

城市化过程中环境污染效应的研究进展

余广彬, 朱茂杰 (临沂市环境保护局, 山东临沂 276001)

摘要 简述了国内外快速城市化背景下环境污染的研究现状, 重点分析了城市化对土壤、大气、地表水的环境污染效应, 并提出了城市化与环境污染效应研究的方向。

关键词 城市化; 环境污染; 人类活动

中图分类号 S181.3 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2015)29-280-03

Research Progress of Environmental Pollution Effect in Urbanization

YU Guang-bin, ZHU Mao-jie (Linyi Municipal Environmental Protection Bureau, Linyi, Shandong 276001)

Abstract The research status of environmental pollution under background of rapid urbanization at home and abroad was reviewed. Environmental pollution effect of soil, atmosphere, and surface water by urbanization was analyzed. Furthermore, the research direction of urbanization and environmental pollution was put forward.

Key words Urbanization; Environmental pollution; Human activity

自工业革命以来, 世界城市化进程不断加速。例如, 1780 年世界城市化率仅为 3.0%, 1960 年升至 33.0%, 1990 年为 42.6%, 2010 年世界有一半的人口居住在城市(发展中国家 45.1%, 发达国家 75.2%)。人口从农村向城市的迁移在未来 50~100 年中仍将继续, 发展中国家和地区尤为突出。预计到 2030 年, 世界城市人口比例将达 59.0%^[1]。过去 10 年, 我国城市化率以年均增长率 1.12% 的速度发展, 我国城市化已进入一个空前高涨时期。城市环境质量与公众健康息息相关, 快速城市化背景下的环境污染效应成为普遍关注和研究的热点。

1 城市化过程中环境污染效应的概述

快速的城市化是生态环境污染的主要驱动因子。土壤、大气和水体与人类活动密切相关, 是人类生存发展的三大环境要素, 受城市化过程的剧烈干扰。城市化导致城市土壤、大气、地表水和沉积物环境质量不断恶化。发达国家的城市生态环境质量普遍优于发展中国家, 我国同大多数的发展中国家一样, 城市土壤、大气、水体存在较严重的环境污染。这是由于发达国家经历了上百年的发展过程, 其环境保护投入较大、环保设施完善、环保技术成熟、环保观念较强等。

2 城市化过程中环境污染效应的研究现状

2.1 土壤环境污染效应 城市土壤在快速城市化和工业化的背景下, 受强烈的人类活动影响, 如城市建设、工业活动、交通和日常生活等^[2-3]。城市土壤作为支撑城市发展和人们日常生活的基础资源, 在保证城市健康生活和城市生态系统可持续发展方面扮演着重要的角色^[4-5]。然而, 伴随着经济的快速发展和城市进程的加速, 尤其是在新兴国家, 城市环境正面临土壤污染的挑战, 城市土壤质量日益退化^[6-7], 城市化进程中的土壤污染效应受到了众多的关注^[8-9]。城市化伴随各种途径和形式的人为影响, 使城市土壤性质显著偏离同地带(区域)背景土壤的特征。严重的土壤污染特别是金属污染是城市土壤的重要特征^[10-11]。伴随工业生产和

高强度农业利用进入土壤的有机污染物, 也成为土壤环境质量下降的重要因素^[12]。城市土壤已成为接纳城市代谢污染物的主要汇。大量污染物在城市土壤中富集, 如多环芳烃^[11,13-16]、重金属^[11,17]、氮和磷等^[17-18]。重金属常被用作检验城市化对土壤环境影响的重要指标, 其中 Pb 含量被认为最能表现城市化过程对土壤质量演变的影响程度^[19]。世界范围内, 城市土壤均遭受了不同程度的重金属污染。与发达国家和其他发展中国家相比, 我国城市的土壤污染较为严重, 大多数重金属含量为背景值的 20 倍以上, 其中城市土壤 Pb 的含量高达 25 380 mg/kg, 分别为全球页岩背景值和我国土壤背景值的 461 和 1 123 倍。通过对美国、英国、苏格兰、威尔士地区共 50 个城市的采样分析, 发现城市地区威胁最大的环境污染来自 Pb、Cd、Hg 和 PAHs^[20], 其中上海和芝加哥城市土壤中 Pb 的含量分别为自然背景值的 8 和 13 倍^[17,21], 呈显著的城市源特征。城市土壤遭受污染后, 也可导致土壤微生物特性的显著变化。在英国 Berdeen 的一项研究表明, 与农业土壤相比, 城市土壤微生物的基底呼吸作用明显增强, 但微生物生物量却显著降低, 微生物的一些生理生态参数明显升高; Biolog 数据显示, 城市土壤对能源碳的消耗量和速度也明显提高^[22]。主成分分析显示, 土壤中有效态铅是控制城市与农业土壤微生物特征差异的主要因素, 其次为有效态和有机态的锌、铜和镍。

2.2 大气环境污染效应 自产业革命以来, 城市工业迅猛发展, 石油、化石等燃料在城市中大量消耗, 导致大气中 CO₂ 和 NO_x 等有害气体急剧增加, 造成城市区域大气环境污染。建筑施工、道路交通等产生的城市扬尘、悬浮颗粒物, 也使城市大气环境进一步恶化。与郊区相比, 城市区域大气中 CO₂、SO₂ 和 NO_x 的含量远高于郊区。城市化是导致城市区域大气环境质量下降的主要因素。通常, 城市中大气污染物的来源分为固定源(工厂企业)和流动源(交通工具), 主要包括工业生产、交通运输、炉灶、锅炉等。近年来, 随着城市区域工厂企业的搬迁, 城市交通工具已经成为大气污染的主要来源。城市区域大气污染物主要有气溶胶和气体污染物两类, 包括烟尘、SO₂、CO、NO_x、PAHs、氟化物、硫酸气溶胶和

作者简介 余广彬(1978-), 男, 山东临沂人, 工程师, 博士, 从事环境保护与管理工作。

收稿日期 2015-04-20

重金属等。其中,城市大气颗粒携带的 Hg 是土壤、水体等环境中 Hg 污染的主要来源^[23-24]。此外,土壤污染物也可通过扬尘或再悬浮进入大气。最近,通过核探针研究大气颗粒物的指纹特征,表明上海市大气颗粒物中大约有 31% 来自土壤扬尘^[25]。随着汽车尾气排放的控制和能源结构的调整,可以预计土壤扬尘仍将继续成为我国城市大气污染的主要来源。

2.3 地表水环境污染效应 城市化进程中水环境质量状况的研究已经成为环境科学家关注的热点^[26-27]。水体(地表水和沉积物)是城市源污染物的主要受纳介质,在地表水环境研究中扮演着重要的角色。长期以来,城市周边的河流、湖泊和沿海水域一直被当作城市代谢污染物稀释和消耗的最佳自然场所^[28]。城市扩张已成为非点源污染加重的主要因素^[29],城市化已成为仅次于农业的水环境第二大污染源^[30]。因此,城市水体(地表水和沉积物)富集了大量的城市源污染物。世界范围内地表水存在不同程度的污染现象。我国城市区域地表水质量总体上要优于其他发展中国家和发达国家。根据 2009 年《中国环境状况公报》,2009 年全国地表水污染依然较重,七大水系总体为轻度污染,湖泊富营养化问题突出,近岸海域总体为轻度污染。与国家地表水环境质量 III 类标准相比,营养元素(N、P)是我国地表水的重要污染物。我国城市区域地表水中重金属浓度总体上低于国家地表水环境质量 III 标准(GB 3838-2002),但显著高于美国 EPA 规定的 CCC 限制^[31]。进入水体的污染物通过絮凝、沉积、吸附等作用进入水体沉积物^[32-35],因此沉积物成为污染物的主要归宿^[36-38],成为污染物的主要汇。与全球页岩背景值和我国浅海沉积物背景值相比,世界各国城市区域沉积物存在显著的重金属富集现象,大部分重金属含量为背景值的几倍到几十倍。总体上,我国和发展中国家城市区域沉积物重金属含量相对低于发达国家。此外,城市污染物通过各种途径(如干湿沉降、地表径流等)源源不断地进入城市及其周边水体。地表径流携带的城市源污染物是地表水污染的主要途径^[39-42]。城市区域内存在广泛的地表封闭与土壤压实现象,土壤水分入渗和短期储蓄缓冲功能减弱或消失^[43],地表径流系数大幅度增加,从而导致径流产生^[44]。径流携带的污染物负荷(包括氮磷、有机污染物、重金属等)增加^[44-45],导致地表水污染加剧。城市地表积水还可能导致有害生物的繁衍,从而直接影响城市居民的身体健康。

3 结语

近年来,城市化对环境的影响日益凸显,我国由于经济的持续增长和快速的城市化,被称为“城市化的实验室”。时间尺度上,城市化进程表现为:城镇—小型城市—中型城市—大型城市,但由于时间跨度长,难以追踪研究。因此,“空间换时间”的研究方法将成为研究城市化过程中环境污染效应的最佳途径,也可选取同属一个地理区系,且具有相似产业结构特征的不同城市化阶段的城镇/城市作为研究对象。

参考文献

[1] UNPD (United Nations Population Division). World Urbanization Prospects; The 2009 Revision [A]. 2010.
[2] NORRA S, STÜBEN D. Urban soils [J]. Journal of soils and sediments,

2003, 3(4): 230-233.
[3] ROSSITER D. Classification of urban and industrial soils in the world reference base for soil resources [J]. Journal of soils and sediments, 2007, 7(2): 96-100.
[4] MIELKE H, GONZALES C, SMITH M, et al. The urban environment and children's health: Soils as an integrator of Lead, Zinc, and Cadmium in New Orleans, Louisiana, USA [J]. Environmental research, 1999, 81(2): 117-129.
[5] PAVAO-ZUCKERMAN M, BYRNE L. Scratching the surface and digging deeper: Exploring ecological theories in urban soils [J]. Urban ecosystems, 2009, 12(1): 9-20.
[6] WONG C, LI X, THORNTON I. Urban environmental geochemistry of trace metals [J]. Environmental pollution, 2006, 142(1): 1-16.
[7] CHEN J. Rapid urbanization in China: A real challenge to soil protection and food security [J]. Catena, 2007, 69(1): 1-15.
[8] LEHMANN A, STAHR K. Nature and significance of anthropogenic urban soils [J]. Journal of soils and sediments, 2007, 7(4): 247-260.
[9] ZHANG J, XIE Z D, PENG B Z. The response of soil characteristics on urban land-use expansion during rapid economic development and urbanization of the city in China [J]. Joint urban remote sensing event, 2009, 847-851.
[10] HILLER D. Characteristics of the acid buffer capacity and heavy metal behavior in Urbic Anthrosols of the Ruhr area [C] // Symposium 28: Urban and Sub-urban Soils. Proc. World Cong. Soil Science. Montpellier, France, 1998.
[11] LU X, LI L, WANG L, et al. Contamination assessment of mercury and arsenic in roadway dust from Baoji, China [J]. Atmospheric environment, 2009, 43(15): 2489-2496.
[12] WILCKE W, LILJENFEIN J, DO CARMO LIMA S, et al. Contamination of highly weathered urban soils in Uberlandia, Brazil [J]. Journal of plant nutrition and soil science, 1999, 162(5): 539-548.
[13] MORILLO E, ROMERO A, MAQUEDA C, et al. Soil pollution by PAHs in urban soils: A comparison of three European cities [J]. Journal of environmental monitoring, 2007, 9(9): 1001-1008.
[14] CHUNG H, ZAK D R, REICH P B, et al. Plant species richness, elevated CO₂, and atmospheric nitrogen deposition alter soil microbial community composition and function [J]. Global change biology, 2007, 13(5): 980-989.
[15] HAUGLAND T, OTTESEN R, VOLDEN T. Lead and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in surface soil from day care centres in the city of Bergen, Norway [J]. Environmental pollution, 2008, 153(2): 266-272.
[16] LIU S, XIA X, YANG L, SHEN M, et al. Polycyclic aromatic hydrocarbons in urban soils of different land uses in Beijing, China: Distribution, sources and their correlation with the city's urbanization history [J]. Journal of hazardous materials, 2010, 177(1/2/3): 1085-1092.
[17] CANNON W F, HORTON J D. Soil geochemical signature of urbanization and industrialization-Chicago, Illinois, USA [J]. Applied geochemistry, 2009, 24(8): 1590-1601.
[18] CHEN F S, LI X, NAGLE G, et al. Topsoil phosphorus signature in five forest types along an urban-suburban-rural gradient in Nanchang, southern China [J]. Journal of forestry research, 2010, 21(1): 39-44.
[19] PIL V, JOSENS G. Earthworm communities along a gradient of urbanization [J]. Environmental pollution, 1995, 90(1): 7-14.
[20] HOOKER P, NATHANAIL C. Risk-based characterization of lead in urban soils [J]. Chemical geology, 2006, 226(3/4): 340-351.
[21] JIANG Y, WANG X, WANG F, et al. Levels, composition profiles and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons in urban soil of Shanghai, China [J]. Chemosphere, 2009, 75(8): 1112-1118.
[22] YANG Y G, PATERSON E, CAMPBELL C. Accumulation of heavy metals in urban soils and its impacts on soil microbes [J]. Environmental sciences, 2001, 22(3): 44-48.
[23] JIANG G, SHI J, FENG X. Mercury pollution in China [J]. Environmental science and technology, 2006, 40(12): 3672-3678.
[24] FENG H, HAN X, ZHANG W, et al. A preliminary study of heavy metal contamination in Yangtze River intertidal zone due to urbanization [J]. Marine pollution bulletin, 2004, 49(11/12): 910-915.
[25] QIU Z, JIANG D, LU R, et al. The development of single aerosol particle fingerprint database based on nuclear microprobe [J]. Acta scientiae circumstantiae, 2001, 21(6): 660-663.
[26] LIU B, LI Z, CAI J. Water pollution countermeasures and optimization of planning control research [J]. Environmental science and management,

- 2009,34(11):183-186.
- [27] PERSSON K, DESTOUNI G. Propagation of water pollution uncertainty and risk from the subsurface to the surface water system of a catchment [J]. *Journal of hydrology*, 2009, 377(3/4): 434-444.
 - [28] 孟庆强, 吴大为, 林毅, 等. 我国城市污水处理概况与城市污水处理工艺研究进展[C]//全国城市污水处理设施建设经验与技术研讨交流会议论文集. 北京, 2002.
 - [29] TANG Z, ENGEL B A, PIJANOWSKI B C, et al. Forecasting land use change and its environmental impact at a watershed scale[J]. *Journal of environmental management*, 2005, 76(1): 35-45.
 - [30] PAUL M J, MEYER J L. Streams in the urban landscape[M]//MARZLUFF J M, SHULENBERGER E, ENDLICHER W, et al. *Urban ecology: An international perspective on the interaction between humans and nature*. Springer, US, 2008: 207-231.
 - [31] US EPA (United States Environmental Protection Agency). National recommended water quality criteria[S]. Washington DC, USA: Office of Water, 2006.
 - [32] POLETO C, BORTOLUZZI E, CHARLESWORTH S, et al. Urban sediment particle size and pollutants in Southern Brazil[J]. *Journal of soils and sediments*, 2009, 9(4): 317-327.
 - [33] TAYLOR K, OWENS P. Sediments in urban river basins: a review of sediment-contaminant dynamics in an environmental system conditioned by human activities[J]. *Journal of soils and sediments*, 2009, 9(4): 281-303.
 - [34] XU W, ZHANG G, WAI O, et al. Transport and adsorption of antibiotics by marine sediments in a dynamic environment[J]. *Journal of soils and sediments*, 2009, 9(4): 364-373.
 - [35] DEVEREUX O, PRESTEGAARD K, NEEDELMAN B, et al. Suspended-sediment sources in an urban watershed, Northeast Branch Anacostia River, Maryland[J]. *Hydrological processes*, 2010, 24(11): 1391-1403.
 - [36] HOUTMAN C, CENIJN P, HAMERS T, et al. Toxicological profiling of sediments using in vitro bioassays, with emphasis on endocrine disruption[J]. *Environmental toxicology and chemistry*, 2004, 23(1): 32-40.
 - [37] GHREFAT H, YUSUF N. Assessing Mn, Fe, Cu, Zn, and Cd pollution in bottom sediments of Wadi Al-Arab Dam, Jordan[J]. *Chemosphere*, 2006, 65(11): 2114-2121.
 - [38] RENTZ R, WIDERLUND A, VIKLANDER M, et al. Impact of urban stormwater on sediment quality in an enclosed bay of the Lule River, northern Sweden[J]. *Water, air, and soil pollution*, 2011, 218(1): 651-666.
 - [39] ANA D, GRACE M, HATT B. Reuse of Urban Runoff in Australia: A review of recent advances and remaining challenges[J]. *Journal of environmental quality*, 2008, 37(5): 116-127.
 - [40] CORNELISSEN G, PETTERSEN A, NESSE E, et al. The contribution of urban runoff to organic contaminant levels in harbour sediments near two Norwegian cities[J]. *Marine pollution bulletin*, 2008, 56(3): 565-573.
 - [41] JARTUN M, OTTESEN R, STEINNES E, et al. Runoff of particle bound pollutants from urban impervious surfaces studied by analysis of sediments from stormwater traps[J]. *Science of the total environment*, 2008, 396(2/3): 147-163.
 - [42] WESTON D, HOLMES R, LYDY M. Residential runoff as a source of pyrethroid pesticides to urban creeks[J]. *Environmental pollution*, 2009, 157(1): 287-294.
 - [43] HAGAN D L, DOBBS C, ESCOBEDO F. Florida's urban soils: Underfoot yet overlooked[M]. Gainesville, FL: Florida Cooperative Extension Service, University of Florida, 2010.
 - [44] EL KHALIL H, EL HAMIANI O, BITTON G, et al. Heavy metal contamination from mining sites in South Morocco: Monitoring metal content and toxicity of soil runoff and groundwater[J]. *Environmental monitoring and assessment*, 2008, 136(1): 147-160.

(上接第 230 页)

- [5] 章大全, 钱忠华. 利用中值检测方法研究近 50 a 中国极端气温变化趋势[J]. *物理学报*, 2008, 57(7): 4634-4640.
- [6] 任国玉, 封国林, 严中伟. 中国极端气候变化观测研究回顾与展望[J]. *气候与环境研究*, 2014, 15(4): 337-353.
- [7] 杨萍, 刘伟东, 王启光, 等. 近 40 年我国极端温度变化趋势和季节特征[J]. *应用气象学报*, 2014, 21(1): 29-36.
- [8] WANG A H, FU J J. Changes in daily climate extremes of observed temperature and precipitation in China[J]. *Atmospheric and oceanic science letters*, 2013, 6(5): 312-319.
- [9] 房世波, 韩国军, 张新时, 等. 气候变化对农业生产的影响及其适应[J]. *气象科技进展*, 2011, 1(2): 15-19.
- [10] 王冀, 蒋大凯, 张英娟. 华北地区极端气候事件的时空变化规律分析[J]. *中国农业气象*, 2012, 33(2): 166-173.
- [11] ZHAO C Y, WANG Y, ZHOU X Y, et al. Changes in climatic factors and extreme climate events in Northeast China during 1961-2014[J]. *Advances in climate change research*, 2013, 4(2): 92-102.
- [12] 刘颖杰, 林而达. 气候变暖对中国不同地区农业的影响[J]. *气候变化研究进展*, 2007, 3(4): 229-233.
- [13] 姬兴杰, 朱业玉, 刘晓迎, 等. 气候变化对北方冬麦区冬小麦生育期的影响[J]. *中国农业气象*, 2011, 32(4): 576-581.
- [14] 石英, 高学杰, 吴佳, 等. 华北地区未来气候变化的高分辨率数值模拟[J]. *应用气象学报*, 2014, 21(5): 580-589.
- [15] 高霁, 杨红龙, 陶生才, 等. 未来情景下东北地区极端气候事件的模拟分析[J]. *中国农学通报*, 2012, 28(14): 295-300.
- [16] SI P, ZHENG Z F, REN Y, et al. Effects of urbanization on daily temperature extremes in North China[J]. *Journal of geographical sciences*, 2014, 24(2): 349-362.
- [17] PETERSON T C, FOLLAND C, GRUZA G, et al. Report on the activities of the working group on climate change detection and related rapporteurs 1998-2001[R]. Rep. WCDMP-47, WMO-TD 1071, Word Meteorol. Organ., Geneva, Switzerland, 2001.
- [18] 高学杰, 石英, 张冬峰, 等. RegCM3 对 21 世纪中国区域气候变化的高分辨率模拟[J]. *科学通报*, 2012, 57(5): 374-381.
- [19] 徐集云, 石英, 高学杰, 等. RegCM3 对中国 21 世纪极端气候事件变化的高分辨率模拟[J]. *科学通报*, 2013, 58(8): 724-733.
- [20] GAO X J, WANG M L, FILIPPO G. Climate change over China in the 21st century as simulated by BCC-CSM1.1-RegCM4.0[J]. *Atmospheric and oceanic science letters*, 2013, 6(5): 381-386.
- [21] 吉振明. 新排放情景下中国气候变化的高分辨率数值模拟研究[D]. 北京: 中国科学院青藏高原研究所, 2012: 19-42.
- [22] Climate Research Branch Environment Canada. RclimDex (1.0) User Manual (Xuebin Zhang and Feng Yang) [M]. Canada, 2004: 6-10.
- [23] 李庆祥, 张洪政, 刘小宁, 等. 中国均一化历史气温数据集 (1951-2004) (1.0 版) [M]. 北京: 国家气象信息中心气象资料室, 2006: 7-11.
- [24] WANG X L, WEN Q H, WU Y H. Penalized maximal t test for detecting undocumented mean change in climate data series[J]. *Journal of applied meteorology and climatology*, 2007, 46(6): 916-931.
- [25] WANG X L. Penalized maximal F-test for detecting undocumented mean shifts without trend-change[J]. *Journal of atmospheric and oceanic technology*, 2008, 25(3): 368-384.
- [26] LI Q X, ZHANG H Z, CHEN J, et al. A mainland China homogenized historical temperature dataset of 1951-2004[J]. *Bulletin of the American meteorological society*, 2009, 90(8): 1062-1065.
- [27] XU W H, LI Q X, WANG X L, et al. Homogenization of Chinese daily surface air temperatures and analysis of trends in the extreme temperature indices[J]. *Journal of geophysical research: Atmospheres*, 2013, 118(17): 9708-9720.
- [28] 司鹏. 城市化对中国东北部气温增暖的贡献检测[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2008: 20.
- [29] 宋迎波, 王建林, 杨霏云, 等. 粮食安全气象服务[M]. 北京: 气象出版社, 2006: 9.
- [30] 刘俊明, 谢甫娣. 作物栽培学[M]. 沈阳: 辽宁民族出版社, 2001: 43-45.
- [31] 高素华, 郭建平, 赵四强, 等. “高温”对我国小麦生长发育及产量的影响[J]. *大气科学*, 1996, 20(5): 599-605.
- [32] 张建平, 赵艳霞, 王春乙, 等. 气候变化对我国华北地区冬小麦发育和产量的影响[J]. *应用生态学报*, 2006, 17(7): 1179-1184.
- [33] 王石立, 庄立伟, 王毅棠. 近 20 年气候变暖对东北农业生产水热条件影响的研究[J]. *应用气象学报*, 2003, 14(2): 152-164.
- [34] MOSS R H, BABIKER M, BRINKMAN S, et al. Towards new scenarios for analysis of emissions, climate change, impacts, and response strategies [C]//IPCC Expert Meeting Report. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change, 2008: 132.
- [35] 第二次气候变化国家评估报告编写委员会. 第二次气候变化国家评估报告[R]. 北京: 科学出版社, 2011.