

城市地表硬化的复合生态效应及生态化改造方法

赵丹

(北京市城市规划设计研究院,北京 100045)

摘要 城市地表硬化是城市化和工业化的重要特征之一,也是人类活动对自然生态系统干扰的集中体现。城市地表硬化改变了水、土、气、生、矿等生态因子和气体交换、水分利用、养分循环、能量平衡等生态过程,进而对城市生态服务功能和人居生活品质造成一定的影响。本论文在对城市地表硬化的典型特征、形成机制及其与城市化之间关系进行辨识的基础上,探讨了地表硬化对典型生态因子和相关生态过程的影响,并从生态规划、生态工程和生态管理的角度出发,提出“预防—减缓—补偿”(PLC)全过程的生态改造措施,以期对减少地表封闭和硬化的负面生态效应,提高城市生态系统服务提供一定的科学参数和依据。

关键词 城市化;不透水;生态系统服务;生态改造

中图分类号 X32

文献标识码 A

文章编号 1002-2104(2016)05增-0213-05

城市是一类以人类活动为中心的社会-经济-自然复合生态系统^[1]。随着城市化的快速发展,城市土地覆盖/利用类型发生了显著变化,原来以植被为主的自然景观逐渐被众多的人工景观所取代。城市地表硬化是城市发展和扩张的重要特征之一,也是人类对城市生态系统干扰和破坏的集中表现^[2]。城市以水泥、沥青、混凝土等为主的硬化铺装,大多数为不透水层,严重阻碍土壤和大气之间的物质和能量的交换,改变了能量平衡、水分利用、养分循环、气体交换等典型的生态过程,进而对城市生态系统服务和人居环境造成不同程度的影响^[3,4]。

1 城市硬化地表的典型特征及形成机制

1.1 地表硬化的定义及特征

生态系统角度:地表硬化是用面层或其他物体(包括完全不透水或部分透水的材料)将土壤与生态系统的其他结构(如生物圈、大气圈、水圈以及土壤圈的其他部分)分隔。

生态功能角度:地表硬化是用不透水材料对土壤表层进行覆盖使其自然属性改变,阻断了水肥气热的交换,从而使土壤不能执行与之相关的各种功能。

广义的定义:改变了土壤的自然属性,使其成为不透水介质。这一定义包括了土壤压实和自然的土壤板结。

本文中,城市地表硬化定义为:城市扩展和基础设施建设过程中,人为利用沥青、混凝土、塑料、玻璃等不透水或半透水型的材料对自然土壤表层的封闭,进而阻隔了土

壤和大气、生物之间水、肥、气、热等物质和能量的交换,进而影响相关生态过程和生态系统服务。

1.2 城市地表硬化的形成机制

利用驱动力-压力-状态-影响-响应(DPSIR)模型来表征城市地表硬化的形成机制(见图1)。可见,城市扩张、人口的增加及工商业的发展是城市地表硬化的主要驱动力,由于城市建设过程中大量采用水泥、柏油、混凝土等材质覆盖土壤表面,形成土壤封闭、耕地丧失、土壤污染等状态,进而造成大片田野、耕地、水域等自然生态用地消失,给城市生态和环境带来显著的不利影响。

2 地表硬化与城市化之间的相关性分析

地表硬化与城市人口的急剧增加及土地利用的改变密切相关。从图2可知,城市人口和硬化地表增长的耦合关系可分为三种趋势^[5]。情景一,人口增长速度大于硬化地表扩展速度,城市人口是硬化地表扩展的正驱动力,土地利用强度提高;情景二,人口增长速度约等于硬化地表扩展速度,土地利用强度没有明显提高;情景三,人口增长速度小于硬化地表扩展速度,该情景下土地利用强度明显降低,是一种不可持续的发展趋势。

2.1 与城市人口相关性

通过对北京市1985—2009年建成区硬化面积、建成区总面积与常住人口增长趋势的分析(见图3),可以看出:北京市建成区的人口增加速度大于硬化地表扩展的速度,即建成区人口增长是硬化地表扩张的正驱动力,土地

收稿日期:2016-03-30

作者简介:赵丹,博士,主要研究方向为城市生态环境规划与低碳发展。

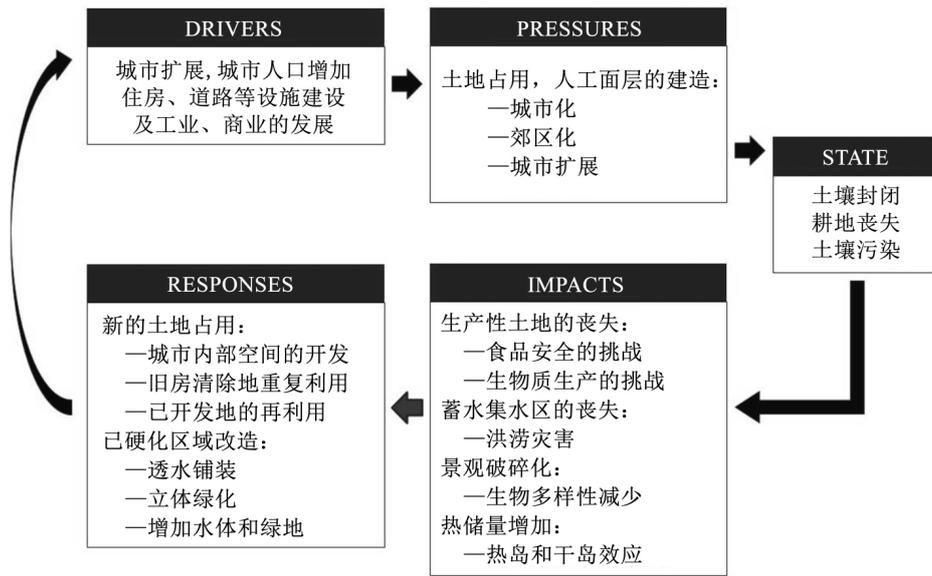


图1 城市地表硬化的 DPSIR 模型图

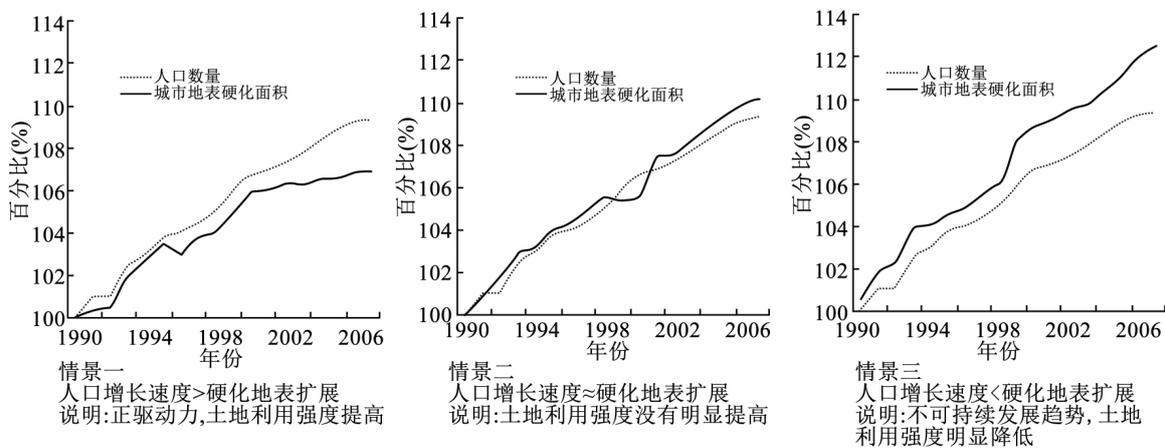


图2 城市人口与硬化地表的关系图^[5]

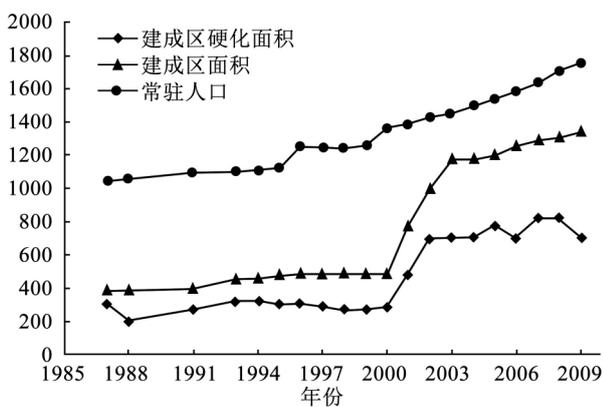


图3 城市人口数量与建成区面积变化图

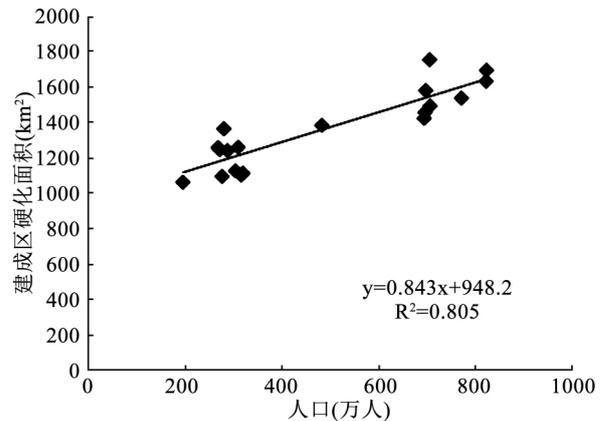


图4 城市人口数量与建成区面积相关性分析图

利用强度逐年增加。从图4也可以看出,建成区硬化面积与人口数量密切相关,其相关系数 $R^2 = 0.805$ 。

2.2 与土地利用类型的相关性

城市中不透水面的数量和分布格局与城市土地利用形态具有密切的相关性。不透水面覆盖度(ISP)是指单位地表面积中不透水面的面积所占的百分比。依据不同的ISP取值范围可将城市土地利用划分为4种类型^[6](见表1)。通过1956-2007年北京市土地利用类型的变化(见图5)可以看出:中低密度城镇用地的面积增长迅速,而高密度城镇用地增幅缓慢,也即硬化率30-70%之间的土地利用面积增加较多。

表1 根据ISP范围划分的4类城市用地类型表

城市土地利用类型	非建设用地	中低密度城镇用地	中高密度城镇用地	高密度城镇用地
ISP范围/%	<30	31-50	51-80	81-100
主要地物组成	农业用地和城市绿地等	居民地和少量道路等	道路、老城区和商业用地等	商业用地和工业仓储用地等

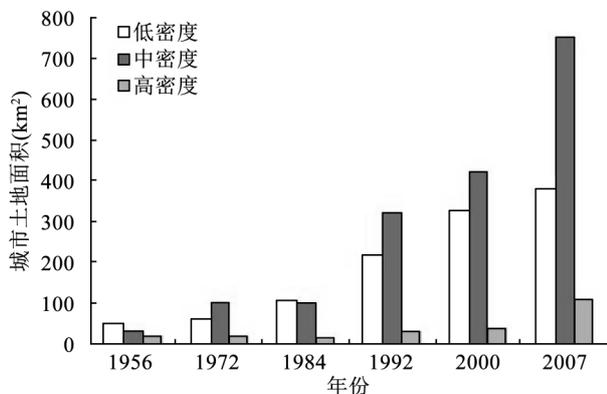


图5 不同年限下北京市硬化面积变化图

3 城市地表硬化对生态因子及相关生态过程的影响

3.1 水——水分循环

城市建设后下垫面结构发生明显变化,原有植被和土壤被不透水面替代,作为天然调蓄系统的池塘、湿地被填平,原有的雨水径流途径被排水管网和硬化化的城市河道取代,使得降雨量增多,土壤下渗和植物蒸腾作用降低,而地表径流量大大增加,而且径流汇流时间缩短,洪峰增大。另外,硬质的屋面和路面的增多使得降雨过程中水体的面源污染机会和强度显著增加。而硬质护岸的构建使其对非点源污染的拦截与降解功能丧失殆尽,进一步加重河流污染。此外,城市硬质地表的增加,还将自然降雨完全与地面下部土层及地下水阻断,降雨只好通过城市排水系统

管渠排入承泄区等地表水源中,造成城市地下水源难以得到及时的补充,严重影响雨水的有效利用。

3.2 土——养分利用

城市地表硬化改变和破坏了城市土地原有的自然景观,大量的生态用地被蚕食和破坏,导致土地生态服务功能降低和人类生存环境恶化。城市客土填充及硬化表面对土壤的覆盖,显著改变了土壤的理化性质,使其孔隙率下降,容重增加、有机质下降,土壤的生物量减小,重金属沉积^[8]。而且无正常或完整的自然剖面分异特征,土壤质地也发生明显改变:石子、砂粒及人为附加物等含量增加,而粘粒和粉粒含量降低^[9],进而影响城市土壤的质量和功能。

3.3 气——气体交换

会“呼吸”的土壤保持了城市地面的湿度、温度及空气的流通。而城市内大面积的人工构筑物 and 硬化地表,吸热快而且热容量小,改变了下垫面的热属性,加重热岛效应^[10,11]。另外,城市中机动车辆、工业生产以及人类活动,产生大量的氮氧化物、二氧化碳、粉尘等物质可以大量吸收环境中热辐射的能量,导致城市灰霾效应和大气污染。此外,硬覆盖也阻隔了大气—植物—土壤这个连续体的气体交换,使大量的CO₂聚集在硬化地表之下(位于混凝土层下的砖内20cm~30cm深处的CO₂含量最高),使得树木根系缺氧而进行厌氧呼吸,最终造成根系生长停止、树木死亡等后果^[12,13,14]。另外,硬化地表造成的地表灼热,使得叶片气孔导度下降,影响植物和大气CO₂、O₂和H₂O等气体的交换^[15]。在高温缺水的地区,植物关闭气孔,以此减少水分的蒸腾散失,应对水分胁迫^[16,17]。

3.4 生——生物多样性

城市地表硬化对生态用地的占用,生境的干扰,生态因子的改变,生态通道的阻隔以及外来物种的入侵,导致城市生物多样性降低,城市生物生态服务功能下降^[18]。石材水泥硬化的河道或引水渠没有泥层,水中难以生长具有净水功能的植物、微生物、鱼和其它水生生物,破坏了生物链和迁徙廊道,阻断了滨水生态系统得以自我恢复和更新的通道^[19]。

3.5 矿——地球化学循环

城市地表硬化对土壤的封闭及各种生产活动对生态系统生物化学循环有着显著影响,是引发温室效应、水体富营养化等生态环境问题的重要原因之一。随着城市化和工业化的发展,城市碳排放显著增加,而同时原来的自然植被被硬化地表所代替,植物和土壤的固碳能力降低。而且硬化地表影响氮素迁移转化和土壤氮含量等,使得大量的活性氮被地表径流冲刷到水体中,引起水体富营养化^[20]。

4 城市地表硬化的“PLC”复合生态化改造方法

城市地表硬化的生态化改造应当针对不同尺度(区域、流域、城市、小区)地表硬化的特征和作用,从生态规划、生态工程和生态管理等方面出发,采取整合的、全过程的、系统的生态化改造方法。

针对已硬化地表和新开发用地,采取“预防—减缓—补偿”(“Prevent—Limit—Compensate”(PLC))等全过程的生态改造措施,对提高城市生态系统服务,改善城市环境具有重要意义。

4.1 预防

划定城市增长边界,提高土地利用效率,避免不必要的城市扩张。

完备透水铺装和立体绿化的法律、法规、政策和标准等。

落实海绵城市建设,保证雨水资源的合理利用。

城市规划前进行生态经济功能分区、生态红线划定等,区分必须严格进行生态保护的区域和可适当硬化和建设的区域。

在城市规划过程中,协调好建设用地和生态用地的关系,实现绿韵和红脉的和谐共生。

将有关地表硬化的问题纳入城市建设范畴,切实做到同步设计、同步施工、同步验收。

建立一套完备的生态控制性详规,在城市总体规划或分区规划中对“城市透水地表比例”和“城市立体绿化比例”等提出要求和规定。

确定城市可铺设透水地面(路面)的区域,并因地制宜地提出城市透水地面类型。

对已硬化区域,引导新的发展模式,如立体绿化等措施和方法。

4.2 减缓

无论如何,城市发展过程中城市地表硬化和土壤占用是不可避免的,因此,地表硬化负面生态效应的减缓显得尤为重要,可通过以下方式实现:

(1) 通过透水铺装、立体绿化等生态工程措施改善土壤功能,减少洪涝灾害,减轻热岛和干岛效应等。

(2) 已硬化地面化整为零,减少大面积硬化的负面生态效应;

(3) 增强城市雨水下渗、贮存能力、就地滞洪蓄水、减轻洪涝灾害。

4.3 补偿

对城市建设中占用的生态用地进行生态功能就地补偿。

在城市化地区生态资产管理中引入“生态物业管

理”,由“生态物业企业”负责监测、评价、监督和管理已开发的土地和被占用的生态服务,并按年度进行常规审计。

从资金、设备、技术方面,积极鼓励雨水收集利用。

5 结论与展望

本研究在对地表硬化典型特征、形成机制辨识的基础上,对城市人口增长、土地扩张与地表硬化的关系进行分析,并探讨了城市地表硬化对城市生态因子、典型生态过程及相关生态服务功能的影响及机制。最后提出城市地表硬化的生态化改造应当针对不同尺度(区域、流域、城市、小区)地表硬化的特征和作用,从生态规划、生态工程和生态管理等方面出发,采取整合的、全过程的、系统的生态化改造方法。

虽然针对地表硬化的生态效应及改造方法的研究国内外已经有一定的研究基础,但还存在很多问题。主要表现为:

(1) 研究程度上,大多还停留在定性或不完全定量的基础上,缺乏硬化生态效应的定量评价,其机制尚不清楚。

(2) 研究内容上,主要聚焦于城市硬化地表对热岛效应及城市地表径流的影响,针对城市地表硬化对土壤质量、功能及元素循环的影响尚处于起步探索阶段。

(3) 研究方法上,目前大多数学者采用遥感及GIS的方法进行空间尺度的研究,而实地监测和实验测定较为缺乏。

(4) 研究角度上,主要关注城市地表硬化对城市生态环境某一方面的影响,而缺乏针对城市地表的复合生态效应和生态化改造方法的系统研究。

(编辑:田红)

参考文献

- [1] 马世骏,王如松. 社会-经济-自然复合生态系统[J]. 生态学报,1984,4(1): 1-9.
- [2] EEA (European Environment Agency). Proceedings of the Technical Workshop on Indicators for Soil Sealing [R], EEA, Kobenhavn, EU, 2001.
- [3] Scalenghe R, Marsan F A. The Anthropogenic Sealing of Soils in Urban Areas [J]. Landscape and Urban Planning, 2009, 90: 1-10.
- [4] 赵丹,李锋,王如松. 城市地表硬化对植物生理生态的影响研究进展[J]. 生态学报,2010,30(14): 3923-3932.
- [5] Prokop G, Jobstmann H, Sch Nbauer A. Overview of Best Practices for Limiting Soil Sealing or Mitigating Its Effects in EU-27 [R]. Environment Agency Austria, 2011, doi: 10.2779/15146.
- [6] Lu D, Weng Q. Use of Impervious Surface in Urban Land use Classification [J]. Remote Sensing of Environment, 2006, 102(1-2): 146-160.
- [7] 张书函,潘安君. 城市雨洪利用的设计降雨分析方法探讨[J]. 北京水利,2006,(3): 9-12.

- [8] 张建军, 袁春, 付梅臣, 等. 北京市耕地面积变化趋势预测及保护对策研究[J]. 资源开发与市场, 2006, 22(6): 497-499.
- [9] Steve M R., Lucy R H., Adrien C F. Depleted Soil Carbon and Nitrogen Pools Beneath Imperious Surface [J]. Environment Pollution, 2012, 164: 248-251.
- [10] Burghardt W. Soil Sealing and Soil Properties Related to Sealing [M]. Geological Society, London, Special Publications. 2006, 266: 117-124.
- [11] Wiegand J S. The Sealing of Soils and Its Effect on Soil-gas Migration [J]. Nuovo Cimento C, 1999, 22: 449-455.
- [12] Gilman E F, Leone I A, Flower F B. Effect of Soil Compaction and Oxygen Content on Vertical and Horizontal Root Distribution [J]. Journal of Environmental Horticulture, 1987, 5: 33-36.
- [13] 孔正红, 李树人, 李有福, 等. 不同硬化地面类型对城市悬铃木物质循环的影响[J]. 河南农业大学学报, 1998, 32(4): 314-319.
- [14] 侯晓丽, 丁蕴铮, 王焕新, 等. 根际土壤实施钻孔通气法对改善行道树生长势衰弱的实验研究[J]. 城市土壤, 2005, 3(5): 48-50.
- [15] 邹丽敏, 丁蕴铮, 张广增, 等. 硬覆盖对城市街路行道树土壤呼吸的影响[J]. 中国城市林业. 2004, 2(1): 34-37.
- [16] Erin C M, Thomas A D. The Effect of Urban Ground Cover on Microclimate and Growth and Leaf Gas Exchange of Oleander in Phoenix, Arizona [J]. Biometeorol, 2005, 49: 244-25.
- [17] Danielle D I, Travis E H, Jake F W, et al. Leaf Gas Exchange and Water Status Responses of a Native and Non-native Grass to Precipitation Across Contrasting Soil Surfaces in the Sonoran Desert [J]. Oecologia, 2007, 152: 401-413.
- [18] Jim C Y. Physical and Chemical Properties of a Hong Kong Roadside Soil in Relation to Urban Tree Growth [J]. Urban Ecosystems, 1998, 2(3): 171-181.
- [19] 朱伟, 谢三桃, 阮爱东, 等. 碎石覆盖对河流硬质护坡土壤抗侵蚀性及植物生长的影响[J]. 应用生态学报. 2008, 19(3): 634-640.
- [20] Zhao D, Li F, Wang R S, et al. Effect of Soil Sealing on the Microbial Biomass, N Transformation and Related Enzyme Activities at Various Depths of Soils in Urban Area of Beijing, China [J]. Journal of Soils and Sediments. 2012, 12: 519-530.

Compound Ecological Effect of Soil Sealing and Ecological Reconstruction Methods

ZHAO Dan

(Beijing Municipal Institute of City Planning & Design, Beijing 100045, China)

Abstract Urban soil sealing is one of the important characteristics of urbanization and industrialization, also the concentrated reflection of human interference with ecosystems. Sealing of soils changed soil, water, gas, mining and other ecological factors, then influenced such as ecological processes gas exchange, water use, nutrient cycle, energy balance, therefore it greatly affected urban ecological service and residential quality of life. Based on the identification of the typical features, formation mechanism and the relationship with urbanization, this paper studied the influence of soil sealing on ecological factors and relevant processes, and put forward "prevention - slow - compensation" (PLC) ecological reconstruction measures from the perspective of ecological planning, ecological engineering and ecological management. It is hoped that this report will provide a strong basis for reducing the negative ecological effect of soil sealing and improving the urban ecological system services.

Key words urbanization; impermeable; ecosystem services; ecological reconstruction