用,景观同质化现象较严重。此外,经调研发现,在河流生态廊道中,距市中心越远,入侵植物占比越大,而在道路生态廊道的情况相反,这表明相较于河流廊道,道路交通更有利于入侵植物的传播。因此,建议今后生态廊道建设应加强入侵植物的预警工作,尤其是对于道路廊道,进而维护城市绿地生态系统的稳定。此外,应适当增加乡土植物尤其是草本植物的应用,从而实现城市绿地景观的低影响营造。

注:图片均由作者自绘。

### 参考文献:

- [1] 行鸣,傅婷婷.太原城市形态回溯——从北宋到民初[J].华中建筑,2016,34(7):114-117.
- [2] JIA Z, PENG J, LU Q, et al. Characteristics and Genesis Mechanism of Ground Fissures in Taiyuan Basin, Northern China[J]. Engineering Geology, 2020, 275: 105783.
- [3] LIU X, WANG Z, BAI H, et al. Characteristics and Health Risk Assessments of Heavy Metals in PM<sub>2.5</sub> in Taiyuan and Yuci College Town, China[J]. Air Quality, Atmosphere & Health, 2020, 13(8): 909-919.
- [4] 闫丽沙.太原城市圈城市生态系统健康评价[D].临汾:山西师范大学,2019.
- [5] 王云才.让自然做工:自然过程主导的太原城市生态系统修复[J].中国园林,2019,35(10):19-23.
- [6] 朱强,俞孔坚,李迪华.景观规划中的生态廊道宽度[J].生态学报,2005(9):2406-2412.
- [7] 单楠,周可新,潘扬,等.生物多样性保护廊道构建方法研究进展[J].生态学报,2019,39(2):411-420.
- [8] 郭建国.景观生态学[M].北京:高等教育出版社,2007.

社,2007.

- [9] WEBER S, BOLEY B B, PALARDY N, et al. Landscape and Urban Planning[J]. Landscape and Urban Planning, 2017, 167: 147-156.
- [10] 许从宝,李青晓,田晨,等.城乡规划领域廊道相关研究述评[J].规划师,2017,33(4):5-11.
- [11] 张启翔.关于植物多样性与人居环境关系的思考[J].中国园林,2012,28(1):33-35.
- [12] 张楠,董丽,王璇,等.北京城市生态廊道草本植物组成及分布格局[J].中国园林,2018,34(6):94-99.
- [13] ABD EL-GHANI M, BORNKAMM R, EL-SAWAF N, et al. Plant Species Distribution and Spatial Habitat Heterogeneity in the Landscape of Urbanizing Desert Ecosystems in Egypt[J]. Urban Ecosystems, 2011, 14(4):585-616.
- [14] 陆庆轩.关于乡土植物定义的辨析[J].中国城市林业,2016,14(4):12-14.
- [15] 赵娟娟,欧阳志云,郑华,等.北京建成区外来植物的种类构成[J].生物多样性,2010,18(1):19-28.
- [16] 欧阳子路,吉文丽,杨梅.西安城市绿地植物多样性分析[J].西北林学院学报,2015,30(2):257-261.
- [17] 戴丽莉,孟永红,付丽华.石家庄市公园绿地植物多样性分析[J].安徽农业科学,2018,46(28):104-107.
- [18] 马杰,李欣,葛玉锦,等.基于郑州市绿道的植物物种多样性分析[J].浙江农业科学,2016,57(8):1223-1226.
- [19] 杨敏,鲁小珍,袁芳敏,等.南京市植物物种多样性现状及保护对策[J].中国城市林业,2014,12(2):25-27.
- [20] FABOS J G, RYAN R L. An Introduction to Greenway Planning around the World[J]. Landscape and Urban Planning, 2006, 76(1-4):1-6.
- [21] 师幸生.太原市城市河湖水生态环境修复与保护研究[J].中国水土保持,2009(3):32-33.
- [22] 修晨,郑华,欧阳志云.不同类型人类活动干扰对河岸带外来植物群落的影响——以北京永定河为例[J].生态学报,2016,36(15):4689-4698.
- [23] Andreu J, Vila M. Risk Analysis of Potential Invasive Plants in Spain[J]. Journal for Nature Conservation, 2010, 18(1):34-44.
- [24] 张卫华,陈超,孙寅.斑地锦(Euphorbia maculata)入侵特征、地理分布和风险评估[J].杂草学报,2017,35(1):42-47.
- [25] 黄辉宁,李思路,朱志辉,等.珠海市外来入侵植物调查[J].广东园林,2005,27(6):24-27.

### 作者简介:

(\*通信作者)崔虎亮/1986年生/男/山西长治人/博士/太原理工大学建筑学院(太原030024)/讲师/研究方向为园林景观生态与森林康养/E-mail: cuihuliang2005@126.com

高静/1969年生/女/辽宁大连人/博士/太原理工大学建筑学院(太原030024)/教授/研究方向为风景园林设计

徐强/1970年生/男/山西太原人/硕士/太原理工大学建筑学院(太原030024)/副教授/研究方向为城乡规划设计