

DOI: 10.5846/stxb201412242558

侯冰飞, 贾宝全, 冷平生, 王文和.北京市城乡交错区绿地和植物种类的构成与分布.生态学报, 2016, 36(19): 6256-6265.

Hou B F, Jia B Q, Leng P S, Wang W H. Composition and distribution of green space and plant species in the urban-rural ecotone of Beijing. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(19): 6256-6265.

# 北京市城乡交错区绿地和植物种类的构成与分布

侯冰飞<sup>1</sup>, 贾宝全<sup>2</sup>, 冷平生<sup>1,\*</sup>, 王文和<sup>1</sup>

1 北京农学院园林学院, 城乡生态环境北京实验室, 北京市乡村景观规划设计工程技术研究中心, 北京 102206

2 中国林业科学研究院林业研究所, 北京 100091

**摘要:**北京城市化过程中, 沿着城-乡过渡带绿地类型与植物种类构成正发生着显著变化, 认识这种变化对于城市植物多样性保护和城乡绿化一体化建设是十分必要的。本研究在北京市北部城乡交错区沿城-乡梯度设立由 5 个边长 5 km 的正方形(样窗 1 至样窗 5)组成的总面积为 125 km<sup>2</sup>的样带, 采用 GeoEye-1 高分辨率卫星全色影像, 结合实地普查, 对样带内的土地利用情况、绿地类型及植物种类构成与分布进行调查分析, 结果表明: (1) 样带内不透水面指数为 42%, 绿地率 56.08%, 水面面积占总面积的 1.92%。沿城-乡梯度不透水面指数逐渐减少, 绿地率逐渐增加, 绿地类型从城市绿地转变为平原农田为主的生产型与防护型绿地, 到山区以风景林为主的林地; (2) 样带区内共有维管束植物 98 科 313 属 481 种, 其中北京本地种 75 科 216 属 330 种, 占总数的 68.61%; 国内引进种 37 科 62 属 72 种, 占总数的 14.97%, 国外引进种 32 科 70 属 79 种, 占总数的 16.42%; (3) 样带各样窗植物属的区系地理成分包含全国全部 15 个分布区类型, 其中北温带分布型是该区的最主要类型, 占总属数的 23.3%; 之后依次是泛热带分布占 17.3%、世界分布占 14.1% 和旧世界温带分布占 10.9%, 总的热带分布型植物达到 31.6%, 主要由一部分少种属和绝大多数单种属构成; (4) 沿城-乡梯度植物种丰富度顺序为: 样窗 3 > 样窗 2 > 样窗 1 > 样窗 4 > 样窗 5, 乡土种所占比例沿城-乡梯度升高, 从样窗 1 的 67.08% 提高到样窗 5 的 87.76%, 除样窗 3 外, 其余样窗中国外引进种的比例均高于国内引进种。

**关键词:**城乡交错区; 卫星影像; 绿地; 植物多样性

## Composition and distribution of green space and plant species in the urban-rural ecotone of Beijing

HOU Bingfei<sup>1</sup>, JIA Baoquan<sup>2</sup>, LENG Pingsheng<sup>1,\*</sup>, WANG Wenhe<sup>1</sup>

1 The Department of landscape architecture, Beijing University of Agriculture, Beijing Laboratory of Urban and Rural Ecological Environment, Beijing Rural Landscape Planning and Design Engineering Technology Center, Beijing 102206, China

2 Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China

**Abstract:** Green space and plant diversity and structure have been undergoing significant changes in characteristics and trends along the urban-rural ecotone in Beijing due to the process of urbanization. Analyzing these changes is necessary for the protection of plant diversity and the integration of green construction in urban and rural areas. In this study, based on panchromatic images from GeoEye-1 satellites and a site investigation of a 125 km<sup>2</sup> belt zone compositing of 5 square sampling windows (which is 5 km \* 5 km from window1 to window5) in the northern urban-rural ecotone of Beijing. Land use, composition and distribution of green space and plant species in belt zone were analyzed. Results show that: (1) the impervious surface area index (ISAI), green space, and water area accounted for 42%, 56.08%, and 1.92% respectively of total belt zone area. Furthermore, along the urban-to-rural gradient, ISAI was reduced and green space increased gradually. The pattern of green space dominated by urban green area turns to protective and productive green area such as traditional

**基金项目:**北京市自然科学基金资助项目(8132005);北京市属高等学校创新团队建设项目(IDHT20150503)

**收稿日期:**2014-12-24; **网络出版日期:**2016-01-15

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lengpsh@tom.com

farmlands or orchards, ultimately landscape forest in mountain areas. (2) There were 480 plants species belonging to 313 genera and 98 families in the study area, in which 337 species were plants native to Beijing accounting for 70.21% of total plant species, 62 species were introduced from other regions of and 81 species were introduced from foreign countries accounting from 12.92% and 16.88% of total plant species respectively (3) The belt zone contained all 15 areal-types of the Chinese seed plant genera, among them, the North Temperate elements, Pantropical elements, Cosmopolitan elements and Old World Tropic elements accounting for 23.3%, 17.3%, 14.1%, and 10.9% respectively of total genera. Total tropical elements accounted for 31.6%, which consisted of part of the lesser species genera and the vast majority of single species genera. (4) Plant species richness distributed in the order of window 3 > window 2 > windows1 > window 4 > window 5. The ratios of native plants increased gradually from 66.29% in window1 to 86.93% of window 5 along the urban-to-rural gradient. The proportion of plant species introduced from foreign countries was higher than introduced species from other regions of China in all sampling windows.

**Key Words:** urban-rural ecotone; satellite images; green space; plant diversity

随着中国城市化进程不断推进,人工不透水面日益增多,自然生境迅速减少,城市生态环境负荷越来越重,并威胁到城市的生态安全和居民的福祉,因此,近年城市的生态环境建设受到普遍重视,加大了对各类绿地的建设力度。但在绿地建设过程中,在绿地规划布局、绿地结构类型、生物多样性保护等方面仍存在很多问题,特别是如何实现城乡绿化一体化还处在摸索阶段。近些年,有关城市植物多样性的研究逐渐增多<sup>[1-2]</sup>,相关研究表明,城市中的残存生境和生物对维护城市的生态平衡发挥了重要作用<sup>[3-4]</sup>,而城市建设对自然生境的改造导致城市植被群落结构和物种构成发生明显变化<sup>[5-6]</sup>,改变了当地自然植物的分布和种类构成<sup>[7]</sup>,外来物种的增多与乡土植物种的减少并存<sup>[8-10]</sup>,但这些研究多是在市域范围或城区内进行。在我国,城市规模不断扩大,城乡交错区是城市化干扰最剧烈区域,一方面是土地利用方式的变化,另一方面是绿化建设的影响,这些外来驱动力对城乡交错区绿地结构、植物种类与组成的影响并不清楚,相关研究报道罕见<sup>[11]</sup>,而这对于城市绿地系统建设,城市生物多样性保护以及生态环境改善均有重要意义。

北京市作为我国的特大城市,仍处在快速扩张进程中,常住人口 2013 年底已达 2200 万。在北五环外,随着中关村科技园、航天城、回龙观、天通苑等超大规模居住社区以及沙河高教区的发展建设,从南往北城市在快速扩张中,郊区乡村的土地利用类型发生了巨大变化;同时,北京近些年大力开展城市林业建设,完成了京津风沙源治理工程、百万亩平原造林工程等,植物种类和类型随之发生了深刻的变化。基于此,本文选取北京北部城乡交错区为研究对象,采用卫星全色影像结合实地调查方式,对其土地利用情况、绿地类型及植物种类构成与分布进行调查,分析城郊交错区绿地植物多样性现状,探讨城市化驱动力对绿地与植物种构成变化的影响,为城市绿化建设与植物多样性的保护提供指导。

## 1 研究区和研究方法

北京市(39°28'—41°25'N, 115°25'—117°130'E)位于华北平原西北边缘,西北部为燕山与太行山余脉,东南部连接华北平原,总面积 1.68 万 km<sup>2</sup>,其中 62%是山区,属暖温带半湿润大陆性季风气候,夏季炎热多雨,冬季寒冷干燥,春、秋季短促,年平均气温 10—12℃,极端最低气温-27.4℃,极端最高气温 42℃,年均降水量不足 600 mm。

研究区位于北京市昌平区和海淀区,地处华北平原与燕山交合部,具有独特的生态环境和自然资源。研究区为南北向的样带,由 5 个 5 km×5 km 大小的正方形样窗组成,面积 125 km<sup>2</sup>。由南至北依次隶属于海淀区的东北旺乡、昌平区的回龙观镇、百善镇、小汤山镇和崔村镇。样带南部为市区,边界至北五环;北部为山区,边界至军都山;中间为近郊区,主要为平原乡村,研究区为典型的城乡交错带(图 1)。样窗 1 主要为建成区,残存少量农地与苗圃;样窗 2 部分为建成区,正在经历城市化过程,区域内城市用地与农业用地犬牙交错,



的 17.66%,主要是苹果园;乔木林在样带内分布最少,在分布最多的样窗 3 中只占绿地总面积的 7.63%,主要为分布在沙河两岸的河岸防护林;乔草地在各样窗均有分布且较为平均,占比在 4.23%—9.35%之间。

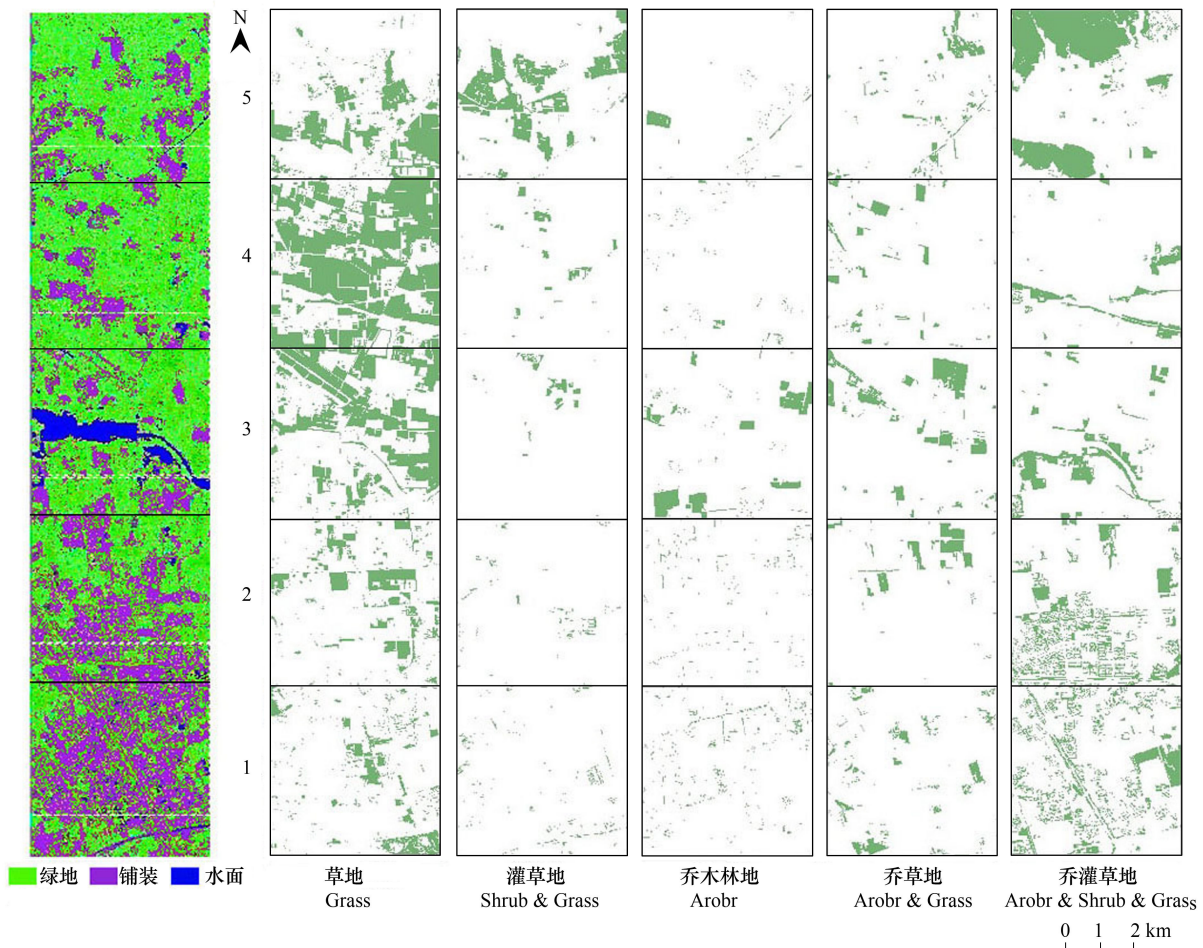


图 2 研究区绿地与绿地结构类型分布

Fig.2 Distribution and plant composition types of green spaces in study area

## 2.2 城乡交错区植物组成特征

研究区共有维管束植物 98 科,313 属,481 种。其中蕨类植物 3 科 3 属 3 种,裸子植物 3 科 6 属 11 种,被子植物 92 科 304 属 467 种,包含单子叶植物 12 科 55 属 87 种,双子叶植物 80 科 249 属 380 种。包含种数最多的 4 个科依次为菊科(*Compositae*)、禾本科(*Gramineae*)、蔷薇科(*Rosaceae*)、豆科(*Leguminosae*),前 4 科的种数合计占总种数的 39.71%;其次是唇形科(*Lamiaceae*)、百合科(*Liliaceae*)、大戟科(*Euphorbiaceae*)、茄科(*Solanaceae*)、旋花科(*Convolvulaceae*)和葫芦科(*Cucurbitaceae*)十字花科(*Brassicaceae*)。前 11 科共包含植物 274 种,占总种数的 56.96%,其余为少种科(2—9 种)和单种科,包含 207 种,占总种数 43.04%(图 3)。在属的构成中,含种类较多的依次为胡枝子属(*Lespedeza*)、李属(*Prunus*)、蒿属(*Artemisia*)和委陵菜属(*Potentilla*),其余有 5 个属各含 5 种,8 个属各含 4 种,25 个属各含 3 种,49 个属各含 2 种,区域性单种属 221 个。表明研究区物种分散于多个科属中,单种属在本区植物构成中占有绝对优势。在样带内分布最多的植物种类有油松(*Pinus tabuliformis*),侧柏(*Platycladus orientalis*),毛白杨(*Populus tomentosa*),国槐(*Styphnolobium japonicum*),臭椿(*Ailanthus altissima*),白蜡(*Fraxinus chinensis*),黄杨(*Buxus sinica*),小檗(*Berberis thunbergii*),荆条(*Vitex negundo* var. *heterophylla*),胡枝子(*Lespedeza bicolor*),玉米(*Zea mays*),灰菜(*Chenopodium album*),狗尾草(*Setaira viridis*),葎草(*Humulus japonicus*),车前草(*Plantago asiatica*),委陵菜(*Potentilla aiscolor*)等,其中多为

北京园林绿化的主要树种,其中毛白杨又是农田防护林的骨干树种,荆条和胡枝子多在石质山地自然分布,而除主要农作物玉米外的几种草本植物散见于样带内,均为野生。

(1)菊科 *Compositae*, (2)禾本科 *Gramineae*, (3)蔷薇科 *Rosaceae*, (4)豆科 *Leguminosae*, (5)唇形科 *Lamiaceae*, (6)百合科 *Liliaceae*, (7)大戟科 *Euphorbiaceae*, (8)茄科 *Solanaceae*, (9)旋花科 *Convolvulaceae*, (10)葫芦科 *Cucurbitaceae*, (11)十字花科 *Brassicaceae* (12)少种科 *Several species families*, (13)单种科 *Single species families*.

研究区是介于北京城区和山区之间的城乡过渡带,对比近城区(样窗 1、2)、平原区(样窗 3、4)和近山区(样窗 5)的植物种类组成可以看出,不同区域的优势科均为菊科、禾本科、豆科和蔷薇科,主要是草本植物,表明它们对本地自然条件的良好适应。主要在近城区存在大量如木犀科、杨柳科、柏科和松科等以乔灌木和常绿植物为主的科属,这与平原区和近山区的植物种类组成不一致,这类植物景观与生态效益良好,反映了城市绿化的需求。

近山区植物则以毛茛科、伞形科、旋花科及相关属等草本占优的科属为主,体现在人为干扰较少条件下的本地山地物种的自然形态;而平原区优势科属组成介于近城区和近山区之间,同时由于样窗 3 中存在大面积水域,优势科属构成中则出现了蓼科、莎草科等偏水生/湿生生境的植物。在植物组成集中度方面,研究区 39.71% 的物种集中在 4 个大科(占 4.08%),113 属(占 36.57%)中,少种科和单种科为 43.24%。

### 2.3 城乡交错区植物区系地理成分

研究区内植物占有中国全部 15 个分布区类型(表 1),北温带分布型是该区的最主要类型,占总属数的 23.3%,与该区的地理位置相一致;之后依次是泛热带分布 17.3%、世界分布 14.1%和旧世界温带分布 10.9%。纵观研究区内的植被分布型依然是以温带分布为主,包含温带成分的属达到 136 个,占总数的 43.5%,与当地的地理位置和气候条件相符。而热带分布型植物(泛热带分布、旧世界热带分布、热带亚洲和热带美洲间断分布、热带亚洲至热带大洋洲分布、热带亚洲至热带非洲分布、热带亚洲分布)一共达到 31.6%,样带内很大一部分少种属和绝大多数单种属皆出于此分布型。此外还有东亚分布型共 24 属,占总属数的 7.7%,是该区的重要成分,地中海成份 5 属,占总属数的 1.6%,中国特有属 3 属,占 1%,中亚分布 2 属,占 0.6%,与本区的联系明显较为薄弱。可见,研究区由于受人类活动影响,自然生境被改造并呈多样化发展趋势,并引入大量外源物种定居,出现了大量的单属、单科外源种,使植物及其分布区特征偏离了当地的地带性自然条件。具体来说,5 个样窗中,存在植物属最多的是样窗 2,达到 204 个,其次为样窗 3 和样窗 1,样窗 5 的植物属最少,为 140 个。其中热带分布型植物在样窗 2 中分布的属最多,达到 32.35%,其次为样窗 4,29.57%,样窗 5 最低,24.99%。而与本地区位联系较密切的分布型(北温带分布型、东亚和北美洲间断分布、旧世界温带分布、温带亚洲分布、东亚分布及中国特有分布型)在样窗 5 中分布最多,达到 58.57%,样窗 1 其次,样窗 2 和样窗 4 最低,仅有 52.93%和 51.57%。

### 2.4 城乡交错区本地植物种与外来植物组成与分布

研究区内生长的 481 种植物中(表 2),北京本地种 330 种,占总数的 68.61%,外来植物中国内引进种 72 种,占总数的 14.97%,国外引进种 79 种,占总数的 16.42%。研究区植物以本地种为主,体现了较强的地域特

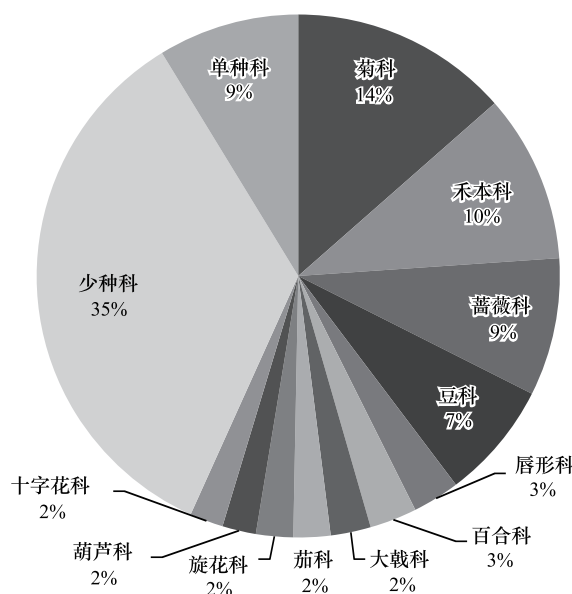


图 3 研究区植物科组成

Fig.3 The families composition of vascular plants in study area

征,引进的外来种虽占次要成分,但也相当丰富,是城市绿化植物的重要组成成分。

表 1 研究区内种子植物属的分布区类型比较分析

| Table 1 The comparative analysis of the areal-types of the Beijing genera of seed plants in study area |                 |                     |                 |                     |                 |                     |                 |                     |                 |                     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|---------------------|-----------------|---------------------|-----------------|---------------------|-----------------|---------------------|-----------------|---------------------|
| 植物属的分布区类型<br>Floristic elements                                                                        | 样窗 1<br>Window1 | 百分比/%<br>Percentage | 样窗 2<br>Window2 | 百分比/%<br>Percentage | 样窗 3<br>Window3 | 百分比/%<br>Percentage | 样窗 4<br>Window4 | 百分比/%<br>Percentage | 样窗 5<br>Window5 | 百分比/%<br>Percentage |
| 世界分布(1)                                                                                                | 27              | 14.75               | 24              | 11.76               | 33              | 17.01               | 26              | 16.35               | 22              | 15.71               |
| 泛热带分布(2)                                                                                               | 29              | 15.85               | 38              | 18.63               | 33              | 17.01               | 30              | 18.87               | 22              | 15.71               |
| 热带亚洲和热带美洲间断分布(3)                                                                                       | 7               | 3.83                | 9               | 4.41                | 5               | 2.58                | 4               | 2.52                | 3               | 2.14                |
| 旧世界热带分布(4)                                                                                             | 1               | 0.55                | 4               | 1.96                | 2               | 1.03                | 2               | 1.26                | 1               | 0.71                |
| 热带亚洲及至大洋洲分布(5)                                                                                         | 3               | 1.64                | 3               | 1.47                | 4               | 2.06                | 4               | 2.52                | 4               | 2.86                |
| 热带亚洲至热带非洲分布(6)                                                                                         | 7               | 3.83                | 8               | 3.92                | 6               | 3.09                | 5               | 3.14                | 3               | 2.14                |
| 热带亚洲分布(7)                                                                                              | 3               | 1.64                | 4               | 1.96                | 4               | 2.06                | 2               | 1.26                | 2               | 1.43                |
| 北温带分布(8)                                                                                               | 47              | 25.68               | 50              | 24.51               | 46              | 23.71               | 41              | 25.79               | 40              | 28.57               |
| 东亚和北美洲间断分布(9)                                                                                          | 14              | 7.65                | 15              | 7.35                | 13              | 6.70                | 10              | 6.29                | 6               | 4.29                |
| 旧世界温带分布(10)                                                                                            | 18              | 9.84                | 19              | 9.31                | 20              | 10.31               | 16              | 10.06               | 18              | 12.86               |
| 温带亚洲分布(11)                                                                                             | 4               | 2.19                | 5               | 2.45                | 4               | 2.06                | 6               | 3.77                | 7               | 5.00                |
| 地中海区西亚至中亚分布(12)                                                                                        | 3               | 1.64                | 5               | 2.45                | 3               | 1.55                | 2               | 1.26                | 0               | 0.00                |
| 中亚分布(13)                                                                                               | 2               | 1.09                | 1               | 0.49                | 1               | 0.52                | 2               | 1.26                | 1               | 0.71                |
| 东亚分布(14)                                                                                               | 15              | 8.20                | 16              | 7.84                | 18              | 9.28                | 8               | 5.03                | 10              | 7.14                |
| 中国特有(15)                                                                                               | 3               | 1.64                | 3               | 1.47                | 2               | 1.03                | 1               | 0.63                | 1               | 0.71                |
| 合计 Total                                                                                               | 183             |                     | 204             |                     | 194             |                     | 159             |                     | 140             |                     |

(1)Cosmopolitan, (2)Pantropic, (3)Trop.Asia and Trop.America disjuncted, (4)Old world Tropics, (5)Tropical Asia and Trop. Australasia, (6) Trop.Asia to Trop. Africa, (7)Trop.Asia(Indo-Malesia) (8)North Temperate, (9)East Asia and North America disjuncted, (10) Old World Temperate, (11)Temp. Asia, (12)Mediterranean, West Asia to Central Asia, (13)Central Asia, (14) East Asian, (15)Endemic to China

表 2 研究区内植物种来源分析

| Table 2 Analysis of the source of plant species in study area |                     |             |             |            |             |                     |
|---------------------------------------------------------------|---------------------|-------------|-------------|------------|-------------|---------------------|
| 物种来源<br>Sources                                               | 种数<br>No.of Species | 乔木<br>Arbor | 灌木<br>Shrub | 草本<br>Herb | 藤本<br>Liana | 百分比/%<br>Percentage |
| 本地种 Native                                                    | 330                 | 38          | 63          | 217        | 12          | 68.61               |
| 国内引入种 Domestic alien                                          | 72                  | 14          | 22          | 34         | 2           | 14.97               |
| 国外引入种 Foreign alien                                           | 79                  | 4           | 8           | 66         | 1           | 16.42               |
| 合计 Total                                                      | 481                 | 56          | 93          | 317        | 15          | 100                 |

#### 2.4.1 本地植物种

研究区内本地种有 75 科 216 属 330 种,其中乔木 38 种,灌木 63 种,草本 217 种,藤本为 12 种。对研究区中各样窗间的本地种组成进行比较(表 3):首先,本地植物的物种多样性以样窗 3 为最高,达到 195 种,样窗 1 最低,仅有 161 种;与其一致的,样窗 3 的乔木、灌木和草本植物物种数均高于其他样窗,藤本植物在样窗 2 中多样性最大,达到 10 种之多。乔木和灌木的物种数最低值分别出现在样窗 5 和样窗 1 中,只有 21 种和 27 种,草本植物在样窗 2 中分布最少,仅 94 种。从整体趋势上看,乔木树种数量和比重均沿城-乡梯度呈下降趋势;而灌木和草本植物,其数量和所占百分比均是乡村样窗较高。

表 3 研究区内不同生活型本地种所占比例分析

Table 3 Comparison of the percentage of native plants in different windows in study area

| 生活型<br>Life-form | 样窗 1<br>Window 1 | 百分比/%<br>Percentage | 样窗 2<br>Window 2 | 百分比/%<br>Percentage | 样窗 3<br>Window 3 | 百分比/%<br>Percentage | 样窗 4<br>Window 4 | 百分比/%<br>Percentage | 样窗 5<br>Window 5 | 百分比/%<br>Percentage |
|------------------|------------------|---------------------|------------------|---------------------|------------------|---------------------|------------------|---------------------|------------------|---------------------|
| 乔木 Arbor         | 25               | 15.53               | 28               | 17.18               | 29               | 14.87               | 23               | 13.94               | 21               | 12.21               |
| 灌木 Shrub         | 27               | 16.77               | 31               | 19.02               | 35               | 17.95               | 34               | 20.61               | 33               | 19.19               |
| 草本 Herb          | 103              | 63.98               | 94               | 57.67               | 126              | 64.62               | 102              | 61.82               | 114              | 66.28               |
| 藤本 Liana         | 6                | 3.73                | 10               | 6.13                | 5                | 2.56                | 6                | 3.64                | 4                | 2.33                |
| 合计 Total         | 161              | 33.47               | 163              | 33.89               | 195              | 40.54               | 165              | 34.30               | 172              | 35.76               |

### 2.4.2 外来植物种

研究区外来植物种类以草本植物为主,主要是农业生产和园林绿化中大量引进的优良植物材料。国内引进植物有 37 科、62 属、72 种,其中乔木 14 种,灌木 22 种,草本 34 种,藤本 2 种,优势科有蔷薇科、禾本科、木犀科和百合科;国外引进植物 32 科、70 属、79 种,其中乔木 4 种,灌木 8 种,草本 66 种,藤本 1 种,优势科有菊科、豆科、禾本科和茄科。外来植物中,常见乔木有银杏(*Ginkgo biloba*)、雪松(*Cedrus deodara*)、刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、悬铃木(*Platanus chiapensis*)、火炬树(*Rhus typhina*)等;常见灌木有紫叶小檗(*Berberis thunbergi* cv. *atropurpurea*)、铺地柏(*Sabina procumbens*)、紫穗槐(*Amorpha fruticosa*)、棣棠(*Kerria japonica*)、连翘(*Forsythia suspensa*)等;藤本植物有五叶地锦(*Parthenocissus quinquefolia*)、圆叶牵牛(*Pharbitis purpurea*)、扶芳藤(*Euonymus fortunei*)等;草本植物占比最多,其中部分为入侵种,占到北京入侵植物总数(记载有 16 种)的 81.3%,常见的如莧菜(*Amaranthus mangostanus*)、小飞蓬(*Conyza canadensis*)、牵牛(*Ipomoea purpurea*)、黑麦草(*Lolium perenne*)、白车轴草(*Trifolium repens*)、野西瓜苗(*Hibiscus trionum*)、牛筋草(*Eleusine indica*)、三叶鬼针草(*Bidens pilosa*)、牛膝菊(*Galinsoga parviflora*)等,这些入侵种已大量出现于各类人工和自然绿地中,已对绿地和本地物种构成威胁。

### 2.4.3 植物构成的梯度变化

各样窗沿城-乡梯度植物种的丰富度和来源组成呈现明显区别,总的植物种丰富度按样窗 3>样窗 2>样窗 1>样窗 4>样窗 5 顺序排列(图 4),其中本地种以样窗 3 最高,达 195 种,其余 4 个样窗的本地种丰富度相差不大,在 161—172 种之间;而外来植物各样窗间变化较大,样窗 1 和 2 主要为城市建成区,外来植物种占比大,特别是样窗 2 外来物种 104 种,占比 38.95%,主要是引进的观赏绿化植物种;样窗 4 和样窗 5 的外来物种较少,本地种占比高,土地利用主要以农田和果园为主,栽培植物主要是较单一的农作物,样窗 5 部分为山地,多为石质山地,立地条件较差且相对单一,故本地种丰富度并没有明显变化。从城市到山区,本地种中如元宝枫、酸模等的比重减少,出现了越来越多的山区种,如大果榆、鼠李、风毛菊、卷柏、白头翁等,尽管数量变化不大,但本地种所占比例从样窗 1 到样窗 5 分别为 67.08%,61.05%,70.40%,75.34%,87.76%,呈现明显增加趋势。外来种丰富度为样窗 2>样窗 3>样窗 1>样窗 4>样窗 5,除了样窗 3 外,其余所有样窗的外来种中,国外引进种的比例均高于国内引进种,可见区域内外来种以国外引进种占优(图 5)。

## 3 结论与讨论

选取北京北五环至军都山的南北向样带,从样带南端的建成区到北端人为干扰较低的山区,包含了平原、水域、山地等典型地貌,综合考虑了城市化进程与地域特点,能较好的反映北京城-乡梯度生态环境的变化。采用卫星全色影像图分析样带城乡交错区土地利用情况,沿着城-乡梯度不透水面指数逐渐减少,绿地率逐渐增多,与城市化水平逐渐降低高度一致。以往多用城市人口所占比例来衡量城市化水平,在城乡地区用不透水面指数可以很好的反映城市化水平,而且能更清楚地反映土地利用情况,并可作为衡量环境质量的指标之一<sup>[12]</sup>。在另文中我们对样带的绿地景观格局梯度进行了分析,指出随着城市化程度的降低,绿地斑块数和斑块密度减小,平均斑块面积增大,破碎化程度降低,边界简单化,连通性增大<sup>[17]</sup>。这一系列景观格局指数的变

化表明,乡村地区的原有景观格局受到破坏较小,沿着城-乡梯度,从强干扰的城市绿地过度为中度干扰的平原以农田为主的生产型与防护型绿地,到山区低度干扰的以风景林为主的绿地,绿地结构类型均发生了相应的变化,很好地反映了城市化过程对土地利用类型、绿地类型与分布的变化。

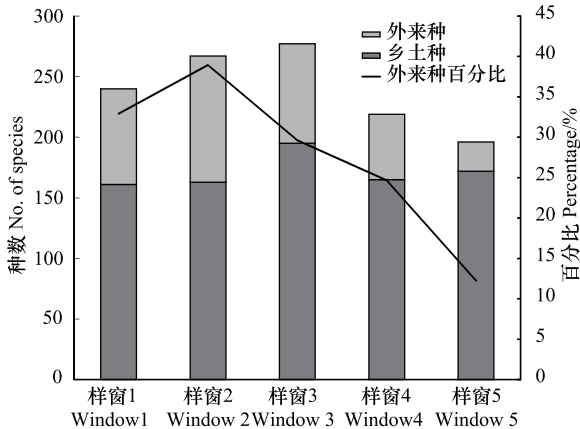


图4 研究区城乡梯度植物种来源分析

Fig.4 The urban-rural gradient analysis of the plant sources in study area

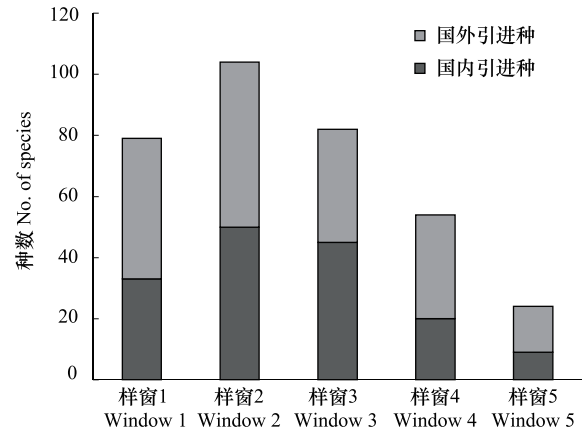


图5 研究区城乡梯度植物外来种来源分析

Fig.5 The urban-rural gradient analysis of the alien plant sources in study area

研究区内共有维管束植物 98 科, 313 属, 481 种, 其中被子植物 467 种 (单子叶植物 87 种、双子叶植物 380 种)。物种分散于多个科属中, 单种属达 221 个, 其中菊科 (*Compositae*)、禾本科 (*Gramineae*)、蔷薇科 (*Rosaceae*) 和豆科 (*Leguminosae*) 为分布比例最高的 4 个科, 前 4 科的种数合计占总种数的 39.71%。优势植物科分布与城市建成区、山区的一致<sup>[6,18-19]</sup>, 这 4 种植物以本地草本植物为主, 多为野生自然分布, 表明它们在北京市域范围内植物种类组成上的主导地位, 体现了北京暖温带地区植物种类构成上的特点。样窗 1、2 中分布大量如木犀科、杨柳科、柏科和松科等以乔灌木和常绿植物为主的科属, 这与孟雪松等对五环内建成区的研究结果一致<sup>[6]</sup>, 主要是人工栽种的城市绿化景观树种; 而样窗 5 植物科属分布与赵勃等报道的山区<sup>[18]</sup>植物以毛茛科、唇形科、百合科、伞形科、十字花科及相关属等草本占优的科属为主相近, 反映了在人为干扰较少条件下的本地物种的自然分布; 而平原区的优势科属构成介于两者之间。显然, 在城市化过程中, 外来干扰对城市物种构成与分布的影响是巨大的。

研究区内的植被分布型依然是以温带分布为主, 包含温带成分的属达到 136 个, 占总数的 43.5%, 与当地的地理位置和气候条件相符, 但在比例上明显小于北京山区的 55.3%, 与五环内城区的 44.4% 不相上下<sup>[6,18-19]</sup>; 而热带分布型植物一共达到 31.6%, 明显高于山区的 19.1%, 而与城区相近, 样带内很大一部分少种属和绝大多数单种属皆出于此分布型<sup>[6,18-19]</sup>, 反映了交错区强烈的人类活动水平对自然植被组成的扰动, 使植被组成偏离了本地原有分布类型。

本次调查发现研究区内本地种 330 种, 占总数的 68.61%, 引进种 151 种, 占总数的 31.39%, 这与《北京植物志》<sup>[13]</sup>记载市域范围内本地种 (1518 种)、外来种 (619 种) 所占比例近一致。而北京建成区 (五环内) 植物外来种的比例在 50%—55% 左右<sup>[19-20]</sup>, 山区外来种比例 11.08%<sup>[18]</sup>, 研究区处于城区与北部山区之间的交错带, 其本地种与外来植物所占比例居于建成区与山区之间; 而且, 在样带内沿城-乡梯度本地种所占比例明显升高, 从样窗 1 的 67.08% 递增到样窗 5 的 87.76%, 已相当接近山区的 88.92%, 表明城市化程度越高地区外来植物比例越高, 这些外来植物多是人为引进, 或是绿化植物, 或是农作物, 反映了城市化过程中人为干扰带来的影响。多地的研究表明城市建成区的植物外来种比例高于近郊区, 城市化会使本地物种减少, 外来物种增加<sup>[7,9,21]</sup>, 而且城市绿化过程中引进外来物种数量和速率远远超过了本地种消失的速率<sup>[22]</sup>。研究区总的植物种丰富度按样窗 3>样窗 2>样窗 1>样窗 4>样窗 5 顺序排列, 显然城乡交错区物种丰富度不是简单的呈线性

分布,与区域的自然生态环境条件与干扰程度密切相关性,正如 Carreiro 等在分析多个研究结果后指出,沿着城乡梯度,即从乡村的自然生态系统到近郊区再到典型的城市用地区域,城市生物多样性存在显著降低或增加情况<sup>[11]</sup>。本研究,样窗 3 物种丰富度最高,本地种最多,达 195 种,主要因为该区域存在大量水面,湿地植被丰富,还存在多处荒地、防护林带等,生境的异质性和自然条件的差异促进了乡土物种的丰富,特别是一些残存生境对维护生物多样性能起到重要作用<sup>[3]</sup>;样窗 2 是人为干扰效应最为强烈的城市化前沿地带,城市用地与农业用地犬牙交错,绿化建设力度大,引进的外来植物多,物种丰富度较高;城市化程度较低的样窗 4,属平原乡村地区,分布少量村镇,主要是农田,其人为干扰相对较低,生境异质性低,;而城市化程度最低的样窗 5 丰富度也最低,主要因为区域内生境条件相对单一,山区石质山地立地条件一般,限制了其物种多样性的丰富。尽管样窗 4 与样窗 5 绿地率高,绿地斑块面积大,连通性好,但植物种组成相对集中,这表明生境的多样性是决定乡土植物丰富度的关键因素,生境类型数目的增多比面积增加对于维持较高的物种多样性作用更明显<sup>[23]</sup>。Zerbe 等也指出在城市土地利用转变较为剧烈的近郊区或远郊区,形成多样的生境,其生物多样性不仅高于城市中心区域,甚至大于当地的自然生态系统<sup>[24]</sup>。另一方面,引进植物对物种丰富度有极大影响,由于外来物种的引入,使得城市化程度高的区域物种丰富度甚至高于乡村地区,但不能简单地认为其生物多样性较好。人为引进景观植物和环境的趋同,会导致城市植物群落组成的同质性特征远郊区高<sup>[25]</sup>,大多是类似的植物群落、相似的系统分类、类似的生活型以及生存策略<sup>[2]</sup>,这在城市生物多样性保护中是要特别注意的,保护本地物种多样性及其生境,特别是残存生境,同时构建多样的生境,是降低物种同质化,增加物种丰富度的重要途径。

在样带内共记录到北京市入侵植物 16 种,主要是草本植物,占到北京入侵植物总数的 81.3%。这些入侵种或与栽植作物竞争养分,或对本地物种和生境构成威胁<sup>[22]</sup>,需要采取措施进行控制。保护和提高生物多样性,关键是重视乡土植物的应用,本次调查中发现许多优良的本地树种,如毛泡桐(*Paulownia tomentosa*)、枫杨(*Pterocarya stenoptera*)、小叶鼠李(*Rhamnus dahurica*)、小花溲疏(*Deutzia parviflora*)、三裂绣线菊(*Spiraea trilobata*)等,城乡绿化中很少见,其他如东陵八仙花(*Hydrangea bretschneideri*)、六道木(*Abelia dielsii*)等则根本没有得到应用,这些本地植物适应北京地区的自然条件,具有养护成本低,生态安全性好等特点,应予以大力推广应用,这有利于本地植物多样性的保护,而且在一定程度上可以抑制外来物种入侵<sup>[26]</sup>。本次调查中样窗 1 与样窗 2 外来草本物种保持较高水平,这与北京城市绿地发展观赏花草和大草坪,特别是从欧洲引进的冷季性草坪有一定关系,这种单一的植被群落结构不仅管护费用高昂,且群落稳定性差,生态服务价值很低,不适合在水资源紧缺的北京地区发展,而且从生态效益角度讲,乔木群落的生态服务价值远高于草坪,因此,在城市化进程中,应尽可能多地保留自然-半自然群落,特别是残存的一些野生或半野生群落,同时,应模拟地带性群落,以本地物种为主,构建乔灌草近自然群落,既丰富了当地的生物多样性,又提高了绿地的生态效益,这不仅是保护生物多样性最有效最简单的方法,而且从长期看来,也是最经济的方法<sup>[27]</sup>。

#### 参考文献(References):

- [1] 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.
- [2] 毛齐正, 马克明, 邬建国等. 城市生物多样性分布格局研究进展. 生态学报, 2013, 33(4): 1051-1064.
- [3] Clemants S E, Moore G. Patterns of species diversity in eight northeastern United States cities. Urban Habitats, 2003, 1(1): 4-16.
- [4] Crane P, Kinzig A. Nature in the metropolis. Science, 2005, 308(5726): 1225-1225.
- [5] Sukopp H, Wurzel A. The effects of climate change on the vegetation of central European Cities. Urban Habitats, 2003, (1): 66-86.
- [6] 孟雪松, 欧阳志云, 崔国发, 李伟峰, 郑华. 北京城市生态系统植物种类构成及其分布特征. 生态学报, 2004, 24(10): 2200-2206.
- [7] Thompson K, McCarthy M A. Traits of British alien and native urban plants. Journal of Ecology, 2008, 96(5): 853-859.
- [8] 吴世捷, 高力行. 不受欢迎的生物多样性: 香港的外来植物物种. 生物多样性, 2002, 10(1): 109-118.
- [9] Celesti-Grapo L, Pyšek P, Jarošík V, Blasi C. Determinants of native and alien species richness in the urban flora of Rome. Diversity and Distributions, 2006, 12(5): 490-501.
- [10] 彭程, 宿敏, 周伟磊, 王苏铭, 李景文, 王玲. 北京地区外来植物组成特征及入侵植物分布. 北京林业大学学报, 2010, 32(S1): 29-35.

- [11] Carreiro M M. Using the urban-rural gradient approach to determine the effects of land use on forests remnants // Carreiro M M, Song Y C, Wu J. Ecology, Planning, and Management of Urban Forests. New York: Springer, 2008.
- [12] 刘珍环, 王仰麟, 彭建. 不透水表面遥感监测及其应用研究进展. 地理科学进展, 2010, 29(9): 1143-1152.
- [13] 贺士元, 邢其华. 北京植物志. 北京: 北京出版社, 1992.
- [14] 中国植物物种信息数据库, <http://www.plants.csd.cn/eflora/Default.aspx>.
- [15] 解焱. 保护中国的生物多样性(二). 北京: 中国环境科学出版社, 1996.
- [16] 吴征镒. 中国种子植物属的分布区类型. 云南植物研究, 1991, (S4): 1-139.
- [17] 侯冰飞, 冷平生, 周志红. 基于 GIS 的北京市北部城郊绿地景观格局梯度分析. 北京农学院学报, 2012, 27(3): 63-66.
- [18] 赵勃, 罗菊春. 北京山区植物多样性研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2005.
- [19] 赵娟娟, 欧阳志云, 郑华, 徐卫华, 王效科, 倪永明. 北京建成区外来植物的种类构成. 生物多样性, 2010, 18(1): 19-28.
- [20] 吴丽娟. 北京城市绿地景观格局与生物多样性保护研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2006.
- [21] Kowarik, I. On the role of alien species in urban flora and vegetation // Marzluff J M, Shulenberger E, Endlicher W, Alberti M, Bradley G, Ryan C, Simon U, Zumbrunnen C, eds, Urban Ecology—An International Perspective on the Interaction Between Humans and Nature. New York: Springer, 2008: 321-338.
- [22] Sax D F, Brown J H, White E P, Gaines S D. The dynamics of species invasions: insights into the mechanisms that limit species diversity // Sax D F, Stachowicz J J, Gaines S D, eds. Species Invasions: Insights into Ecology, Evolution and Biogeography. Sunderland: Sinauer, 2005: 447-466.
- [23] 赵海霞, 江源, 刘全儒. 城市土地利用对植被特征影响的研究. 地球科学进展, 2002, 17(2): 247-253.
- [24] Zerbe S, Maurer U, Schmitz S, Sukopp H. Biodiversity in Berlin and its potential for nature conservation. Landscape and Urban Planning, 2003, 62(3): 139-148.
- [25] Knapp S, Kühn I, Schweiger O, Klotz S. Challenging urban species diversity: contrasting phylogenetic patterns across plant functional groups in Germany. Ecology Letters, 2008, 11(10): 1054-1064.
- [26] Ricotta C, Godefroid S, Rocchini D. Patterns of native and exotic species richness in the urban flora of Brussels: rejecting the ‘rich get richer’ model. Biological Invasions, 2010, 12(1): 233-240.
- [27] McKinney M L. Urbanization, biodiversity, and conservation. BioScience, 2002, 52(10): 883-890.