

城市环境污染物暴露学系列丛书

西部河谷型城市 土壤重金属环境行为、 暴露风险及生物修复

李小平 著



科学出版社

国家自然科学基金项目(41471420)资助出版
陕西师范大学出版基金资助出版

城市环境污染物暴露学系列丛书

西部河谷型城市土壤重金属环境 行为、暴露风险及生物修复

李小平 著



科学出版社

北京

内 容 简 介

城市土壤重金属环境行为、暴露风险及生物修复成为城市生态环境地球化学有待解决的关键科学问题。本书研究西部典型河谷型城市土壤重金属元素地球化学时空分异特征、解析重金属元素的污染来源、揭示城市土壤中重金属元素地球化学形态分布规律、阐明重金属在土壤-植物系统中的迁移行为、探索城市土壤重金属有机酸淋溶规律及其生物有效性、评估西部河谷型城市儿童铅暴露的健康风险、筛选涉铅污染城市土壤抗铅微生物及其微生物影响效应、开展抗铅微生物修复铅镉的热力学与动力学研究,为我国西部河谷型城市产业布局与重新调整、城市环境地球化学基础数据调查、环境质量标准制定、人群暴露风险与流行病学研究、城市污染防控与生物治理修复等方面提供极其重要的科学依据和参考。

本书翔实系统地介绍总结了城市土壤学研究的基本方法与技术,又图文并茂地系统研究了我国西部典型河谷城市土壤重金属空间分布、地球化学行为、人群暴露风险及其生物修复。可供我国环境科学、土壤学、生物学等相关学科领域的科技工作者和高校师生参阅和参考。

图书在版编目(CIP)数据

西部河谷型城市土壤重金属环境行为、暴露风险及生物修复 / 李小平著.
—北京: 科学出版社, 2016.3
(城市环境污染物暴露学系列丛书)
ISBN 978-7-03-047675-3

I. ①西… II. ①李… III. ①河谷地貌-城市污染-土壤污染-重金属污染-研究-西北地区 IV. ①X53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 049560 号

责任编辑: 朱 丽 李丽娇 / 责任校对: 蒋 萍

责任印制: 徐晓晨 / 封面设计: 耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京教图印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016 年 3 月第 一 版 开本: 720×1000 B5

2016 年 3 月第一次印刷 印张: 12

字数: 231 000

定价: 68.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

作为人为活动记录载体的城市土壤是土壤学的新领域和新热点。开展城市土壤重金属研究是城市生态环境地球化学研究的重要内容。近年来,由于我国城市化和工业化的进一步加剧,城市环境重金属污染事件尤其突出。如何有效防控城市重金属污染是人类治理环境污染的一项重大难题,也成为国内外城市环境重金属污染研究的热点和前沿领域。因此,正确认识城市环境中重要组成部分城市土壤中重金属环境分布特征、地球化学行为、人群暴露风险以及寻求污染物合理的生物修复技术和方法成为城市生态环境地球化学有待解决的关键科学问题。

西部河谷型城市对我国社会主义国民经济建设与区域发展起着难以估量的作用,具有鲜明的时代特征和很强的典型性;但由于其城市产业结构鲜明的资源型、能源型、重工化的性质以及特殊的地貌环境和发展背景,环境污染问题十分突出,是我国典型的环境高风险区和敏感区,也成为我国环境科学等交叉学科研究的热点领域和地区。

近年来,作者依托国家自然科学基金项目“西北典型河谷城市儿童铅暴露特征、来源与健康风险”(41471420)、国家科技基础性工作专项重点项目(2014FY210100)子课题“能源开发区生态系统与环境变化调查”、陕西省自然科学基金项目“关中涉铅污染土壤铅生物有效性的微生物影响效应与机制”(2015JM4124)、中央高校基本科研业务费专项基金项目“碱性污染土壤铅生物有效性的微生物影响机制与生物修复基础”(GK201402032)和“城市土壤典型重金属地球化学过程分子机制及微生物微界面相互作用特征”(GK200902024)、陕西师范大学青年学术创新团队项目、陕西师范大学-美国杰克逊州立大学纳米环境科学与健康研究中心等基金项目和平台,对我国西部典型河谷城市土壤重金属空间分布、地球化学行为、人群暴露风险及其生物修复等方面进行了系统深入的研究,并取得了一定的成果。研究成果获陕西高校科学技术一等奖、陕西省环境保护科学技术三等奖、陕西省环境保护青年科技奖、陕西省环境学会优秀论文奖多项,受到国内外同行的高度关注。

本书包含了作者自2003年以来对西部典型河谷型城市土壤重金属持续研究的成果,也是国家自然科学基金和陕西省自然科学基金等项目阶段性成果总结之一。作为城市环境污染物暴露学系列丛书,作者旨在以西部河谷型城市环境污染

为科学问题，以城市土壤重金属为切入点，探索重金属在河谷型城市环境中分布、迁移转化规律、人群暴露风险及其生物修复技术，进而完善我国西部地区城市土壤相关基础数据和基础研究的空白，希望通过作者系统研究，为我国西部河谷型城市产业布局与重新调整、城市环境地球化学基础数据调查、环境质量标准制定、人群暴露风险与流行病学研究、城市污染防控与生物治理修复等方面提供极其重要的科学依据和参考。

本书由李小平组织策划，并执笔和统稿。在本书的编写过程中，冯琳娜协助完成了文字的完善和审校工作。研究生徐长林、刘献宇、刘洁、王继文、杨蕊、赵亚楠、吴婷、刘东英参与了基金项目的实验工作以及本书内容的整理和完善，在此表示衷心的感谢。另外，感谢国家自然科学基金和陕西师范大学出版基金对本著作的资助出版。

由于作者水平有限，本书仍有许多不足之处需要完善，敬请读者批评指正。

李小平

2015年10月10日
于陕西师范大学启夏苑

目 录

前言

第 1 章 城市环境与城市土壤.....	1
1.1 城市环境与城市污染.....	1
1.2 城市土壤及其基本特征.....	2
1.3 城市环境地球化学.....	4
1.4 城市土壤重金属地球化学研究现状.....	6
1.4.1 城市土壤重金属污染的主要来源.....	6
1.4.2 城市土壤地球化学研究进展.....	9
1.4.3 城市工业区土壤环境地球化学研究进展.....	12
1.4.4 城市土壤重金属铅生物修复研究进展.....	14
1.5 城市土壤重金属研究的热点内容.....	17
1.6 城市土壤重金属研究有待解决的关键科学问题.....	18
参考文献.....	19
第 2 章 城市土壤学研究的基本方法与技术.....	33
2.1 城市土壤样品的采集和制备.....	33
2.1.1 采样密度.....	33
2.1.2 采集点布置.....	33
2.1.3 样品采集与处理.....	33
2.1.4 采样质量保证与控制.....	35
2.2 城市土壤样品重金属分析方法.....	35
2.3 城市土壤有机物总量分析方法.....	35
2.4 城市土壤 pH、粒度、磁化率分析方法.....	36
2.5 城市土壤重金属形态提取的基本方法.....	36
2.6 城市土壤形貌与界面光谱分析方法.....	42
2.6.1 城市土壤形貌与界面分析方法.....	42
2.6.2 土壤界面光谱分析方法.....	43
2.7 城市土壤生物有效性与生物可给性评价方法.....	44
2.8 城市土壤重金属有机酸淋溶及其动力学常用方法.....	46

2.8.1	城市土壤重金属有机酸淋溶方法	46
2.8.2	有机酸淋溶常用的动力学模型	46
2.9	城市土壤微生物分析方法	47
2.9.1	Biolog 微生物自动鉴定系统	47
2.9.2	MIDI Sherlock 微生物自动鉴定系统	48
2.10	生物吸附热力学和动力学模型及方法	49
2.10.1	等温吸附热力学平衡模型	49
2.10.2	吸附动力学模型	50
2.11	城市土壤重金属环境风险评价方法	51
2.11.1	污染评价	51
2.11.2	潜在生态风险评价	55
2.11.3	健康风险评价	56
2.12	城市土壤学交叉领域研究新技术与新方法	57
2.12.1	城市土壤毒理学交叉领域研究	57
2.12.2	城市土壤环境暴露学交叉领域研究	58
2.12.3	城市土壤学交叉领域研究新技术	58
2.13	城市土壤数据处理与分析技术	60
2.13.1	质量控制	60
2.13.2	数据处理与分析技术	61
	参考文献	61
第 3 章	典型河谷型城市土壤重金属空间分异	69
3.1	西部河谷型城市及其环境污染	69
3.1.1	河谷型城市	69
3.1.2	西部河谷型城市环境污染	69
3.2	西部河谷型城市土壤重金属研究的科学意义	70
3.3	典型河谷城市研究区域概况	70
3.4	城市土壤重金属元素分析方法	71
3.5	城市土壤地球化学背景	72
3.6	城市土壤样品采集	73
3.7	宝鸡市城市土壤重金属空间分异特征	73
3.7.1	宝鸡城市土壤理化特征	73
3.7.2	宝鸡城市土壤重金属空间分布特征	73
3.8	西安市城市土壤重金属空间分异特征	77
3.8.1	西安市城市土壤理化特征	77

3.8.2 西安城市土壤重金属空间分布特征	78
3.9 渭南市城市土壤重金属空间分异特征	80
3.9.1 渭南城市土壤理化特征	80
3.9.2 渭南城市土壤重金属空间分布特征	80
3.10 铜川市城市土壤重金属空间分异特征	83
3.10.1 铜川城市土壤理化特征	83
3.10.2 铜川城市土壤重金属空间分布特征	83
参考文献	87
第4章 城市土壤重金属污染源解析	89
4.1 城市土壤重金属污染与燃煤来源	89
4.2 城市土壤重金属污染评价	91
4.3 城市土壤重金属污染源多元综合解析	92
4.3.1 宝鸡市城市土壤重金属污染源解析	92
4.3.2 西安市城市土壤重金属污染源解析	95
4.3.3 渭南市城市土壤重金属污染源解析	97
4.3.4 铜川市城市土壤重金属污染源解析	98
参考文献	100
第5章 城市土壤重金属地球化学形态与行为	102
5.1 重金属元素地球化学形态提取方法	102
5.2 城市土壤重金属化学形态及其迁移转化	103
5.3 重金属在植物环境中的分布特征	107
5.3.1 植物中重金属含量的分布	107
5.3.2 土壤-植物系统重金属迁移与积累	108
参考文献	111
第6章 典型河谷型城市土壤重金属有机酸淋溶	113
6.1 宝鸡城市土壤重金属有机酸淋溶	113
6.1.1 宝鸡城市土壤重金属有机酸淋溶特征	113
6.1.2 宝鸡市城市土壤中重金属有机酸淋溶动力学	115
6.2 铜川城市土壤重金属有机酸淋溶	120
6.2.1 铜川城市土壤重金属有机酸淋溶特征	120
6.2.2 铜川市城市土壤中重金属有机酸淋溶动力学	121
参考文献	122
第7章 河谷型城市儿童铅暴露风险	124
7.1 河谷型城市儿童铅暴露	124

7.2 城市环境介质铅地球化学形态分布特征	125
7.2.1 城市土壤与灰尘铅含量分布特征	125
7.2.2 城市土壤与灰尘铅地球化学形态分布特征	125
7.3 城市儿童铅暴露风险	127
7.4 城市儿童铅暴露风险的不确定性分析	130
参考文献	131
第 8 章 城市土壤抗铅微生物的筛选及其微生物生态效应	133
8.1 城市土壤样品及其理化性质	133
8.2 微生物菌落计数	133
8.3 微生物多样性	135
8.4 城市土壤微生物耐铅特征	135
8.5 城市土壤耐铅细菌纯化与鉴定	136
8.6 城市土壤耐铅细菌的生态效应	139
参考文献	140
第 9 章 西部城市土壤重金属铅镉微生物修复基础	142
9.1 活性细菌 <i>Bacillus Megaterium</i> 的生长曲线	142
9.2 活性细菌 <i>Bacillus Megaterium</i> 对重金属铅镉的吸附条件	143
9.2.1 pH 的影响	143
9.2.2 吸附时间的影响	144
9.2.3 温度对吸附的影响	145
9.2.4 吸附剂用量的影响	146
9.2.5 吸附质浓度的影响	146
9.3 活性细菌 <i>Bacillus Megaterium</i> 吸附重金属铅镉的热力学与动力学	146
9.3.1 吸附热力学及其机制	146
9.3.2 吸附动力学及其过程机制	147
9.3.3 吸附反应吉布斯自由能与活化能	149
9.4 土壤重金属铅镉微生物修复	151
参考文献	152
附录	153

第 1 章 城市环境与城市土壤

1.1 城市环境与城市污染

城市是集中居住和活动的场所，城市环境（图 1.1）是人类利用和改造自然环境而创造出来的高度人工化的聚居场所环境。城市是随着私有制及国家的产生而出现的非农业人口聚居的场所，它拥有工业、建筑、交通、运输、通信、文化娱乐设施和其他服务行业，为居民的物质和文化生活创造了便利、舒适的条件。

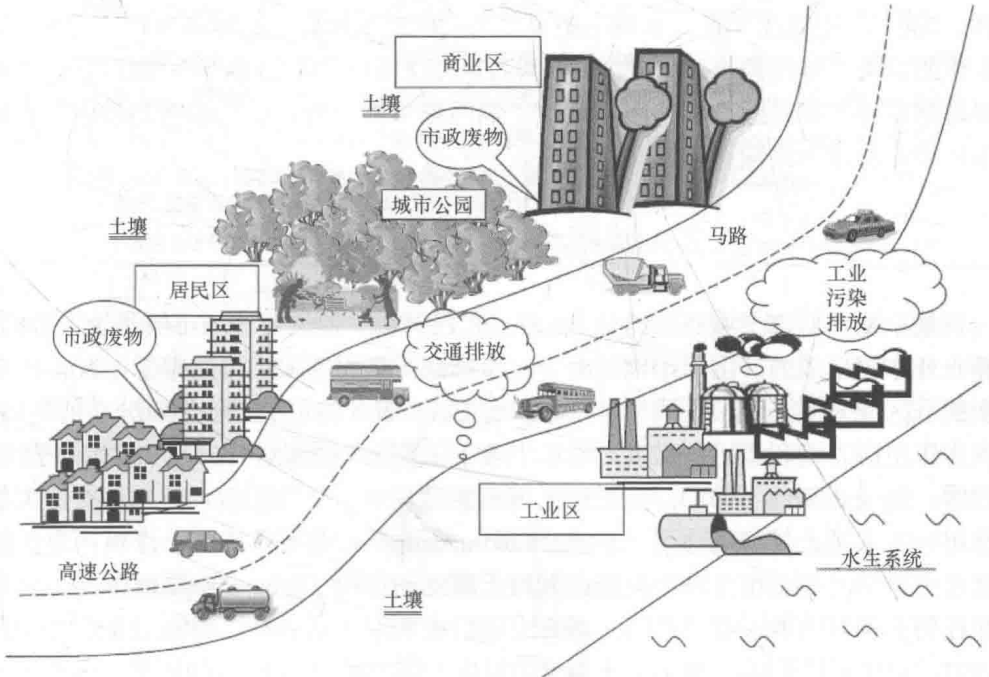


图 1.1 城市环境 (Wong et al., 2006)

城市化 (urbanization) 是当今世界发展的必然趋势，随着人口数量的加速增长，城市的数量不断增多、规模不断增大。据联合国秘书处统计，截至 1999 年 10 月 12 日，全世界的人口已经到达 60 亿的水平 (United Nation Secretariat, 1999)，到 2007 年已经增长到 67 亿。然而在 1900 年，全世界的人口总数估计只有 17 亿

(Bähr and Bevölkerungsgeographie, 1997)。据统计, 到 2050 年, 全世界将有 70% 的人口居住在城市 (United Nations, 2008), 这样到 2050 年, 估计居住在城市的人口数量将是目前世界人口数量的两倍。在 2000 年, 只有 0.3% 的土地面积被城市化, 预计到 2030 年城市化面积将是 2000 年的 2.5 倍 (Angel et al., 2005; Norra, 2009)。快速发展的城市化以及由于城市工厂排污、交通噪声和人类活动对城市环境的干扰使城市成为自然环境变化最大的地区, 从而导致一系列城市环境问题的产生, 危及城市环境的可持续发展。

工业化 (industrialization) 是城市环境污染的主要诱因, 工业化进程在一定程度上破坏了人类赖以生存的城市生态环境。大量温室气体 (CO_2) 的排放, 导致全球变暖, 使两极冰川融化, 迫使海平面上升, 人类将面临生存空间变小这一危机; 尤其是近年来我国出现多起由于工业生产而导致群体性城市污染的事件, 例如, 1995 年上海和成都、1998 年北京、2001 年南宁发生的类似“化学烟雾”事件, 2005 年松花江“重大水域污染事件”, 2006 年甘肃“铅污染事件”, 2008 年云南阳宗海“砷污染事件”, 2009 年陕西凤翔工业区“血铅事件”、湖南武冈“血铅超标事件”以及湖南浏阳市镇头镇“镉污染事件”等, 这些惨痛的教训警示城市环境与城市污染应该引起高度重视。

1.2 城市土壤及其基本特征

最早提出城市土壤概念的是 Bockheim (1974), 他认为城市土壤是由人为的、非农业作用形成的, 由于土地的混合、填埋或污染而形成的厚度等于 50cm 的层次的城区或郊区土壤。不同学者基本认可 Bockheim 的定义, 他们从分布的区域、人为作用的方式和作用的强度对城市土壤下了定义 (Craul, 1985; 卢瑛和龚子同, 1999; Stroganova, 1998)。在城市土壤形成过程中, 生物因素, 特别是人的主导作用——人为土壤扰动作用 (anthro-pedoturbation), 是城市土壤一个很明显的特征, 更确切地说城市土壤存在城市人为土壤扰动作用 (urbanthropedo-turbation), 即任何人类导致的、非农业的, 影响土壤组成和发生的活动 (Effland and Pouyat, 1997; 卢瑛和龚子同, 1999)。土壤学中城市土壤出现的时间如表 1.1 所示。

城市土壤虽然出自自然土壤或半自然土壤, 但在成土环境、成土过程、剖面发育形态以及物质组成与养分循环途径等方面与自然土壤和农业土壤存在较大的区别 (表 1.2)。城市土壤具有以下几个方面的基本特征 (章家恩和徐琪, 1997): ①较大的时间和空间变异性。城市建筑的兴建和废弃、城市地貌的改变等决定着土壤发育的过程和演化方向, 使原有自然土壤产生时间和空间上的变异性。②混乱的土壤剖面结构和发育形态。在城市建设过程中, 由于挖掘、搬运、堆积、混

表 1.1 土壤学中城市土壤出现的时间表

时间	事件	参考文献
1847	首次提到人为的城市土壤: Ferdinand Senft 在土壤科学教材提出关于城市、工业、矿区的土壤养分不足的原因是由于堆放的有毒废物	(Lehmann and Stahr, 2007)
1951	第一个城市土壤学部分绘图: Mückenhausen 和 Müller 提出不同的土壤类型是有区别的, 其与土地的利用方式有关	(Lehmann and Stahr, 2007)
1963	Zemlyanitskiy 描述莫斯科的城市土壤的物理和化学性质	(Lehmann and Stahr, 2007)
1970s	德国和美国土壤科学家开始研究城市土壤	(Lehmann and Stahr, 2007)
1982	第一次在柏林举行关于城市土壤的学术交流会	(Blume and Schlichting, 1982)
1987	德国土壤学学会成立城市土壤研究的 AKS 工作小组 (Arbeitskreis Stadtböden)	(Lehmann and Stahr, 2007)
1990s	城市土壤的研究超出了土壤污染的限制; 使用土壤学的方法研究城市土壤	(Lehmann and Stahr, 2007)
1991	第一次出版关于城市土壤的《土壤学纲要》	(Bullock and Gregory, 1991)
1995	法国的土壤学框架定义了两种主要的城市土壤类型	(Baize and Girard, 1998)
1997	德国土壤学界的研究团队提出城市土壤的说明和描述性的指南	(Lehmann and Stahr, 2007)
1998	土壤国际工会的成立工作小组包括城市土壤工业交通矿区	(Lehmann and Stahr, 2007)
2000	第一届关于城市土壤工业交通矿区的国际会议在德国的埃森市举行	(Lehmann and Stahr, 2007)
2006	Lehmann 等在 2007 年第一次基于土壤描述提出城市土壤评价手册 (TUSEC 是欧盟经济项目区域城市土壤评价的技术在规划中实现)	(Lehmann et al., 2007)
2006	一个新的关于城市土壤的议题 World Reference Base (WRB) 出版	(Lehmann and Stahr, 2007)

合和大量废弃物填充, 土壤结构和剖面发育层次混乱。③大量的人为附加物。由于人类活动的多样性和广泛性, 城市土壤中的外来物非常丰富, 如碎石、砖块、塑料、玻璃、钢铁、垃圾等, 这是城市土壤的一个重要诊断特征。④变性的土壤物理结构。人为践踏和车辆压轧以及对土壤的人工组合等, 使土壤结构受到严重破坏, 土壤紧实变性, 通透性差。⑤受干扰的养分循环和土壤生物活动。城市地表“固化”以及人为干扰, 切断或改变了土壤的热、水、气的自然传输过程和土壤作为元素正常的源或汇的功能, 元素循环与转化过程及生物活动受到干扰。⑥高度的污染特征。严重的土壤污染特别是金属污染是城市土壤的又一个重要特征。

城市土壤是扰动的人为土壤, 其物理、化学、矿物学和生物学特性发生了深刻的变化, 最显著的特征包括外源性物质的增加、孔隙特征的剧烈改变、化学性质的极端化 (如酸化或碱化)、污染的加重等 (张甘霖和龚子同, 2000)。城市发展历史过程中不同利用方式产生了不同的土壤物理化学特征, 并形成独特的土壤形态和微形态特征; 现代交通运输、工业过程同样能够对土壤元素地球化学特征产生明显的影响, 因此, 城市土壤也是很好的人为活动的记录载体。

表 1.2 城市土壤与邻近的农业土壤或自然土壤的对比（章家恩和徐琪，1997；Lehmann and Stahr, 2007）

	城市土壤	农业土壤或自然土壤
气候条件	高温、多雨、少风、低湿干燥、多云、多污染、多放射、少太阳辐射	基本与自然气候带的特征相吻合
水文状况	易形成地表径流，雨水下渗少，通透性差	具有较好的土壤通透性和排水性能
年龄	新，土壤经常因为建筑活动而变换位置	土壤位于古城的长期不受干扰的生态位，是城市土壤的培养层
土壤温度	高，城市地区空气温度高（这对于冻土区很重要），土壤的增加影响，土壤温度被加热设备或其他的加热技术提高	低，被冷水和工艺上的冷却潮土冷却
pH	碱性土壤中包含建筑残留物，如石膏和混凝土	酸性土壤包含来自煤的硫和工艺上产生的硫酸
容积密度	高，表层土受到表面的机械力影响，底层土受到建筑活动的夯实	低，被机械力疏松，有机物含量高，包含许多灰尘
土壤湿度	低，被建筑物建造的排水系统影响	高，被灌溉、渗漏、密封表面和其他水的通量影响
植被与土壤组成	植物种类与数量单一贫乏、稀疏；土壤生物少	具有多样性的上覆植被和土壤生物
物质组成	组成多样且多变，砂粒、黏粒、有机质及人为附加物（如砖块、陶器、玻璃、碎石、工业废物垃圾、矿渣、矿油）等，土壤中包含建筑残留物和其他大型的人工制品导致高的透水性，土壤表面和地下有很多密闭空间	组成多样，但较为均一，人为附加物少，来源于污泥和灰
成土过程	人为成土过程（如搬运、堆积、填充、混合等）为主，自然成土过程为辅	自然成土过程、人为熟化过程
剖面结构形态	无正常或完整的自然剖面分异特征、结构紧实	具有明显的土壤剖面分异特征，结构发育较好
养分特征	养分贫瘠、养分循环速率与效率低，少人工施肥	养分较为丰富，养分循环速率与效率相对较高
有机碳和氮	土壤被有机废物降尘燃烧残留物影响，用于园艺的土壤下层土包含了以前表层土的物质	很少的有机碳土壤被定期的清扫表层土而远离植物，低的氮土壤的成土母质含氮少
污染物	高，土壤中包含燃烧残留物和来自高度工业化的城市的生产过程	低，土壤只受到来自灰尘的污染和城市环境影响的雨水
开发情况	土壤是从拆迁土料由强发展的土壤，这往往存放在有多个长时间的施工活动进行的土层中	土壤来自免于搬迁强烈发展的土壤物质（大量的土壤在 50 年或更久的时候强烈发展，特别是如果他们包含无定形的材料结构和材料活性表面，如尘土和炉灰）

1.3 城市环境地球化学

现代工业的兴起和城市的迅速发展，生产力和劳动生产率的提高，增强了人

类利用自然和改造自然的能力,人类大幅度地改变了自然生态环境的结构,但与此同时也带来了复杂的环境问题。城市环境受到人类活动的广泛影响,自然及人类活动引起的城市地球化学问题日益受到人们的重视(Kelly et al., 1996; Lehmann and Stahr, 2007)。时至今日,无论是发达国家还是发展中国家,都面临着严峻的城市环境问题,需认真加以解决。

城市环境地球化学是伴随着环境地球化学的发展而发展的。环境地球化学是20世纪60年代兴起的一门新的研究领域(万国江, 1996),城市地球化学也伴随着环境地球化学的发展而不断成长(洪业汤, 1988)。在环境地球化学发展的近50年时间内所经历的“环境地球化学与健康研究”、“环境地球化学与污染研究”、“环境地球化学与全球变化研究”的三个主要阶段中,城市地球化学在其中扮演着重要的角色。虽然城市地球化学在20世纪60年代就已经成为环境地球化学研究的重要领域,但直到20世纪80年代初期,以工业化引起的各种生态环境问题为研究对象,在城市开展环境地球化学调查和研究工作是环境地球化学的一个重要研究内容。而随着该项工作的深入,逐渐发展形成了一个新的分支学科——城市环境地球化学。英国的Thornton I (1999)提出了城市地球化学的概念,并描述为应用环境地球化学研究城市污染,将城市地球化学定义为是研究环境地球化学和城市污染相结合的学科。而在20世纪90年代初期“城市地球化学”(Urban Geochemistry)一词才在文献中出现(Thornton, 1990)。De Miguel等(2001)则将城市环境地球化学视为地球化学的一个分支学科,认为它是主要研究元素和化合物在城市环境中的大气颗粒物、水和大气中的含量、分布和循环,甚至有些学者将城市环境地球化学仅视为是对城市土壤地球化学特征的研究(Birke and Rauch, 2000; Tjhuis et al., 2002)。借鉴环境地球化学的学科定义,可以将城市环境地球化学初步定义为城市环境的化学组成、化学作用和化学演化与人类相互关系的科学。从学科特点看,城市环境地球化学是应用地球化学的原理和方法研究城市生态环境问题,主要研究城市土壤、沉积物、尘埃、地表水、地下水、生物、空气等介质中化学元素及同位素的分布、演化、环境作用及健康效应,重点解决城市地球化学环境质量变化的原理及由此产生的生态环境效应及人体健康效应(滕彦国等, 2003)。城市环境地球化学的主要研究对象是传统工业城市、典型矿业城市及国际化的大都市,并重点研究城市不同功能区及道路两侧的污染特征。城市环境地球化学的研究介质主要有城市空气(含气溶胶)、城市土壤、城市尘埃、城市水、城市生物等。城市环境地球化学的研究内容侧重于污染物的自然来源和人为来源的判别,城市环境中污染物的来源、转移、再分布的地球化学条件、机理及示踪,城市环境中污染物的地球化学循环规律,城市环境中污染物的生态环境与人体健康效应,城市环境污染与地质地球化学背景的关系、城市地球化学系

统的调控及生态环境规划等(滕彦国等, 2005a)。

城市土壤是城市生态环境系统的重要组成部分, 与城市中居民的生活和身心健康息息相关。但是城市是个重要的污染源, 同时也是个被污染体, 由于城市土壤多零星分布, 面积小而孤立, 土壤生态系统较为封闭, 物质循环与转化过程单调、缓慢, 而且土壤微生物种类和数量少, 因而具有对污染物较低的代谢和降解功效及环境载荷能力。就城市地球化学环境而言, 随着城市扩张, 城市化的影响更体现在污染物的大量产生和转移上。全球范围内只有不到 2% 的地表为城市所覆盖, 但 80% 的工业和生活污染物来源于城市, 这其中的很大一部分污染物都直接或间接地进入城市和城郊地区的土壤生态系统中, 因此城市化进程势必对其产生负面影响, 这些来自于工业“三废”物质、生活垃圾、交通运输、大气降雨、降尘等的土壤污染源, 一个直接的结果是导致土壤中重金属元素不断累积并形成地球化学异常, 而这些地球化学异常的存在可能会对城市居民的生存环境带来现实或潜在的危害(Warren et al., 1971)。另外, 城市土壤是极为复杂的非均质体系, 土壤中的重金属具有各种不同的存在形态。这些不同形态的重金属可能会产生不同的环境效应, 并直接影响到重金属的生物有效性、毒性、迁移以及在自然界的循环, 加之城市工业、交通等人类活动的强烈影响, 城市工业区很可能成为影响城市生态环境的重要污染源。城市土壤作为支撑人类生存与发展不可脱离的物质基础, 既直接影响着城市生态环境及人类健康, 又通过大气、水等生态因子间接影响着城市环境质量。因此, 对城市土壤重金属含量、污染评价及地球化学行为进行研究具有十分重要的科学与现实意义。

1.4 城市土壤重金属地球化学研究现状

1.4.1 城市土壤重金属污染的主要来源

“重金属”目前仍是一个很模糊的概念, 迄今没有一个权威组织给出明确定义。使用者常常根据自己的需要从不同角度来定义, 如相对原子质量、密度、原子序数、化学性质、毒性等。即便同一个角度不同研究者定义也不同, 如仅根据密度就有 >4.0 (Grant and Grant, 1987)、 >5.0 (Brewer and Scott, 1983) 以及 >6.0 (Davies, 1987) 等不同定义。本研究从环境地球化学角度, 参照 Scott 和 Smith (1981) 的定义, 认为重金属是指那些常用于工业生产并具有生物毒性的元素, 包括 As、Cd、Cr、Cu、Pb、Hg、Ni 和 Zn 等。

土壤重金属污染是指由于人类活动将重金属加入到土壤中, 致使土壤中重金属含量明显高于原有含量, 并造成生态环境恶化的现象。大量资料表明, 人类已

工业生产是环境重金属污染物的主要来源 (Siegel, 2002; 滕彦国等, 2005a)。自青铜器时代开始尤其是工业化以来, 采矿、冶炼、化工等活动使地质体中重金属元素、放射性核素以固体废弃物、污水污泥、化肥农药、沉降等形式大量进入地球表层系统, 并大量累积于土壤, 形成污染。部分工业过程中释放的化学元素如图 1.2、图 1.3 和表 1.3 所示。

表 1.3 部分工业过程中直接排放或间接释放的潜在有毒金属 (Siegel, 2002; 滕彦国等, 2005a)

[illegible]

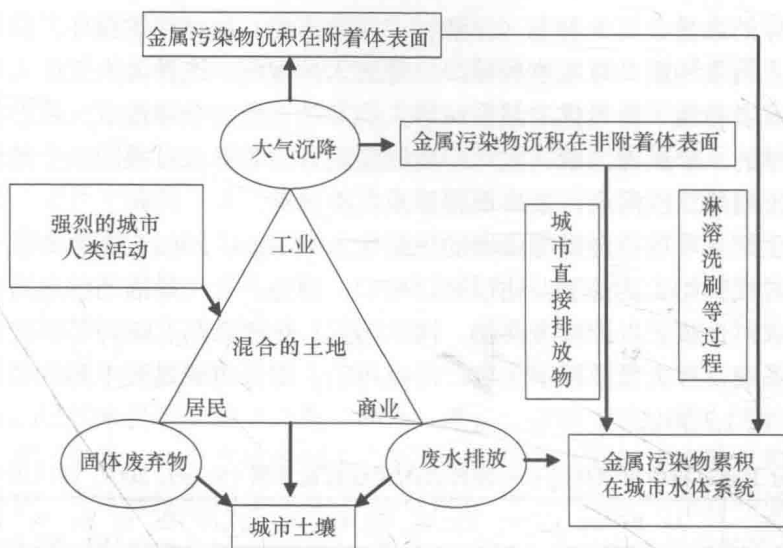


图 1.2 重金属污染物在城市中的迁移、传递过程 (Wong et al., 2006)

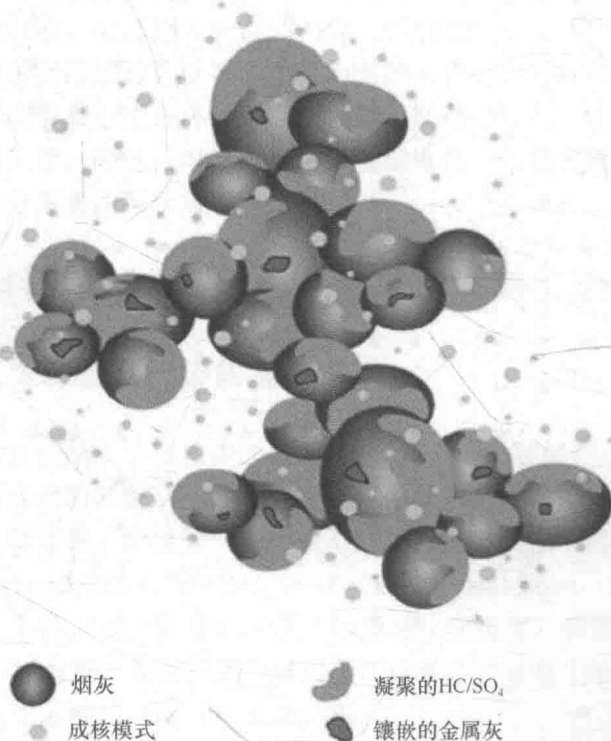


图 1.3 重金属通过燃烧进入大气环境 (Matti, 2007)