

# 城市化对植物多样性影响的研究进展

彭羽 刘雪华\*

(清华大学环境科学与工程系, 北京 100084)

**摘要:** 本文综述了城市化对植物多样性影响的研究进展。随着全球特别是发展中国家城市化水平的提高, 城市化对生物多样性的影响逐渐引起了人们的重视。城市化造成了本土植物物种的丢失和外来物种的增加。在空间分布上, 城市化还常使城区本土植物多样性沿着远郊农区—城郊—城区梯度性下降; 但是由于引进大量外来物种, 总体植物多样性反而升高, 沿着远郊农区—城郊—城区梯度性升高。城市化对植物种类组成也有很大影响, 优势种在远郊农区、城郊和城区呈现不同。城市化对植物多样性影响的机制主要有引入外来物种、小生境改变以及景观格局的变化三个方面。以下四个研究方向将越来越重要: (1) 不同区域、不同方法、不同学科的系统整合研究; (2) 城市化扩张与植物多样性变化过程的定位监测研究; (3) 本土植物多样性丢失以及性状改变的内在机制研究, 特别是外来物种与本地物种的相互作用过程和机制的研究; (4) 城市植物多样性保护研究。

**关键词:** 城市化, 植物多样性, 影响机制, 研究进展

## Research progress in effects of urbanization on plant biodiversity

Yu Peng, Xuehua Liu\*

Department of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084

**Abstract:** An overview of research progress of urbanization impacts on plant biodiversity was given. With a worldwide expanding of urbanization, especially in developing countries, effects of urbanization on biodiversity are attracting more attention. Urbanization reduces native plant species whilst increases introduced plant species. As for distribution of plant species, richness of native plant decreases along rural, rural-urban fringe and urban gradient. However, richness of introduced plant species increases, which results in increasing of total plant species richness along the same gradient. Urbanization also produces the great influence on plant species composition and makes the dominant species varying along the gradient. The mechanism of urbanization affecting plant biodiversity mainly lies on three aspects, i.e., introduction of exotic species, change of microhabitat, and altering of landscape pattern. Concerning further researches, four main trends will become more and more important: (1) systematical integration of different regions, various methods and multi-disciplines, (2) long-term site monitoring the urban expanding and plant biodiversity changing, (3) research on interior mechanism of native plant species' loss and characteristics' change, especially the inter-actions between the exotic and native plant species, and (4) urban plant biodiversity conservation.

**Key words:** urbanization, plant biodiversity, influencing mechanism, research progress

随着经济发展和人们生活水平的提高, 城市化水平将进一步提高。据联合国预测, 未来30年城市人口增加的数量相当于世界总人口增加的数量; 未来15年, 百万人口大城市将增加40%, 这些增加主要发生在发展中国家(United Nations, 2004)。

1990–2002年, 我国城市化水平从18.96%提高到39.10%, 平均每年增长1.68%(胡碧波和罗福周2006)。预计到2010年, 城市化水平将达到47%, 2020年将达到53%以上(国家人口计生委, 2007)。城市化水平的迅速提高, 会带来很多生态问题。其中, 城

收稿日期: 2007-03-02; 接受日期: 2007-06-16

基金项目: 廊坊市政府生态市规划项目和清华-美铝(Alcoa)基金会中国农村地区可持续发展研究项目

\* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: xuehua-hjx@tsinghua.edu.cn

城市化对生物多样性的影响,是人们关注的焦点问题,也是当前生态学研究热点问题之一(Crane & Kinzig, 2005)。欧洲、北美、日本、澳洲等发达国家已有很多研究(McKinney, 2006)。在发展中国家,城市化常有两个特征:一是自然生态系统被人工建筑物所取代;二是自然土壤被以外来观赏植物为主的绿地所取代,从而对生物多样性产生很大的影响,但是,发展中国家有关这方面的研究很少(Pauchard *et al.*, 2006)。

我国学者很早就注意到了这个问题(石光裕和马克平, 1982; 王献溥, 1996)。马克明等(2001)对河北省遵化市的植物多样性分布进行了深入研究; 王应刚等(2004)比较了太原市城区与郊区植物种类的变化; 李俊生等(2005)就城市化对生物多样性的影响问题进行了系统的综述,并对未来研究方向提出了建议; 晏华等(2006)以重庆市为例,研究了城市化对生物多样性的影响。总结国内外相关文献,可以从城市化对植物多样性影响、影响的机制以及植物响应等方面加以总结分析。

## 1 城市化对植物多样性的影响及植物的响应

### 1.1 对物种数量的影响

城市化造成本土植物物种的丢失和外来物种的增加。美国这方面的研究较多, Bertin(2002)研究了美国 Worcester 13个城镇在50–150年间的植物种类变化,发现本土物种丰富度降低了3–46%; Standley(2003)的研究表明马萨诸塞州的Needham城丢失了近一半的本土植物物种(330种),增加了200个外来植物物种; DeCandido等(2004)的研究表明,100年来,纽约城丢失了578个本土物种(占总数的43%),然而增加了411个外来物种。Chocholouskova和Pysek(2003)在欧洲、Tait等(2005)在澳洲的研究也证实了这种趋势。

### 1.2 对植物空间分布的影响

很多研究证实,随着人为干扰强度由中心城区、城市周边郊区向远郊乡村逐渐降低,植物(张金屯和Pickett, 1999; Moffatt *et al.*, 2004)、鸟类(Crooks *et al.*, 2004; Chace & Walsh, 2006)、昆虫(Denys & Schmidt, 1998; Desender *et al.*, 2005)以及哺乳动物(Mackin-Rogalska *et al.*, 1988)的生物多样性在空间

分布上呈现逐渐增加的趋势。对植物多样性的计算,主要集中在本土物种;如果将外来植物计算在内,则会产生第二种结果,城区的植物多样性比周围远郊农区的高。马克明等(2001)对河北遵化的研究表明,植物物种总数、乔木和花卉由城市向农村依次递减,城市植物物种为90种,城郊63种,乡村56种。Honnay等(2003)对比利时弗兰德斯地区的研究也发现,植物种类丰富度由远郊农区、郊区到城区呈现梯度递增,这种递增主要是由于引入外来观赏植物种类造成的。McKinney(2006)总结了美国8个城市的物种多样性,发现城区植物多样性常高于周围乡村地区,这是因为城区不断有物质、食品输入,动物物种也比郊区更加多样。

### 1.3 种类组成的空间变化

从城区到郊区再到农区,植物群落结构逐渐复杂化,种类组成明显变化,优势种也发生更替。例如,纽约市城区—郊区—农区森林植被优势种分别为黑橡(*Quercus velutina*)、白橡(*Q. alba*)和北方红橡(*Q. rubra*)(张金屯和Pickett, 1999)。虽然城市化导致了外来物种增加,但是,群落结构中本土植物的相似性仍然很突出。McKinney(2006)在美国8个城市的调查中发现,随着城市化程度递减,外来植物物种的相似性系数显著下降,而本土物种相似性系数变化很小,说明本土植物对于维护城市植物群落稳定性有很重要的意义。

### 1.4 植物对城市化的响应

不同种类的植物对城市化的响应也不一样。适应性广的 $r$ 对策植物,或者 $k$ 对策的本土植物一般能够适应城市化的变化。城市里面的先锋植物多为草本类,特别是杂草和一年生草本植物,它们能够忍受较高程度的干扰。例如道路旁边和废弃工业用地生长的杂草,常常能够耐受较高的空气污染、践踏和碱性的、紧实的、富氮的土壤(Whitney, 1985; McKinney, 2006)。本土植物也可能发生基因变异以适应城市化(Sukopp, 2004)。街道两旁的高大乔木由于采取 $k$ 对策,能够忍受较为剧烈的人为干扰。这些植物种类适应性较强,在不同的城市中心区几乎都有发现(McKinney, 2006)。Van der Veken等(2004)在研究比利时城区1880–1999年期间植物物种的变化时也同样发现,广适性物种变得越来越普遍,而专适性物种的分布则下降。

## 2 城市化对植物多样性影响机制的分析

### 2.1 人为引入

人为引入是造成外来植物增加的重要原因。城市化对外来物种有利的一个重要原因是人们有意或无意的引入外来物种,主要是观赏绿化植物种类;并且,为了维持外来物种生存和繁殖,人们创造出适合外来物种的生境,例如人造绿地,以及施加人为干扰如除草、施肥、病虫害防治等,而这些人为干扰打乱了自然生境上的物种演替和竞争机制,往往不利于本土物种(DeCandido *et al.*, 2004; McKinney, 2006)。

### 2.2 小生境改变

小生境改变造成植物多样性和种类组成发生变化。城区的紫外线辐射、日照时间、年平均风速、相对湿度均比周围乡村低,而年均温度、年降雨量、云层覆盖、雾日、人口密度、道路密度、机动车辆、土壤紧实度均比周围乡村高(Collins *et al.*, 2000; Pickett *et al.*, 2001)。沿着远郊农区—郊区—城区梯度,白天CO<sub>2</sub>平均浓度提高了21%,日最高和最低温度分别提高了1.6°C和3.3°C(Ziska *et al.*, 2004)。城市建设过程中,大量使用混凝土造成土壤酸碱度和SO<sub>2</sub>升高,也会导致本土植物物种的改变(Gilbert, 1989; Sukopp, 2004)。对纽约市的研究表明,从城区、郊区到远郊农区,土壤主要重金属含量逐渐降低(张金屯和Pickett, 1999);土壤氮流失递减(Pouyat & Turechek, 2001)。Van der Veken 等(2004)对比比利时城市沿着城区—郊区—远郊农区1880—1999年期间植物物种的研究变化发现,植物物种的增加多发生在营养丰富地区,而种类降低则发生在营养缺乏地区。Zhao等(2007)调查了南京市城市化对土壤特性的影响,发现土壤砂砾含量、沙土含量、pH值、磷含量和土壤紧实度变化较大,而以本土植被的土壤受城市化影响最大。Godefroid等(2006)进行了城区植物组成与植物小生境关系的研究,发现植物种类组成主要受土壤养分含量、土壤水分、土壤pH值以及光照强度的影响。植物种类组成上,沙土、碎石地点相一致,混凝土废弃地点与之差别较大。从重要值比较来看,大叶醉鱼草(*Buddleja davidii*)的沙质土(29)、混凝土(39)、残垣断壁(28)附近都很高,大车前(*Plantago major*)在鹅卵石处,荨麻(*Urtica dioica*)、小花柳叶菜(*Epilobium*

*parviflorum*)、草甸羊茅(*Festuca pratensis*)较为均匀地分布在碎石土层;垃圾堆积点附近多分布着拂子茅(*Calamagrostis epigejos*),耐践踏的同花母菊(*Matricaria discoidea*)、篇蓄(*Polygonum aviculare*)、大车前多分布在道路周边。城区废弃的墙体对植物种类组成有显著影响,导致丰富度和多样性下降,这可能是墙体阻碍了植物种子传播(Godefroid *et al.*, 2006)。相关分析发现,土壤氮含量与城市化水平、外来物种出现频率呈负相关,与本土物种出现频率呈正相关,混凝土层能够提高外来物种比例,减少本土物种的丰富度和多样性。作者建议城市管理者应当减少城区废弃地,从而减少外来物种入侵的可能(Godefroid *et al.*, 2006)。值得指出的是,城区垃圾倾倒和堆积带来一些营养物质,甚至植物种子,对植物的影响并没有表现出人们预料中的显著性(Stenhouse, 2004)。

### 2.3 景观格局变化

景观格局变化是影响植物多样性分布的一个重要因素。研究发现,森林斑块大小、景观多样性、异质性与植物多样性呈正相关,与隔离度呈现负相关。张金屯和Pickett(1999)对纽约市的研究表明,从城区、郊区到远郊农区,森林景观的斑块数量减少,斑块面积增大,斑块皱褶度降低,这些变化与植物多样性有显著的相关性。城区的建立,形成了很多新的和人造景观,对本土植物物种不利(Byers, 2002)。植物种类丰富度与景观多样性指数呈正相关,而景观破碎化指数可能仅影响珍稀濒危植物的分布(Honnay *et al.*, 2003)。景观异质性也影响植物多样性,Cornelis 和 Hermy (2004)比较城区公园与郊区公园发现,公园生态异质性增加有利于提高生物多样性,较大面积的公园比较小面积的公园对于保护生物多样性更为有效。Murakami等(2005)对日本京都的研究也发现,蕨类植物丰富度与景观异质性、生境多样性、森林斑块面积呈现显著相关性,同时发现,蕨类多样性指数(丰富度、Shannon指数、Simpson指数倒数的对数)与森林斑块面积的对数有显著的正相关,而与远郊山区森林的距离的对数呈现显著负相关。由此推断,城区—郊区—远郊农区的蕨类多样性取决于斑块大小以及与山区森林的隔离距离。

### 3 研究展望

综上所述,国内外对于城市化对植物多样性的影响已经有广泛而深入的研究。但是由于牵涉到保护生物学、城市生态学、植物生态学等多个研究领域,这方面的研究还有进一步拓宽和深入的空间,集成性的系统研究尚没有形成。主要表现如下:第一,植物多样性受城市化干扰后,植物从种群到生态系统的变化特征,尚没有阐述清楚;如何从种群、群落、生态系统角度研究植物生物多样性的变化,构建城市中稳定的本土植物群落,尚没有相应的对策措施提出;第二,城市化驱动植物多样性变化的生态过程尚不清楚,以往研究大多还停留在现象的描述和总结上,缺乏定量的分析;第三,虽然研究者阐述了城市化对植物多样性影响的原理,但是它对于植物内在的生理生态特性的影响研究尚不多见,植物多样性变化的内在机制尚不清楚。

可以预见的是,随着农村城市化的趋势以及生物多样性的持续下降,城市植物多样性研究将向纵深全面推进。未来城市化对植物多样性影响的研究可能形成以下主要研究方向:

第一,系统集成研究。从研究地点上,选取寒带、温带、暖温带、亚热带、热带等不同气候带典型城市,系统调查植物多样性在不同城市化程度上的空间分布及其特征。宏观上运用地理信息系统、遥感和地球定位系统等3S技术,中观上运用样方调查和群落分析,微观上应用同工酶电泳、PCR序列分析进行遗传多样性分析,结合植物生理生态、生理生化技术,从宏观到微观,运用多学科协同攻关,系统集成性地研究城市化对植物多样性影响的过程、结果、机制,系统提出保护和保持城市本土植物多样性的对策措施;

第二,定位监测研究。建立城市植物多样性定位研究站,采取实验性手段和观察手段,对城市化扩张与植物多样性变化的过程进行长期跟踪监测;

第三,内在机制研究,结合城市化带来的景观、生态系统、土壤基质等的变化,通过多学科协同研究,对本土植物多样性丢失以及性状改变进行内在机制研究,特别是外来物种与本地物种的相互作用过程和机制的研究;

第四,城市植物多样性保护研究。稳定的本土植物群落对于维护城市生态系统平衡、美化环境的

功能逐渐引起人们重视,如何构建稳定的本土植物群落,组建多样性丰富的本土植物绿地,设计城市植物保护区的形状、位置和面积,进一步优化市域范围内的植物多样性布局,将成为城市植物多样性保护的重要内容。

### 参考文献

- Bertin RI (2002) Losses of native plant species from Worcester, Massachusetts. *Rhodora*, 104, 325-349.
- Blair RB (1996) Land use and avian species diversity along an urban gradient. *Ecological Applications*, 6, 506-519.
- Byers JE (2002) Impact of non-indigenous species on natives enhanced by anthropogenic alteration of selection regimes. *Oikos*, 97, 449-458.
- Chace JF, Walsh JJ (2006) Urban effects on native avifauna: a review. *Landscape and Urban Planning*, 74, 46-69.
- Chocholouskova Z, Pysek P (2003) Changes in composition and structure of urban flora over 120 years: a case study of the city of Plzen. *Flora*, 198, 366-376.
- Collins JP, Kinzig A, Grimm NB (2000) A new urban ecology. *American Scientists*, 88, 416-425.
- Cornelis J, Hermy M (2004) Biodiversity relationships in urban and suburban parks in Flanders. *Landscape and Urban Planning*, 69, 385-401.
- Crane P, Kinzig A (2005) Nature in the metropolis. *Science*, 308, 1225.
- Crooks KR, Andrew VS, Bolger DT (2004) Avian assemblages along a gradient of urbanization in a highly fragmented landscape. *Biological Conservation*, 115, 451-462.
- Czech B, Krausman PR, Devers PK (2000) Economic associations among causes of species endangerment in the United States. *BioScience*, 50, 593-601.
- DeCandido R, Muir AA, Gargiullo MB (2004) A first approximation of the historical and extant vascular flora of New York City: implications for native plant species conservation. *Journal of the Torrey Botanical Society*, 131, 243-251.
- Denys C, Schmidt H (1998) Insect communities on experimental mugwort (*Artemisia vulgaris* L.) plots along an urban gradient. *Oecologia*, 113, 269-277.
- Desender K, Small E, Gaublomme E, Verdyck P (2005) Rural-urban gradients and the population genetic structure of woodland ground beetles. *Conservation Genetics*, 6, 51-62.
- Gilbert OL (1989) *The Ecology of Urban Habitats*. Chapman & Hall, London.
- Godefroid S, Monbaliu D, Koedam N (2006) The role of soil and microclimatic variables in the distribution patterns of urban wasteland flora in Brussels, Belgium. *Landscape and Urban Planning*, 80, 45-55.
- Honnay OK, Piessens W, van Landuyt M, Gulinck H (2003) Satellite based land use and landscape complexity indices as predictors for regional plant species diversity. *Landscape and Urban Planning*, 63, 241-250.

- Hu BB (胡碧波), Luo FZ (罗福周) (2006) Study progress of urban-rural integration area. *Shanxi Architecture* (山西建筑), 32, 19-20. (in Chinese with English abstract)
- Li JS (李俊生), Gao JX (高吉喜), Zhang XL (张晓岚), Zheng YM (郑筱梅) (2005) Effect of urbanization on biodiversity: a review. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), 24, 953-957. (in Chinese with English abstract)
- Ma KM (马克明), Fu BJ (傅伯杰), Guo XD (郭旭东) (2001) Impact of urbanization in rural areas on plant diversity: a case study in Zunhua City. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 12, 837-841. (in Chinese with English abstract)
- Mackin-Rogalska R, Pinowski J, Solon J (1988) Changes in vegetation, avifauna, and small mammals in a suburban habitat. *Polish Ecological Studies*, 14, 293-330.
- Matsumoto J, Muraoka H, Washitani I (2000) Ecophysiological mechanisms used by *Aster kantoensis*, an endangered species, to withstand high light and heat stresses of its gravelly floodplain habitat. *Annals of Botany*, 86, 777-785.
- McKinney ML (2006) Urbanization as a major cause of biotic homogenization. *Biological Conservation*, 127, 247-260.
- Moffatt SF, McLachlan SM, Kenkel NC (2004) Impacts of land use on riparian forest along an urban-rural gradient in southern Manitoba. *Plant Ecology*, 174, 119-135.
- Murakami K, Maenaka H, Morimoto Y (2005) Factors influencing species diversity of ferns and fern allies in fragmented forest patches in the Kyoto city area. *Landscape and Urban Planning*, 70, 221-229.
- National Population and Family Planning Commission of China (国家人口计生委) (2007) *Study Report on National Population Development Strategy*. <http://www.chinapop.gov.cn/fztlbg/index.html>.
- Neil K, Wu JG (2006) Effects of urbanization on plant flowering phenology: a review. *Urban Ecosystem*, 9, 243-257.
- Pauchard A, Aguayo M, Peña E, Urrutia R (2006) Multiple effects of urbanization on the biodiversity of developing countries: the case of a fast-growing metropolitan area (Concepción, Chile). *Biological Conservation*, 127, 272-281.
- Pickett STA, Cadenasso ML, Grove GM (2001) Urban ecological systems: linking terrestrial, ecological, physical, and socioeconomic components of metropolitan areas. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 32, 127-157.
- Pouyat RV, Turechek WW (2001) Short and long-term effects of site environment on net N mineralization and nitrification rates along an urban-rural gradient. *Urban Ecosystems*, 5, 159-178.
- Shi GY (石光裕), Ma KP (马克平) (1982) Vegetation traits in Qiqihaer city and suggestions of keeping urban ecological balance. *Journal of Science of Teachers College and University* (高师理科学刊), (2), 64-69. (in Chinese)
- Standley LA (2003) Flora of Needham, Massachusetts—100 years of floristic change. *Rhodora*, 105, 354-378.
- Stenhouse RN (2004) Fragmentation and internal disturbance of native vegetation reserves in the Perth metropolitan area, Western Australia. *Landscape and Urban Planning*, 68, 389-401.
- Sukopp H (2004) Human-caused impact on preserved vegetation. *Landscape and Urban Planning*, 68, 347-355.
- Tait CJ, Daniels CB, Hill RS (2005) Changes in species assemblages within the Adelaide Metropolitan Area, Australia, 1836-2002. *Ecological Applications*, 15, 346-359.
- United Nations (2004) *World Urbanization Prospects*. U.N. Department of Economic and Social Affairs, New York.
- van der Veken S, Verheyen K, Hermy M (2004) Plant species loss in an urban area (Turnhout, Belgium) from 1880 to 1999 and its environmental determinants. *Flora*, 199, 516-523.
- Wang XP (王献溥) (1996) The effects of urbanization on biodiversity. *Rural Eco-environment* (农村生态环境), 12(4), 32-36. (in Chinese with English abstract)
- Wang YG (王应刚), Li JM (李建梅), Li SL (李淑兰), An SJ (安世杰) (2004) Effect of artificial interference on plant diversity in urban area. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), 23(2), 102-110. (in Chinese with English abstract)
- Whitney GG (1985) A quantitative analysis of the flora and plant communities of a representative midwestern U.S. town. *Urban Ecology*, 9, 143-160.
- Yan H (晏华), Yuan XZ (袁兴中), Liu WP (刘文萍), Deng HL (邓合黎) (2006) Effects of urbanization on butterfly diversity: a case study in Chongqing. *Biodiversity Science* (生物多样性), 14, 216-222. (in Chinese with English abstract)
- Zhang JT (张金屯), Pickett SA (1999) Effects of urbanization on forest, soil and landscape. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 19, 654-655. (in Chinese with English abstract)
- Zhao YG, Zhang GL, Harald Z, Yang JL (2007) Establishing a spatial grouping base for surface soil properties along urban-rural gradient—a case study in Nanjing, China. *Catena*, 69, 74-81.
- Ziska LH, Bunce JA, Goins EW (2004) Characterization of an urban-rural CO<sub>2</sub>/temperature gradient and associated changes in initial plant productivity during secondary succession. *Oecologia*, 139, 454-458.

(责任编辑: 马克明 责任编辑: 周玉荣)