

DOI: 10.20103/j.stxb.202205131344

刘昌, 邢韶华, 姚扬, 张红星, 王效科. 北京城区自生植物分布格局及其影响因素. 生态学报, 2024, 44(2): 544-558.

Liu C, Xing S H, Yao Y, Zhang H X, Wang X K. Spatial distribution pattern and influencing factors of spontaneous plants within the built-up areas of Beijing, China. Acta Ecologica Sinica, 2024, 44(2): 544-558.

北京城区自生植物分布格局及其影响因素

刘 昌^{1,2}, 邢韶华², 姚 扬^{1,3}, 张红星^{1,3,*}, 王效科^{1,3}

1 中国科学院生态环境研究中心, 城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085

2 北京林业大学生态与自然保护学院, 北京 100083

3 中国科学院生态环境研究中心, 北京城市生态系统研究站, 北京 100085

摘要: 了解城市自生植物的空间分布格局有助于城市植物景观的规划和管理。基于北京城区的 252 个自生植物样地调查数据, 使用指示克里金法和地理探测器模型展示了北京城区自生植物的空间分布格局并揭示其形成原因。结果显示: 北京城区共记录自生植物 173 种, 其中草本植物 144 种, 木本植物 29 种。草本和木本自生植物的空间分布格局存在显著差异, 草本自生植物多样性沿城市中心—城郊梯度增加; 木本自生植物多样性在空间上没有明显的城乡梯度, 在城区多数区域的多样性较低。人为干扰对城市生态系统的自生植物空间分布格局产生了巨大的影响, 草本自生植物主要受到距市中心距离、社会经济因素和绿地管理强度的影响, 而木本自生植物则受到距市中心距离、绿地管理强度、房价等因子交互作用的影响。研究结果有助于确定北京城区将来迫切需要保护或增强物种多样性的区域, 为北京城市绿地管理提供参考。

关键词: 城市生态系统; 自生植物; 生物多样性; 城乡梯度

Spatial distribution pattern and influencing factors of spontaneous plants within the built-up areas of Beijing, China

LIU Chang^{1,2}, XING Shaohua², YAO Yang^{1,3}, ZHANG Hongxing^{1,3,*}, WANG Xiaoke^{1,3}

1 State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Reserch Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Science, Beijing 100085, China

2 School of Ecology and Nature Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

3 Beijing Urban Ecosystem Research Station, Research center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

Abstract: Understanding the spatial distribution pattern of spontaneous plants in cities is helpful for planning and managing the urban plant landscape. To explore the distribution pattern of urban spontaneous plant diversity, we used the 5th Ring Road of Beijing as the study area in this research. A total of 252 sample sites were selected and surveyed from September to October 2020. Combined with indicator Kriging methods, the geographical detector model (GeoD), and Pearson correlation analysis, we analyzed the spatial distribution pattern and the mechanism that influenced the spontaneous plants in Beijing urban area. As the results, a total of 173 plant species were recorded, which belonged to 144 woody plants and 29 herbs. There were significant differences in the spatial distribution pattern of herbaceous and woody spontaneous plants. Herbaceous spontaneous plants had a significant urban-rural gradient, which showed that the diversity of herbaceous plants increased from the urban center to the urban suburbs. Woody spontaneous plants showed local high-density areas rather than urban-rural gradients. The distance from the city center, socio-economic variables, and the intensity of green space management were the dominant factors that affected the spatial distribution pattern of herbaceous spontaneous plants. The spatial distribution pattern of woody spontaneous plants was affected by the interaction of green space management intensity, house

基金项目: 国家科技基础资源调查专项(2021FY100703)

收稿日期: 2022-05-13; 网络出版日期: 2023-10-17

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhx973@cees.ac.cn

price, and the distance from the city center. The results help in deciding priority areas for the future to protect biodiversity and offer insights into urban green space planning and management.

Key Words: urban ecosystems; spontaneous plants; biodiversity; urban-rural gradient

长期以来,城市绿地的主要植物景观是人工草坪和园林栽培植物^[1],且投入了大量财力物力除去其中的“杂草”以维护绿地的美观,造成了城市植物种类的单一性和绿地景观的同质化,也是城市物种多样性下降的重要因素^[2]。

随着生态保护意识提高,在城市环境中可以自然生长繁殖的自生植物受到了重视^[3],自生植物在国内通常被称为“野生植物”或“杂草”,在国外常采用 Spontaneous vegetation 或 Spontaneous plant 表述^[4]。城市自生植物可以依靠自然更新建立物种更为丰富的城市近自然群落^[5],相对于人工栽培植物群落,自然植物群落具有更高的群落稳定性^[6],在城市生态系统中起重要的生态作用^[7],如增加城市生物多样性、限制外来物种入侵、调节小气候^[8]等,同时兼顾良好的观赏价值^[9-11]。在城市生态设计中,自生植物应是城市绿化的重要组成部分,但目前对于城市自生植物的研究仍较少。

城市化对植物多样性分布格局起到了显著的影响^[12]。沿城市化梯度,城市植物多样性可能呈现有规律的增加或降低^[13]。相对于自然环境,城市中自生植物生长的难度更大,除了受自然环境的影响,还受到人工修剪、游人踩踏、改变土地利用等等人为干扰的影响^[14]。了解城市植物的空间格局及其形成原因有助于城市植物多样性的保护。本研究选择北京城区的不同绿地类型建设样地,对其中的自生植物进行调查,通过指示克里金插值法展示自生植物多样性的空间分布格局,并利用地理探测器模型分析了影响自生植物空间分布的主要因素,阐述北京城区自生植物的空间分布格局及其形成原因。旨在对城市植物多样性的保护及城市绿地的管理提供科学的建议。

1 研究方法

1.1 研究地点

北京位于华北平原北部,隶属暖温带半湿润气候区,地带性植被类型主要是暖温带落叶阔叶林。年平均温度和降水量分别为 10—12℃ 和 400—500mm。北京市从内中心到外围形成了明显的环状扩张格局,具有明显的从市中心到周边地区的环形城市化趋势。研究区域为北京五环内的城区(116.202°—116.544°E, 37.757°—40.022°N),研究区域面积为 670km²。

1.2 数据来源及处理

本文采用了棋盘式随机样地布局方法^[15],首先利用 10m 分辨率的地球观测卫星 4 号 (SPOT-4) 遥感影像,将北京市五环内的区域划分成 2km×2km 的网格,在每一个网格中随机选取 1—3 个样地。按照 Guo 等^[16]的方法将城区用地划分为八种土地利用类型(表 1),根据《北京市城市园林绿化普查资料汇编,2005》公布的每种土地利用类型面积权重确定了每种土地利用类型的样地取样数^[17],最后确定了 300 个样地。

于 2020 年 8—9 月对样地进行了调查,由于疫情管控等原因,有 48 个样地无法进入,最后共调查了 252 个植物样地(图 1)。样地大小统一设为 400m²,优先选择 20m×20m 的正方形样地,如果条件不允许,则调整形状为长方形。自生植物物种参考了《北京植物志》《中国植物志》和历史文献,并根据现场实际情况划分了栽培植物和自生植物。城市中的木本植物多为人工栽植,限于调查可行性,难以确认成年植株是否为自发生长繁殖,所以只调查了样地内出现的木本自生植物幼苗幼树(基径<4cm),记录其种类、数量、高度、基径信息;由于草本植物数量较难核查,采取平均布样法在每个样方的四角和中心设置 5 个 1m×1m 的小样方,记录其中出现的草本自生植物的种类、数量、高度等基本信息。

表 1 北京城区不同土地利用类型的释义

Table 1 Definitions of eight land use types (LUTs) in urban areas of Beijing

| 土地利用类型 Land use types | 释义 Definition or interpretation | 样方数 Number |
|--------------------------|---|---------------|
| 机关事业单位 Institutional | 主要涉及到学校、研究所、老年公寓、市政府等 | 10 |
| 社区公园 Community park | 居住区内部的小型公园,提供健身设施,供周边居民使用 | 14 |
| 居住区 Residential | 包括高密度低层住宅区、公寓大楼、城中村、商业住宅混用的老城区 | 52 |
| 商业区 Commercial | 任何尺度的商业地块,包括中央商务区、商业广场、购物中心及商铺 | 13 |
| 其他公园 Other park | 除社区公园外的其他公园和游憩区域,包括公共游园、运动场地、墓地及半自然游乐区域 | 81 |
| 林地 Woodlot | 未被开发建设的小面积林地或废弃地上的绿地 | 8 |
| 道路 Roadside | 道路和停车场有关的绿地 | 49 |
| 河道 Riverside | 沿河道绿地,主要涉及到滨河绿带 | 25 |

1.3 数据计算及统计分析

1.3.1 植物多样性计算

Shannon-Wiener 多样性指数同时参考了物种丰富度和均匀度,广泛应用于物种多样性的测量。Shannon-Wiener 多样性指数的公式为:

$$H = - \sum_{i=1}^n \left(\frac{N_i}{N} \right) \ln \left(\frac{N_i}{N} \right) \quad (1)$$

式中, N_i 为第 i 个物种的个体数, N 为全部物种的个体数。

1.3.2 指示克里金插值法

克里金插值法可以对空间自相关数据进行建模,获取大范围植物多样性空间分布信息,该技术已成功应用于多种尺度物种分布和丰富度格局的研究^[18-19]。线性克里金法要求数据正态分布,但植物数据中的木本自生植物多样性较低,包含有较多 0 值,总体呈非正态分布,使用线性克里金法不稳健,所以本文选择了不要求数据正态分布的指示克里金法^[20-21]。

指示克里金法使用阈值 Z 来创建二进制数据(0 或 1,也称为指示值),本文选择了平均值作为阈值。

$$i = (Z; X) = \begin{cases} 1, Z(x) \leq Z \\ 0, Z(x) > Z \end{cases} \quad (2)$$

这时待估点 X 的指示函数估计值 $I \times (X; Z)$ 可以表示为:

$$I \times (X; Z) = P \{ Z(X) \leq Z \mid Z(X_\alpha) = Z_\alpha, \alpha = 1, 2, \dots, n \} \quad (3)$$

然后使用指示半变异函数 $\gamma(h)$ 模型建立数据的空间关系,得到概率空间分布图:

$$\gamma(h) = \frac{1}{N(h)} \sum_{\alpha=1}^{N(h)} [I(X_\alpha; Z) - I(X_{\alpha+h}; Z)]^2 \quad (4)$$

$N(h)$ 表示分隔距离为 h 的样本对的数量。指示克里金法的结果可以解释为超过阈值的概率,虽然不是精确的多样性分布,但其数值的高低可以表示城市自生植物多样性在空间上的分布格局和变化趋势。

采用交叉验证的方式验证插值精度,通过平均误差 (ME) 和均方根误差 (RMSE) 评价的预测精度。平均误差和均方根误差越小,则克里金模型的精度越高。

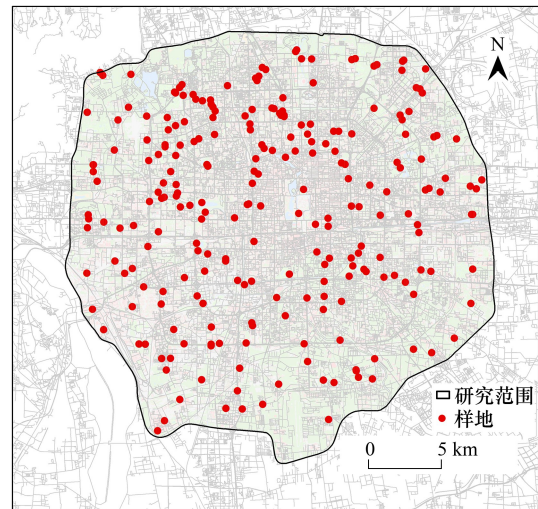


图 1 研究区域及样地分布

Fig.1 The study area and the sample distribution

1.3.3 热点分析

在绘制自生植物空间分布格局图后,使用 ArcGIS 中的热点分析 (Getis-Ord G_i^*) 工具可以得到北京城区自生植物多样性的高值或低值集聚区域。热点为植物多样性较高的区域,冷点与之相反。计算公式如下:

$$G_i^* = \frac{\sum_j^n W_{ij} x_j}{\sum_j^i x_j} \quad (5)$$

$$Z(G_i^*) = \frac{G_i^* - E(G_i^*)}{\sqrt{\text{VAR}(G_i^*)}} \quad (6)$$

G_i^* 为空间集聚系数, W_{ij} 为距离定义的空间权重; $E(G_i^*)$ 和 $\text{VAR}(G_i^*)$ 为 G_i^* 的期望和方差。 $Z(G_i^*)$ 用于确定 G_i^* 是否显著,置信区间分别为 90%、95% 和 99%。如果 $Z(G_i^*)$ 为正且显著,则表明该位置的值高于均值,属高值空间集聚的热点区。如果 $Z(G_i^*)$ 为负且显著,则表明该位置的值低于均值,属高值空间集聚的冷点区^[22]。

1.3.4 驱动因子数据

参考前人研究,本文使用了距离市中心距离、距城市水源距离、绿地斑块大小、景观多样性、绿地管护强度、房价、人口密度、建成时间和温度 9 个解释变量探索北京城区自生植物多样性空间格局的形成原因。这些因素在过去都被证明对城市植物多样性具有显著的影响^[23-26]。

本文选择格网作为基本研究单元^[27],将北京城区划分为 $0.25\text{km} \times 0.25\text{km}$ 的网格,去除边缘面积不足 1/2 的网格后,共划分 10480 个网格。由于地理探测器模型只能处理分类变量,所以将所有变量通过 ArcGIS 的自然间断点分级法划分为 5 类空间分区。

距市中心距离:城乡梯度是研究城市植物多样性格局最为广泛的研究方法,生物多样性沿城乡梯度会发生规律的增减趋势^[28]。将天安门 ($39^\circ 54' 26.37''\text{N}$, $116^\circ 23' 29.22''\text{E}$) 视为城市中心,利用 ArcGIS 的邻域分析计算每个网格中心到城市中心的距离(图 2)。

社会经济因素:房屋价格可以代表当地的经济状况,城市建成时间可能与植物群落演替时间有关^[29],这些都被证明是影响植物多样性的重要因素^[15]。使用 Python 爬虫获取了 2023 年 1 月北京五环内 5262 个居民区的二手房价和建成期信息,分别表示当地的经济水平和发展时间,数据来源于房屋信息网站 (<http://beijing.anjuke.com>)。使用 ArcGIS 10.2 的插值法得到了房屋价格和建成时间的空间分布图(图 2)。

绿地管理强度:人类对城市绿地的管理会直接影响城市植物的多样性^[30],特别是降低了其中的自生植物多样性^[31]。本文选择了绿地的修剪频率作为管理强度的指标,在调查中咨询了样地所在地的社区管理处和管护工人,询问了绿地修剪除草的间隔时间(15 天,45 天,90 天,120 天以上)以确定绿地管理强度等级。对于有些无法找到负责人员,长满杂草,没有修剪除草痕迹的绿地,将其定为最低管理等级。将管理等级赋值后,通过 ArcGIS 中的插法得到了绿地管理强度的空间分布格局,数值越小代表管理强度越低,1—5 级在图中分别对应低、较低、中等、较高和频繁(图 2)。

人口密度:人口密度数据使用了 WorldPop 2020 年人口估计数据,已有学者在国内多个地区验证了其精确度较高^[32-34]。该数据集基于官方的人口普查数据,结合夜间灯光数据、土地利用数据、地形等空间辅助数据,通过随机森林回归映射方法,实现了全球人口空间化。原始数据的空间分辨率为 $100\text{m} \times 100\text{m}$,为了与其他指标的分辨率对应,利用 ArcGIS 10.2 的聚合功能(聚合技术选择 SUM)重新统计为 $250\text{m} \times 250\text{m}$ 的人口密度(图 2)。

景观格局:城市植物多样性受到景观格局的显著影响^[35],包括斑块大小、斑块密度、景观连通性等^[32]。景观格局可以通过计算景观格局指数的方式进行量化,反映景观的结构组成。本文选取了绿地斑块大小和景

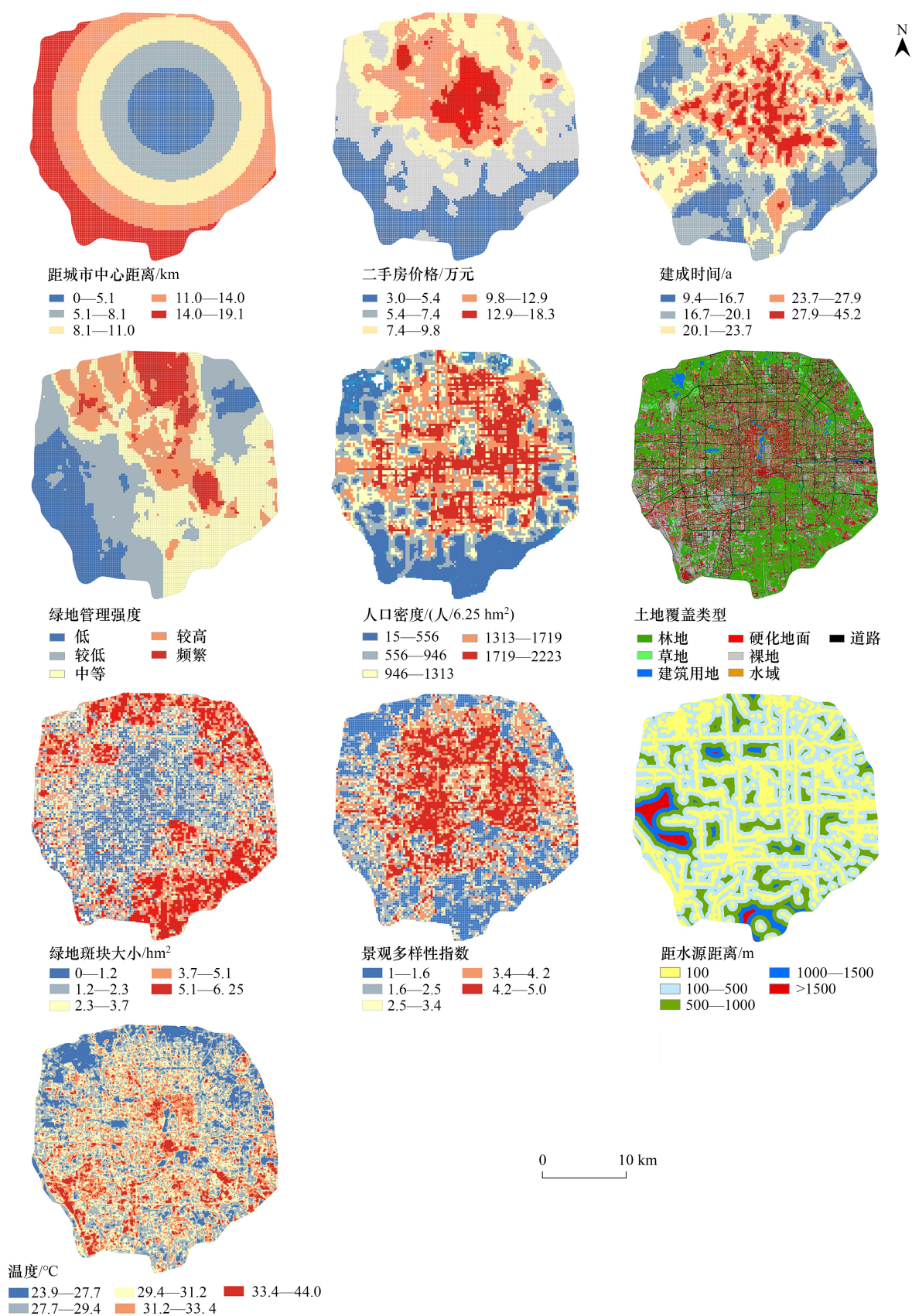


图2 驱动因子的空间分布

Fig.2 Distribution of influencing factors

观 Shannon 多样性指数作为景观格局的指标^[36]。首先基于 2020 年空间分辨率 4m 的高分一号卫星遥感数据,利用 ENVI 5.3 的监督分类将北京城区的土地覆盖类型分为了林地、草地、水域、建筑用地、硬化地面、裸地和道路 7 类(图 2)。绿地斑块大小是以每个网格作为基础单元,选择土地覆盖类型中的林地和草地作为绿地斑块,利用 ArcGIS 10.2 的分区功能统计每个网格内的绿地斑块数量和面积,导出为 Excel 计算每个网格内的绿地斑块平均面积,并在 ArcGIS 10.2 中作图。景观香农多样性指数是使用 Fragstats 4.2 软件的移动窗口法计算,窗口大小选择 250m,然后将计算结果导回 ArcGIS 10.2 中,统计每个网格的香农多样性指数(图 2)。

距城市水源距离:城市中的植物可能不会直接获取附近水源地的水分,但是城市水源可能会影响动物分布,特别鸟类可以远距离传播植物果实,从而影响其活动区域的植物多样性^[37-38]。本文选择了 5 个梯度(<100m, 100—500m, 500—1000m, 1000—1500m, >1500m)对遥感解译得到的水体数据做缓冲区,得到了距城市水源距离指标。限于遥感影像的分辨率,水体最小面积为 10m²(图 2)。

温度:本文选择温度作为影响植物多样性的自然因素,遥感影像选择 2020 年 9 月 20 日的 Landsat 8 数据,利用大气校正法反演得到了北京城区的地表温度^[39],空间分辨率为 30m,为了与其他指标的分辨率对应,利用 ArcGIS 10.2 的聚合功能(聚合技术选择 MEAN)将其重新统计为 250m×250m 的地表温度(图 2)。

1.3.5 影响因素分析

地理探测器模型可以检测多种要素对因变量空间分布的驱动力,主要由因子探测器、交互作用探测器、生态探测器和风险区探测器组成^[40]。为探索影响草本和木本植物空间分布格局的主导因素,本文将草本和木本自生植物多样性作为因变量,以 9 个城市驱动因子作为自变量,选用地理探测器中的“因子探测器”和“交互作用探测器”分析各驱动因子及其交互作用对自生植物空间分布格局的解释度。

因子探测是分析某因子 X 对属性 Y 的解释度,结果用 q 值表示,表达式为:

$$q = 1 - \frac{\sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2}{N \sigma^2} \quad (7)$$

式中, $h=1, \dots, L$ 为因子 X 的分类; N_h 和 N 分别为层 h 和全区的单元数; σ_h^2 和 σ^2 分别是层 h 和全区 Y 值的方差。 q 的值域为 $[0, 1]$, 值越大说明自变量 X 对属性 Y 的解释力越强。通过比较各因素 q 值的大小,定量分析影响植物多样性空间分布的主导因素^[40]。

交互作用探测器用于探测不同因子的交互作用对因变量的影响,即评估任意两个因子同时作用时相对于单因子的影响是增强、减弱或是相互独立。可以分为非线性减弱、单因子非线性减弱、双因子增强、独立和非线性增强 5 种关系^[40]。

地理探测器模型可以得到空间变异的主导因素,但无法反应自生植物多样性与驱动因素的线性关系。所以在地理探测器模型基础上,还使用了回归分析,将植物多样性与地理探测器模型结果中有较高 q 值的驱动因素做相关性分析。

样方整理及数据计算运用 R 的 vegan 包和 spaa 包进行;指示克里金插值使用 ArcGIS 10.2 的 Geostatistical Analyst 模块实现;地理探测器使用 Excel 编制的地理探测器软件完成。

2 结果

2.1 自生植物物种组成

本次调查共记录 173 种自生植物,其中草本植物 144 种,隶属于 44 科,122 属(附表 I)。城市中出现频率最高的 10 种草本自生植物为狗尾草 (*Setaria viridis*)、马唐 (*Digitaria sanguinalis*)、酢浆草 (*Oxalis corniculata*)、抱茎苦苣菜 (*Crepidiastrum sonchifolium*)、早开堇菜 (*Viola prionantha*)、牛筋草 (*Eleusine indica*)、茜草 (*Rubia cordifolia*)、铁苋菜 (*Acalypha australis*)、萝藦 (*Metaplexis japonica*) 和附地菜 (*Trigonotis peduncularis*)。在科属组成上,禾本科 (Poaceae) (23.6%) 和菊科 (Asteraceae) (11.8%) 两科的物种数显著高于其他科,共占

到了 1/3 以上,其次是莎草科(4.1%)和唇形科(3.4%)。

木本自生植物共 29 种,隶属于 18 科,25 属(表 2)。出现频率最高的 10 种为构树(*Broussonetia papyrifera*)、臭椿(*Ailanthus altissima*)、桑(*Morus alba*)、侧柏(*Platycladus orientalis*)、刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、榆树(*Ulmus pumila*)、栎树(*Koelreuteria paniculata*)、元宝枫(*Acer truncatum*)、国槐(*Styphnolobium japonicum*)和洋白蜡(*Fraxinus pennsylvanica*)。

表 2 北京城市木本自生植物调研名录

Table 2 Plant list of spontaneous woody plants in the built-up areas of Beijing, China

| 种名 Species | 科 Family | 属 Genus | 种名 Species | 科 Family | 属 Genus |
|---|----------|---------|---|----------|---------|
| 构 <i>Broussonetia papyrifera</i> | 桑科 | 构属 | 圆柏 <i>Juniperus chinensis</i> | 柏科 | 刺柏属 |
| 臭椿 <i>Ailanthus altissima</i> | 苦木科 | 臭椿属 | 石榴 <i>Punica granatum</i> | 千屈菜科 | 石榴属 |
| 桑 <i>Morus alba</i> | 桑科 | 桑属 | 香椿 <i>Toona sinensis</i> | 楝科 | 香椿属 |
| 侧柏 <i>Platycladus orientalis</i> | 柏科 | 侧柏属 | 花椒 <i>Zanthoxylum bungeanum</i> | 芸香科 | 花椒属 |
| 刺槐 <i>Robinia pseudoacacia</i> | 豆科 | 刺槐属 | 白杜 <i>Euonymus maackii</i> | 卫矛科 | 卫矛属 |
| 榆 <i>Ulmus pumila</i> | 榆科 | 榆属 | 垂柳 <i>Salix babylonica</i> | 杨柳科 | 柳属 |
| 栎树 <i>Koelreuteria paniculata</i> | 无患子科 | 栎树属 | 大叶白蜡 <i>Fraxinus rhynchophylla</i> | 木犀科 | 栲属 |
| 元宝枫 <i>Acer truncatum</i> | 槭树科 | 槭属 | 银杏 <i>Ginkgo biloba</i> | 银杏科 | 银杏属 |
| 国槐 <i>Styphnolobium japonicum</i> | 豆科 | 槐属 | 新疆杨 <i>Populus alba</i> var. <i>pyramidalis</i> | 杨柳科 | 杨属 |
| 洋白蜡 <i>Fraxinus pennsylvanica</i> | 木犀科 | 栲属 | 小叶朴 <i>Celtis bungeana</i> | 榆科 | 朴属 |
| 毛白杨 <i>Populus tomentosa</i> | 杨柳科 | 杨属 | 碧桃 <i>Prunus persica</i> 'Duplex' | 蔷薇科 | 桃属 |
| 山楂 <i>Crataegus pinnatifida</i> | 蔷薇科 | 山楂属 | 梧桐 <i>Firmiana simplex</i> | 梧桐科 | 梧桐属 |
| 黑枣 <i>Diospyros lotus</i> | 柿科 | 柿属 | 火炬树 <i>Rhus typhina</i> | 漆树科 | 盐肤木属 |
| 五叶地锦 <i>Parthenocissus quinquefolia</i> | 葡萄科 | 地锦属 | 合欢 <i>Albizia julibrissin</i> | 豆科 | 合欢属 |
| 柿树 <i>Diospyros kaki</i> | 柿科 | 柿属 | | | |

草本自生植物在研究区域的多样性平均为 1.41,草本自生植物在林地和河道的多样性最高,在城市商业区最低。城市中的木本自生植物多样性远低于草本植物,平均为 0.22,其多样性在机关事业单位中最高,在城市商业区中最低(图 3)。

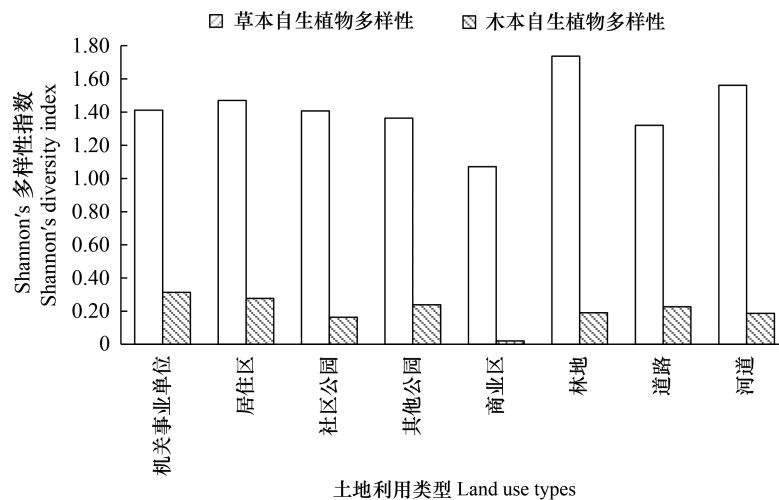


图 3 不同土地利用类型样地的自生植物多样性

Fig.3 Diversity of spontaneous plants in different types of green spaces

2.2 北京城区自生植物空间分布格局

使用指示克里金插值的方式可以展示植物多样性的空间分布,草本和木本自生植物多样性插值结果的预测精度较高,平均误差分别为 0.002 和 0.004,均方根误差分别为 0.421 和 0.479。从结果可以看出草本和木本自生植物的空间格局存在明显差异(图 4—5),草本自生植物在研究区域的多样性从城市中心到边缘呈递增的趋势(图 6),草本自生植物多样性的热点区主要分布在四环至五环内的西部、西南部和东北部,冷点区域主要位于二环内、二环与四环的西北和东北部(图 4)。

木本自生植物在多数区域的多样性都较低(图 3),在整个研究区域呈东高西低的空间格局(图 5),但没有明显的城乡梯度(图 6)。

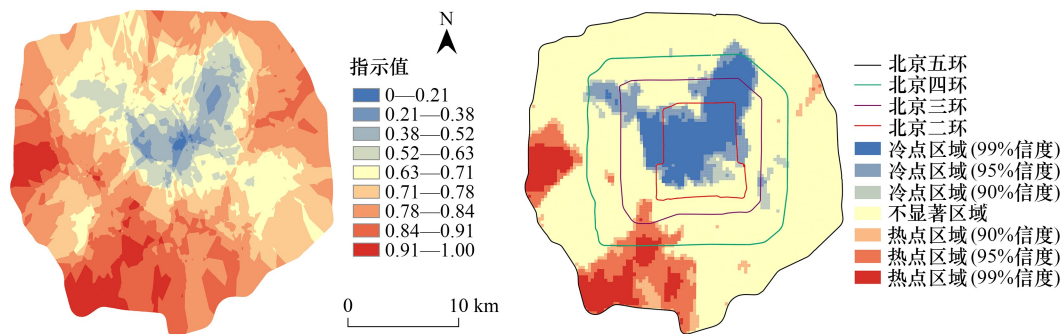


图 4 草本自生植物指示克里金指示值空间分布格局及热点图

Fig.4 The spatial distribution pattern of spontaneous herbaceous plants and its high or low value cluster area

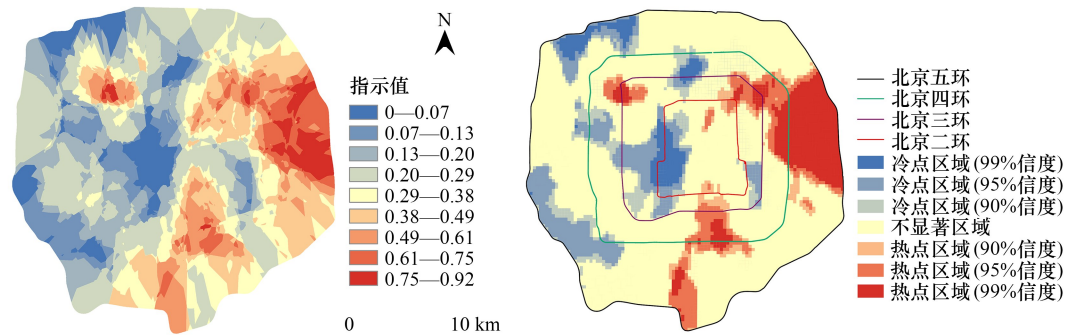


图 5 木本自生植物指示克里金指示值空间分布格局及热点图

Fig.5 The spatial distribution pattern of spontaneous woody plants and its high or low value cluster area

2.3 城市自生植物多样性的影响因素分析

2.3.1 北京城区自生植物空间分布格局的驱动因素

因子探测器结果表明,草本和木本自生植物空间分布格局的驱动因素存在差异(表 3)。对于草本植物,各因子的 q 统计量由大到小排序依次为:房价(0.486)>绿地管理强度(0.364)>距市中心距离(0.29)>建成时间(0.257)>景观多样性指数(0.097)>绿地斑块大小(0.03)>人口密度(0.021)>温度(0.008)。可以看到草本自生植物空间分布格局受多种因子的共同作用,房价($q=0.486$)、绿地管理强度($q=0.364$)和距城市中心距离($q=0.29$)是草本自生植物空间分布格局的主要影响因子。

各因子对于木本自生植物空间分布格局的解释力较弱,单一因素不能很好解释木本自生植物的空间分布。

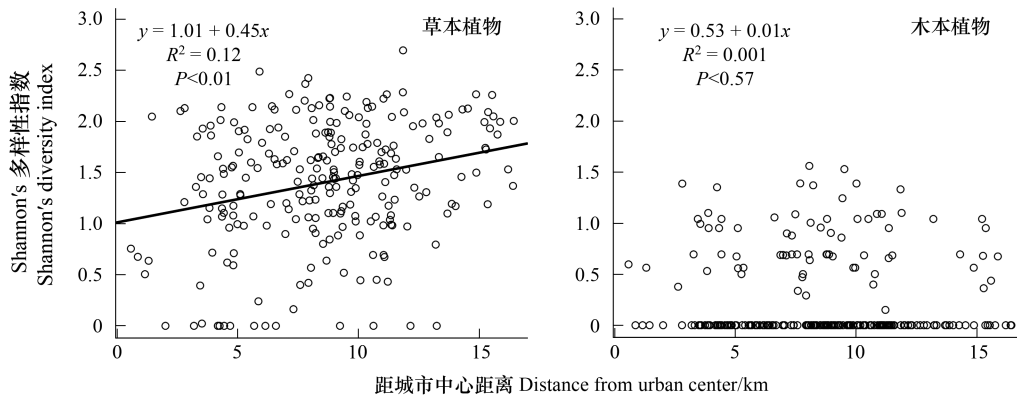


图 6 草本和木本自生植物多样性与距市中心距离回归分析

Fig.6 Relationship of the diversity of spontaneous herbaceous and woody plants with the distance from urban center

表 3 影响因子对自生植物空间分布格局的解释力(q 值)

Table 3 The q values of the influencing factors of spatial distribution pattern of spontaneous plants

| 统计项 Statistical items | DFC | HP | PD | CA | IGM | SHDI | SGLP | T | DFW |
|---|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|----------|----------|--------|
| 草本自生植物 Spontaneous herbaceous plants | 0.29 ** | 0.486 ** | 0.021 ** | 0.257 ** | 0.364 ** | 0.097 ** | 0.03 ** | 0.008 ** | 0.002 |
| 木本自生植物 Spontaneous woody plants | 0.054 ** | 0.019 ** | 0.001 | 0.0281 ** | 0.12 ** | 0.004 ** | 0.043 ** | 0.005 ** | 0.0004 |

** $P < 0.01$; DFC: 距市中心距离 Distance from urban center; HP: 房价 House price; PD: 人口密度 Population density; CA: 建成时间 Construction age; IGM: 绿地管理强度 Intensity of greenbelt management; SHDI: 香农多样性指数 Shannon's diversity index; SGLP 绿地斑块大小 Size of green land patches; T: 温度 Temperature; DFW: 距水源距离 Distance from water

2.3.2 不同驱动因素的交互作用对自生植物空间分布格局的影响

交互作用模型结果显示双因子的交互作用后对北京城区自生植物空间分布格局的影响具有显著增强效果。对于草本自生植物,任意两个影响因子交互作用后对草本自生植物空间分布格局的解释度高于单个影响因子(表 4)。其中绿地管理强度∩房价(0.61)和距城市中心距离∩房价(0.57)对草本自生植物空间格局有最强的解释力,而距城市中心距离、房价、绿地管理强度与其他因子交互作用下对草本自生植物空间格局的影响也显著增加。

表 4 因子交互作用对草本自生植物空间分布的解释力

Table 4 Explanatory power of factor interactions on the spatial distribution of spontaneous herbaceous plants

| 驱动因子 Driving factors | DFC | HP | PD | CA | IGM | SHDI | SGLP | T | DFW |
|-------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|------|
| DFC | 0.29 | | | | | | | | |
| HP | 0.57 ** | 0.49 | | | | | | | |
| PD | 0.30 ** | 0.49 ** | 0.02 | | | | | | |
| CA | 0.43 ** | 0.53 ** | 0.27 ** | 0.26 | | | | | |
| IGM | 0.55 ** | 0.61 ** | 0.37 ** | 0.43 ** | 0.36 | | | | |
| SHDI | 0.32 ** | 0.50 ** | 0.11 ** | 0.30 ** | 0.43 ** | 0.10 | | | |
| SGLP | 0.32 ** | 0.50 ** | 0.05 ** | 0.31 ** | 0.53 ** | 0.11 ** | 0.26 | | |
| T | 0.30 * | 0.50 * | 0.03 ** | 0.27 * | 0.39 * | 0.11 * | 0.05 * | 0.01 | |
| DFW | 0.29 ** | 0.49 ** | 0.03 | 0.26 * | 0.36 * | 0.10 ** | 0.04 ** | 0.01 ** | 0.00 |

* 为非线性增强; ** 为双因子增强

对于木本自生植物,双因子交互作用对木本自生植物空间分布格局的作用大多为非线性增强,即交互作

用的解释度大于双因子相加(表 5),其中因子交互作用解释力最强的是距城市中心距离 \cap 绿地管理强度(0.25)、绿地斑块大小 \cap 绿地管理强度(0.25)和房价 \cap 绿地管理强度(0.21)。当双因子交互后,其他因子对木本自生植物空间格局的解释度均显著提高,木本自生植物的空间格局主要受到多因子的共同作用。

表 5 因子交互作用对木本自生植物空间分布的解释力

Table 5 Explanatory power of factor interactions on the spatial distribution of spontaneous woody plants

| 驱动因子 Driving factors | DFC | HP | PD | CA | IGM | SHDI | SGLP | T | DFW |
|-------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| DFC | 0.05 | | | | | | | | |
| HP | 0.10* | 0.02 | | | | | | | |
| PD | 0.06* | 0.02* | 0.00 | | | | | | |
| CA | 0.09* | 0.07* | 0.03* | 0.03 | | | | | |
| IGM | 0.25* | 0.21* | 0.12* | 0.15* | 0.12 | | | | |
| SHDI | 0.09* | 0.04* | 0.01* | 0.03* | 0.14* | 0.00 | | | |
| SGLP | 0.06** | 0.09* | 0.05* | 0.09* | 0.25* | 0.07* | 0.04 | | |
| T | 0.10* | 0.04* | 0.01* | 0.04* | 0.14* | 0.02* | 0.08* | 0.01 | |
| DFW | 0.06* | 0.02* | 0.01* | 0.03* | 0.12* | 0.01* | 0.04* | 0.01* | 0.01 |

2.3.3 北京城区草本自生植物多样性与驱动因子的线性回归

草本植物多样性与地理探测器模型结果中 q 值较高因子的回归分析显示,草本自生植物与房价、建成时间和绿地管理强度均为显著负相关关系(图 7)。

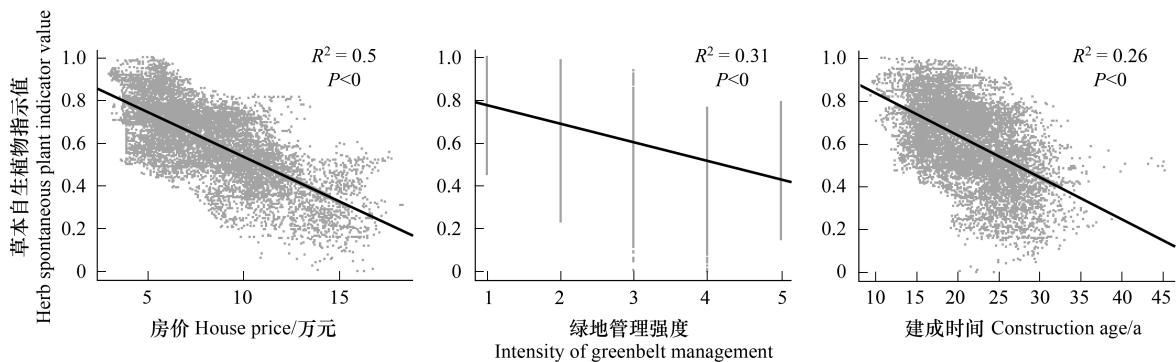


图 7 草本自生植物多样性与影响因子的相关性

Fig.7 Correlation between spontaneous herbaceous plants and influencing factors

3 讨论

3.1 草本自生植物空间分布格局

草本自生植物多样性与城市化发展紧密相关,从城市中心到城郊,草本自生植物多样性沿城乡梯度表现出递增趋势(图 6)。随城市化程度加深,当地自然的生态系统被破坏,本土的自生植物被外来观赏植物为主的都市人工绿地所取代^[41],直接导致了城市自生植物多样性的降低。另一方面,城乡梯度与其他因子的交互作用(表 4)对草本自生植物的多样性造成间接影响,改变了草本植物空间分布格局。

3.2 木本自生植物空间分布格局

在北京城区多数区域的木本自生植物多样性较低(图 3),与草本自生植物不同,木本自生植物的生长周期更长,需要更长时间才能完成繁殖和自发生长,即便是绿地修剪频率较低的城市郊区,对木本植物幼苗而言仍然过于频繁,林下可以自发生长的木本植物种类较少^[42],调查中发现的木本自生植物多为臭椿、洋白蜡、构

树、刺槐等种子数量多且生长速度快的速生树种(表2)。

不同土地利用类型样地中的自生植物多样性存在显著差异,其中商业区的草本和木本自生植物多样性均最低(图3),商业区更好的维护着城市园林植物景观,引入了丰富的园林栽培草坪植物,增加了自生植物的竞争压力;同时高频率修剪草坪,除去其中的杂草,都是造成自生植物多样性下降的重要因素。

3.3 自生植物空间分布格局对驱动因素的响应

社会经济因素是影响草本自生植物空间格局的最重要因素,房价(表3, $q=0.486$)、绿地管理强度($q=0.364$)和建成时间($q=0.257$)最大程度的改变了北京城区的草本自生植物空间格局。已有许多研究证明了城市植物多样性与城市地区的社会经济、人口、教育等因素之间的联系,即社会财富显著提高了当地的植物多样性,被称为“奢侈效应”^[15]。本文结果与“奢侈效应”相反(图7),这可能因为前人研究对象多为城市中所有的植物物种^[43],但对于城市中的自生植物而言,高收入地区可以投入更高的管理资金去频繁地修剪绿地以维持整齐划一的城市植物景观,绿地中的自生植物会被当作杂草重点清除^[29],这严重威胁城市自生植物生存。

城市建成时间是城市植物群落物种丰富度和分布格局的重要预测因素^[44-45]，“遗产效应”认为老旧城区会继承过去的植物景观从而有更高的植物多样性。本文与“遗产效应”的结果也相反^[46],随城市建成时间的增加,草本自生植物多样性明显降低(图7)。这可能因为在旧城区,栽培植物被引入时间更长,增加了自生植物的竞争压力;旧城区也有更多的绿地被变更为建设用地,比如增加停车位、健身娱乐设施等,造成绿地斑块面积减少;同时,旧城区的绿地管理措施也更加完善,这些因素都挤压了草本自生植物生存空间。此外,绿地管护强度对自生植物种类也产生了显著影响^[45],本次调查发现在城市中心区域多为生长速度快的一二年生草本,如狗尾草、马唐、酢酱草、附地菜等才能在频繁的修剪中生长繁殖^[47]。而随着修剪频率降低,一些菊科、蒿属、藜科、伞形科等科属的高大草本开始在城郊出现,并显著增加了这些区域的草本自生植物多样性。

单个因子对木本自生植物空间分布格局的解释力较低(表3),但双因子交互作用后,解释力显著增加(表5),双因子交互作用对自生植物分布的解释力普遍高于单一因子。其中距城市中心距离 \cap 绿地管理强度(0.25)、绿地斑块大小 \cap 绿地管理强度(0.25)和房价 \cap 绿地管理强度(0.21)的解释力最高,这意味着据城市中心距离、房价和绿地管理强度对木本自生植物的影响需要在满足其他条件的情况下才能体现,单一因子对其影响有限。例如,通常认为植物多样性随斑块面积增大而增加^[48],但在本文结果中绿地斑块大小对自生植物的解释力较低(草本自生植物: $q=0.03$;木本自生植物: $q=0.04$),这可能因为在北京城区,绿地斑块在西北和北部的颐和园、圆明园、奥森,以及东南的郊野公园最为完整(图2),但这些大型公园有充足的资金进行绿地管理,又显著降低了其中的自生植物多样性,最终导致了自生植物在景观梯度上没有明显的趋势。但是,将绿地斑块与绿地管理强度交互后,解释力显著增加(草本自生植物: $q=0.41$;木本自生植物: $q=0.21$)。

以上都说明自生植物在城市中受到多种因子的共同作用^[49],在城市建设中,社会经济、绿地管理、景观格局等因子变化复杂,促进和抑制作用可能同一区域中并存,导致了单一要素不能很好的解释植物的空间分布格局。多因子的交互作用对自生植物的解释力普遍高于单个因子,在今后城市植物多样性的研究中,应该增加对多种因子交互作用的关注。

由于是使用的模拟方法,研究结果可能无法精准的显示每个区域的自生植物多样性及环境变量数值^[19],但可以在大尺度上直观地展示城市自生植物与各变量的空间分布格局及空间关联性,有助于寻找迫切需要保护或增强物种多样性的区域,并采取针对性保护措施。

4 结论

本文基于大量实地调查数据,利用指示克里金插值法展示了北京城区的草本和木本自生植物空间分布格局,并使用地理探测器分析揭示其形成的主要因素。研究表明:

(1) 草本和木本自生植物多样性的空间格局存在显著差异。草本植物呈现出明显的城乡梯度变化,其多

样性沿城市中心到郊区的梯度而显著增加;木本自生植物在空间上没有明显的城乡梯度,在城区多数区域的多样性较低。

(2) 人为干扰对城市生态系统的自生植物空间分布格局产生巨大的影响,草本自生植物主要受到距市中心距离、社会经济因素和绿地管护强度的影响;而木本自生植物则受到距城市中心距离、绿地管理强度、房价等因子交互作用的影响。高强度的人类活动会直接或间接导致城市自生植物多样性的丧失,合理的城市绿地管理并降低人为干扰是保护城市自生植物多样性的关键。

参考文献(References):

- [1] McKinney M L. Effects of urbanization on species richness: a review of plants and animals. *Urban Ecosystems*, 2008, 11(2): 161-176.
- [2] Gregor T, Bönsel D, Starke-Ottich I, Zizka G. Drivers of floristic change in large cities—A case study of Frankfurt/Main (Germany). *Landscape and Urban Planning*, 2012, 104(2): 230-237.
- [3] 王阔. 北京城市化环境下自生草本植物现状及园林应用研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2014.
- [4] Knapp S, Dinsmore L, Fissore C, Hobbie S E, Jakobsdottir I, Kattge J, King J Y, Klotz S, McFadden J P, Cavender-Bares J. Phylogenetic and functional characteristics of household yard floras and their changes along an urbanization gradient. *Ecology*, 2012, 93(sp8): S83-S98.
- [5] 杨佳楠, 李兰兰, 李馨, 李洪远, 祁永, 王彬彬. 城市绿地中硬质铺装对臭椿天然更新的影响. *水土保持通报*, 2015, 35(5): 164-168.
- [6] Robinson L, Newell J P, Marzluff J M. Twenty-five years of sprawl in the Seattle region: growth management responses and implications for conservation. *Landscape and Urban Planning*, 2005, 71(1): 51-72.
- [7] Pickett S T A, Cadenasso M L, Grove J M, Groffman P M, Band L E, Boone C G, Burch W R, Grimmond C S B, Hom J, Jenkins J C, Law N L, Nilon C H, Pouyat R V, Szlavecz K, Warren P S, Wilson M A. Beyond urban legends: an emerging framework of urban ecology, as illustrated by the Baltimore ecosystem study. *BioScience*, 2008, 58(2): 139-150.
- [8] 陈旭, 李霖, 王江. 城市绿地对热岛效应的缓解作用研究——以台州市为例. *生态环境学报*, 2015, 24(4): 643-649.
- [9] 王业社, 陈立军, 杨贤均, 段林东. 湖南新宁野生地被植物资源的调查与分析. *草地学报*, 2015, 23(5): 990-996.
- [10] Clark N E, Lovell R, Wheeler B W, Higgins S L, Depledge M H, Norris K. Biodiversity, cultural pathways, and human health: a framework. *Trends in Ecology & Evolution*, 2014, 29(4): 198-204.
- [11] Beninde J, Veith M, Hochkirch A. Biodiversity in cities needs space: a meta-analysis of factors determining intra-urban biodiversity variation. *Ecology Letters*, 2015, 18(6): 581-592.
- [12] Cervelli E W, Lundholm J T, Du X. Spontaneous urban vegetation and habitat heterogeneity in Xi'an, China. *Landscape and Urban Planning*, 2013, 120: 25-33.
- [13] Kostel-Hughes F, Young T P, Carreiro M M. Forest leaf litter quantity and seedling occurrence along an urban-rural gradient. *Urban Ecosystems*, 1998, 2(4): 263-278.
- [14] 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. *Landscape Ecology*, 2008, 23(10): 1143-1155.
- [15] Hope D, Gries C, Zhu W X, Fagan W F, Redman C L, Grimm N B, Nelson A L, Martin C, Kinzig A. Socioeconomics drive urban plant diversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2003, 100(15): 8788-8792.
- [16] Guo P P, Su Y B, Wan W X, Liu W W, Zhang H X, Sun X, Ouyang Z Y, Wang X K. Urban plant diversity in relation to land use types in built-up areas of Beijing. *Chinese Geographical Science*, 2018, 28(1): 100-110.
- [17] 北京市园林局. 北京市城市园林绿化普查资料汇编 2005. 北京: 北京出版社, 2006: 34-40.
- [18] 李晓明, 吕林玲, 胡喜生, 曹荣青, 吴承祯, 侯纯扬. 基于 GIS 的浙江海岛木本植物物种丰富度预测. *四川农业大学学报*, 2019, 37(4): 511-516.
- [19] Li X T, Jia B Q, Zhang W, Ma J, Liu X P. Woody plant diversity spatial patterns and the effects of urbanization in Beijing, China. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2020, 56: 126873.
- [20] 杨奇勇, 杨劲松, 余世鹏. 禹城市耕地土壤盐分与有机质的指示克里格分析. *生态学报*, 2011, 31(8): 2196-2202.
- [21] 梁双华, 汪云甲, 周跃进. 基于指示克里格法的复杂岩溶塌陷区空间分布特征研究. *测绘科学*, 2011, 36(3): 88-90.
- [22] 彭建, 刘志聪, 刘焱序, 陈昕, 赵会娟. 京津冀地区县域耕地景观多功能性评价. *生态学报*, 2016, 36(8): 2274-2285.
- [23] McKinney M L. Correlated non-native species richness of birds, mammals, herptiles and plants: scale effects of area, human population and native plants. *Biological Invasions*, 2006, 8(3): 415-425.
- [24] Godefroid S, Koedam N. Urban plant species patterns are highly driven by density and function of built-up areas. *Landscape Ecology*, 2007, 22

- (8): 1227-1239.
- [25] Huang D C, Su Z M, Zhang R Z, Koh L P. Degree of urbanization influences the persistence of *Dorytomus* weevils (Coleoptera: Curculionidae) in Beijing, China. *Landscape and Urban Planning*, 2010, 96(3): 163-171.
- [26] Sandström U G, Angelstam P, Mikusiński G. Ecological diversity of birds in relation to the structure of urban green space. *Landscape and Urban Planning*, 2006, 77(1/2): 39-53.
- [27] 周维, 刘国华, 段兴武, 苏旭坤. 滇金丝猴分布区森林面积变化的时空特征及其影响因素. *生态学报*, 2022, 42(2): 791-803.
- [28] 毛齐正, 马克明, 邬建国, 唐荣莉, 张育新, 罗上华, 宝乐, 蔡小虎. 城市生物多样性分布格局研究进展. *生态学报*, 2013, 33(4): 1051-1064.
- [29] Cheng X L, Padullés Cubino J, Balfour K, Zhu Z X, Wang H F. Drivers of spontaneous and cultivated species diversity in the tropical city of Zhanjiang, China. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2022, 67: 127428.
- [30] Chollet S, Brabant C, Tessier S, Jung V. From urban lawns to urban meadows: reduction of mowing frequency increases plant taxonomic, functional and phylogenetic diversity. *Landscape and Urban Planning*, 2018, 180: 121-124.
- [31] Hall R, Penke N, Kriechbaum M, Kratschmer S, Jung V, Chollet S, Guernion M, Nicolai A, Burel F, Fertil A, Lora Á, Sánchez-Cuesta R, Guzmán G, Gomez J A, Popescu D, Hoble A, Bunea C, Zaller J, Winter S. Vegetation management intensity and landscape diversity alter plant species richness, functional traits and community composition across European vineyards. *Agricultural Systems*, 2020, 177.
- [32] 肖东升, 王宁, 刘志成. 干旱地区“代表性人口格网数据集”精度研究——以甘宁青地区为例. *干旱区地理*, 2023, 46(3): 505-514.
- [33] 林丹淳, 谭敏, 刘凯, 柳林, 朱远辉. 代表性人口空间分布数据集的精度评价——以 2010 年广东省为例. *热带地理*, 2020, 40(2): 346-356.
- [34] 杜培培, 侯西勇. 基于多源数据的中国海岸带地区人口空间化模拟. *地球信息科学学报*, 2020, 22(2): 207-217.
- [35] 李明娟, 赵娟娟, 江南, 潘妮, 张曼琳, 束承继. 深圳近海公园植物群落结构特征及其与景观格局的相关性. *生态学报*, 2021, 41(22): 8732-8745.
- [36] 李祖政. 徐州城市绿地植物多样性对景观格局的响应研究[D]. 徐州: 江苏师范大学, 2017.
- [37] 金柏慧, 刘好好, 吕婷婷, 王业迪, 蒋佩月, 王征. 南京中山植物园食果鸟类对宜昌润楠果实的取食和传播. *生态科学*, 2021, 40(5): 149-154.
- [38] 汪国海, 董佩佩, 韦丽娟, 黄秋婵, 韩巧, 唐创斌. 城市绿地中鸟类对海南蒲桃的取食和传播作用. *生态科学*, 2022, 41(6): 100-104.
- [39] 卢赫宇, 李鑫杨. 赤峰市城区地表温度变化特征分析——基于 2014—2021 年的 Landsat 遥感数据. *农业灾害研究*, 2022, 12(9): 116-118.
- [40] 王劲峰, 徐成东. 地理探测器: 原理与展望. *地理学报*, 2017, 72(1): 116-134.
- [41] 许维强. 城市建成区自生植物调查研究[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2015.
- [42] 张梦园, 李坤, 邢小艺, 范舒欣, 徐一丁, 郝培尧, 董丽. 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. *生态学报*, 2022, 42(7): 2582-2592.
- [43] Walker J S, Grimm N B, Briggs J M, Gries C, Dugan L. Effects of urbanization on plant species diversity in central Arizona. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2009, 7(9): 465-470.
- [44] Boone C G, Cadenasso M L, Grove J M, Schwarz K, Buckley G L. Landscape, vegetation characteristics, and group identity in an urban and suburban watershed: why the 60s matter. *Urban Ecosystems*, 2010, 13(3): 255-271.
- [45] Hu L Y, Qin D Y, Lu H Y, Li W, Shang K K, Lin D M, Zhao L, Yang Y C, Qian S H. Urban growth drives trait composition of urban spontaneous plant communities in a mountainous city in China. *Journal of Environmental Management*, 2021, 293: 112869.
- [46] Troy A R, Grove J M, O'Neil-Dunne J P M, Pickett S T A, Cadenasso M L. Predicting opportunities for greening and patterns of vegetation on private urban lands. *Environmental Management*, 2007, 40(3): 394-412.
- [47] 田志慧, 陈克霞, 达良俊, 古红梅. 城市化进程中上海植被的多样性、空间格局和动态响应(Ⅲ): 高度城市化影响下上海中心城区杂草区系特征. *华东师范大学学报: 自然科学版*, 2008(4): 49-57.
- [48] 彭羽, 刘雪华. 城市化对植物多样性影响的研究进展. *生物多样性*, 2007, 15(5): 558-562.
- [49] Li X P, Li Y L, Zhang S N, Lin R, Chen M K, Feng L. Driving effects of land use and landscape pattern on different spontaneous plant life forms along urban river corridors in a fast-growing city. *The Science of the Total Environment*, 2023, 876: 162775.

附表 I 北京城市草本自生植物调研名录

Appendix 1 Plant list of spontaneous herbaceous plants in the built-up areas of Beijing, China

| 种名 Species | 科 Family | 属 Genus | 种名 Species | 科 Family | 属 Genus |
|--|----------|---------|---------------------------------------|----------|---------|
| 尖裂假还阳参 <i>Crepidiastrum sonchifolium</i> | 菊科 | 假还阳参属 | 旋覆花 <i>Inula japonica</i> | 菊科 | 旋覆花属 |
| 山莴苣 <i>Lactuca indica</i> | 菊科 | 莴苣属 | 石胡荽 <i>Centipeda minima</i> | 菊科 | 石胡荽属 |
| 蒲公英 <i>Taraxacum mongolicum</i> | 菊科 | 蒲公英属 | 牛膝菊 <i>Galinsoga parviflora</i> | 菊科 | 牛膝菊属 |
| 泥胡菜 <i>Hemistepta lyrata</i> | 菊科 | 泥胡菜属 | 鳢肠 <i>Eclipta prostrata</i> | 菊科 | 鳢肠属 |
| 蓝刺头 <i>Echinops latifolius</i> | 菊科 | 蓝刺头属 | 苦苣菜 <i>Ixeris sonchifolia</i> | 菊科 | 苦苣菜属 |
| 苦苣菜 <i>Ixeris chinensis</i> | 菊科 | 苦苣菜属 | 剪刀股 <i>Ixeris japonica</i> | 菊科 | 苦苣菜属 |
| 苣荬菜 <i>Sonchus arvensis</i> | 菊科 | 苦苣菜属 | 苦苣菜 <i>Sonchus oleraceus</i> | 菊科 | 苦苣菜属 |
| 野菊 <i>Chrysanthemum indicum</i> | 菊科 | 菊属 | 小红菊 <i>Chrysanthemum chanetii</i> | 菊科 | 菊属 |
| 甘野菊 <i>Chrysanthemum lavandulifolium</i> | 菊科 | 菊属 | 刺儿菜 <i>Cirsium setosum</i> | 菊科 | 菊属 |
| 薊 <i>Cirsium japonicum</i> | 菊科 | 薊属 | 黄鹌菜 <i>Youngia japonica</i> | 菊科 | 黄鹌菜属 |
| 黄花蒿 <i>Artemisia annua</i> | 菊科 | 蒿属 | 野艾蒿 <i>Artemisia lavandulaefolia</i> | 菊科 | 蒿属 |
| 茵陈蒿 <i>Artemisia capillaris</i> | 菊科 | 蒿属 | 婆婆针 <i>Bidens bipinnata</i> | 菊科 | 鬼针草属 |
| 鬼针草 <i>Bidens pilosa</i> | 菊科 | 鬼针草属 | 狼把草 <i>Bidens tripartita</i> | 菊科 | 鬼针草属 |
| 全叶马兰 <i>Aster pekinensis</i> | 菊科 | 紫菀属 | 紫菀 <i>Aster tataricus</i> | 菊科 | 紫菀属 |
| 著 <i>Achillea millefolium</i> | 菊科 | 著属 | 一点红 <i>Emilia sonchifolia</i> | 菊科 | 一点红属 |
| 一年蓬 <i>Erigeron annuus</i> | 菊科 | 飞蓬属 | 大丁草 <i>Leibnitzia anadria</i> | 菊科 | 大丁草属 |
| 翅果菊 <i>Lactuca indica</i> | 菊科 | 翅果菊属 | 小蓬草 <i>Erigeron canadensis</i> | 菊科 | 白酒草属 |
| 早熟禾 <i>Poa annua</i> | 禾本科 | 早熟禾属 | 北京隐子草 <i>Cleistogenes hancei</i> | 禾本科 | 隐子草属 |
| 苇状羊茅 <i>Festuca arundinacea</i> | 禾本科 | 羊茅草属 | 野青茅 <i>Calamagrostis arundinacea</i> | 禾本科 | 细柄草属 |
| 牛筋草 <i>Eleusine indica</i> | 禾本科 | 稃属 | 求米草 <i>Oplismenus undulatifolius</i> | 禾本科 | 求米草属 |
| 纤毛披碱草 <i>Elymus ciliaris</i> | 禾本科 | 披碱草属 | 马唐 <i>Digitaria sanguinalis</i> | 禾本科 | 马唐属 |
| 芦苇 <i>Phragmites australis</i> | 禾本科 | 芦苇属 | 画眉草 <i>Eragrostis pilosa</i> | 禾本科 | 画眉草属 |
| 小画眉草 <i>Eragrostis minor</i> | 禾本科 | 画眉草属 | 虎尾草 <i>Chloris virgata</i> | 禾本科 | 虎尾草属 |
| 黑麦草 <i>Lolium perenne</i> | 禾本科 | 黑麦草属 | 狗牙根 <i>Cynodon dactylon</i> | 禾本科 | 狗牙根属 |
| 狗尾草 <i>Setaria viridis</i> | 禾本科 | 狗尾草属 | 无芒稗 <i>Echinochloa crus-galli</i> | 禾本科 | 稗属 |
| 稗 <i>Echinochloa crus-galli</i> | 禾本科 | 稗属 | 细叶藎草 <i>Carex rigescens</i> | 莎草科 | 藎草属 |
| 披针叶藎草 <i>Carex lanceolata</i> | 莎草科 | 藎草属 | 头状穗莎草 <i>Cyperus glomeratus</i> | 莎草科 | 莎草属 |
| 黄颖莎草 <i>Cyperus microiria</i> | 莎草科 | 莎草属 | 异型莎草 <i>Cyperus difformis</i> | 莎草科 | 莎草属 |
| 诸葛菜 <i>Orychophragmus violaceus</i> | 十字花科 | 诸葛菜属 | 碎米荠 <i>Cardamine hirsuta</i> | 十字花科 | 碎米荠属 |
| 芥菜 <i>Capsella bursa-pastoris</i> | 十字花科 | 芥属 | 焯菜 <i>Rorippa indica</i> | 十字花科 | 焯菜属 |
| 独行菜 <i>Lepidium apetalum</i> | 十字花科 | 独行菜属 | 益母草 <i>Leonurus japonicus</i> | 唇形科 | 益母草属 |
| 夏至草 <i>Lagopsis supina</i> | 唇形科 | 夏至草属 | 活血丹 <i>Glechoma longituba</i> | 唇形科 | 活血丹属 |
| 黄芩 <i>Scutellaria pekinensis</i> | 唇形科 | 黄芩属 | 薄荷 <i>Mentha canadensis</i> | 唇形科 | 薄荷属 |
| 田旋花 <i>Convolvulus arvensis</i> | 旋花科 | 旋花属 | 圆叶牵牛 <i>Pharbitis purpurea</i> | 旋花科 | 牵牛花属 |
| 牵牛 <i>Pharbitis nil</i> | 旋花科 | 牵牛花属 | 打碗花 <i>Calystegia hederacea</i> | 旋花科 | 打碗花属 |
| 朝天委陵菜 <i>Potentilla supina</i> | 蔷薇科 | 委陵菜属 | 委陵菜 <i>Potentilla chinensis</i> | 蔷薇科 | 委陵菜属 |
| 蛇含委陵菜 <i>Potentilla kleiniana</i> | 蔷薇科 | 委陵菜属 | 莓叶委陵菜 <i>Potentilla fragarioides</i> | 蔷薇科 | 委陵菜属 |
| 蛇莓 <i>Duchesnea indica</i> | 蔷薇科 | 蛇莓属 | 猪毛菜 <i>Salsola collina</i> | 藜科 | 猪毛菜属 |
| 藜 <i>Chenopodium album</i> | 藜科 | 藜属 | 灰绿藜 <i>Chenopodium glaucum</i> | 藜科 | 藜属 |
| 地肤 <i>Kochia scoparia</i> | 藜科 | 地肤属 | 野豌豆 <i>Vicia sepium</i> | 豆科 | 野豌豆属 |
| 歪头菜 <i>Vicia unijuga</i> | 豆科 | 野豌豆属 | 少花米口袋 <i>Gueldenstaedtia verna</i> | 豆科 | 米口袋属 |
| 紫苜蓿 <i>Medicago sativa</i> | 豆科 | 苜蓿属 | 米口袋 <i>Gueldenstaedtia multiflora</i> | 豆科 | 米口袋属 |
| 豆茶决明 <i>Cassia nomame</i> | 豆科 | 决明属 | 鸡眼草 <i>Kummerowia striata</i> | 豆科 | 鸡眼草属 |
| 早开堇菜 <i>Viola prionantha</i> | 堇菜科 | 堇菜属 | 紫花地丁 <i>Viola yedonensis</i> | 堇菜科 | 堇菜属 |
| 北京堇菜 <i>Viola pekinensis</i> | 堇菜科 | 堇菜属 | 西山堇菜 <i>Viola hancockii</i> | 堇菜科 | 堇菜属 |
| 地锦草 <i>Euphorbia humifusa</i> | 大戟科 | 大戟属 | 通奶草 <i>Euphorbia hypericifolia</i> | 大戟科 | 大戟属 |
| 斑地锦 <i>Euphorbia maculata</i> | 大戟科 | 大戟属 | 铁苋菜 <i>Acalypha australis</i> | 大戟科 | 铁苋菜属 |
| 紫草 <i>Lithospermum erythrorhizon</i> | 紫草科 | 紫草属 | 倒提壶 <i>Cynoglossum amabile</i> | 紫草科 | 琉璃草属 |

续表

| 种名 Species | 科 Family | 属 Genus | 种名 Species | 科 Family | 属 Genus |
|---|----------|---------|---------------------------------------|----------|---------|
| 附地菜 <i>Trigonotis peduncularis</i> | 紫草科 | 附地菜属 | 反枝苋 <i>Amaranthus retroflexus</i> | 苋科 | 苋属 |
| 凹头苋 <i>Amaranthus lividus</i> | 苋科 | 苋属 | 皱果苋 <i>Amaranthus viridis</i> | 苋科 | 苋属 |
| 酸浆 <i>Physalis alkekengi</i> | 茄科 | 酸浆属 | 龙葵 <i>Solanum nigrum</i> | 茄科 | 茄属 |
| 白英 <i>Solanum lyratum</i> | 茄科 | 茄属 | 蜀葵 <i>Alcea rosea</i> | 锦葵科 | 蜀葵属 |
| 苘麻 <i>Abutilion theophrasti</i> | 锦葵科 | 苘麻属 | 圆叶锦葵 <i>Malva pusilla</i> | 锦葵科 | 锦葵属 |
| 萝藦 <i>Metaplexis japonica</i> | 萝藦科 | 萝藦属 | 地梢瓜 <i>Cynanchum thesioides</i> | 萝藦科 | 鹅绒藤属 |
| 鹅绒藤 <i>Cynanchum chinensis</i> | 萝藦科 | 鹅绒藤属 | 鸭跖草 <i>Commelina communis</i> | 鸭跖草科 | 鸭跖草属 |
| 饭包草 <i>Commelina benghalensis</i> | 鸭跖草科 | 鸭跖草属 | 乌菘莓 <i>Cayratia japonica</i> | 葡萄科 | 乌菘莓属 |
| 通泉草 <i>Mazus japonicus</i> | 玄参科 | 通泉草属 | 地黄 <i>Rehmannia glutinosa</i> | 玄参科 | 地黄属 |
| 巴天酸模 <i>Rumex patientia</i> | 蓼科 | 酸模属 | 篇蓄 <i>Polygonum aviculare</i> | 蓼科 | 蓼属 |
| 茜草 <i>Rubia cordifolia</i> | 茜草科 | 茜草属 | 白屈菜 <i>Chelidonium majus</i> | 罂粟科 | 白屈菜属 |
| 半夏 <i>Pinellia ternata</i> | 天南星科 | 半夏属 | 掌叶半夏 <i>Pinellia pedatisecta</i> | 天南星科 | 半夏属 |
| 酢浆草 <i>Oxalis corniculata</i> | 酢浆草科 | 酢浆草属 | 美丽月见草 <i>Oenothera speciosa</i> | 柳叶菜科 | 月见草属 |
| 马蔺 <i>Iris lactea</i> var. <i>chinensis</i> | 鸢尾科 | 鸢尾属 | 香蒲 <i>Typha orientalis</i> | 香蒲科 | 香蒲属 |
| 天门冬 <i>Asparagus cochinchinensis</i> | 天门冬科 | 天门冬属 | 天胡荽 <i>Hydrocotyle sibthorpioides</i> | 伞形科 | 天胡荽属 |
| 蛇床 <i>Cnidium monnieri</i> | 伞形科 | 蛇床属 | 泽芹 <i>Sium suave</i> | 伞形科 | 泽芹属 |
| 穿山龙 <i>Dioscorea nipponica</i> | 薯蓣科 | 薯蓣属 | 美国商陆 <i>Phytolacca americana</i> | 商陆科 | 商陆属 |
| 千屈菜 <i>Lythrum salicaria</i> | 千屈菜科 | 千屈菜属 | 毛茛 <i>Ranunculus japonicus</i> | 毛茛科 | 毛茛属 |
| 马齿苋 <i>Portulaca oleracea</i> | 马齿苋科 | 马齿苋属 | 葎草 <i>Humulus scandens</i> | 桑科 | 葎草属 |
| 透茎冷水花 <i>Pilea pumila</i> | 荨麻科 | 冷水花属 | 爵床 <i>Justicia procumbens</i> | 爵床科 | 爵床属 |
| 费菜 <i>Phedimus aizoon</i> | 景天科 | 景天属 | 蒺藜 <i>Tribulus terrestris</i> | 蒺藜科 | 蒺藜属 |
| 栝楼 <i>Trichosanthes kirilowii</i> | 葫芦科 | 栝楼属 | 鹅肠菜 <i>Malachium aquaticum</i> | 石竹科 | 鹅肠菜属 |
| 车前 <i>Plantago asiatica</i> | 车前科 | 车前属 | 鼠掌老鹳草 <i>Geranium sibiricum</i> | 牻牛儿苗科 | 老鹳草属 |