

贵州省教育厅自然科学研究项目(黔教科[2008]013)

贵州省科技基金(黔科合J字[2011]2045号)

贵州师范大学博士点建设经费

联合资助

贵阳

城市土壤重金属污染

研究



◎ 王济 白玲玉 张浩 著



气象出版社

China Meteorological Press

贵州省教育厅自然科学研究项目(黔教科[2008013])

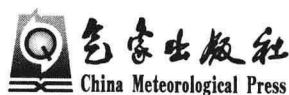
贵州省科技基金(黔科合J字[2011]2045号)

联合资助

贵州师范大学博士点建设经费

贵阳城市土壤重金属污染研究

王 济 白玲玉 张 浩 著



图书在版编目(CIP)数据

贵阳城市土壤重金属污染研究/王济,白玲玉,张浩著.
北京:气象出版社,2011.7

ISBN 978-7-5029-5177-1

I. ①贵… II. ①王… ②白… ③张… III. ①土壤污染:重金属污染-研究-贵阳市 IV. ①X53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 029373 号

出版发行:气象出版社

地 址:北京市海淀区中关村南大街 46 号

邮政编码:100081

总 编 室:010-68407112

发 行 部:010-68409198

网 址:<http://www.cmp.cma.gov.cn>

E-mail: qxcbs@cma.gov.cn

责任编辑:崔晓军

终 审:周诗健

封面设计:博雅思企划

责任技编:吴庭芳

责任校对:石 仁

印 刷:北京京科印刷有限公司

开 本:880 mm×1 230 mm 1/32

印 张:3.75

字 数:120 千字

版 次:2011 年 7 月第 1 版

印 次:2011 年 7 月第 1 次印刷

定 价:15.00 元

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等,请与本社发行部联系调换

前 言

城市是人类活动与自然环境相互作用的典型区域,是人类活动最为强烈的区域。城市化是人类有史以来强度最大、影响最深的人为活动,据《中国城市发展报告(2009)》显示,目前我国已经进入城市化快速增长时期,城镇人口达到 6.218 6 亿,城市化水平从 2005 年的 42.99% 提高到 2009 年的 46.59%,年均增加 0.9 个百分点。按照目前的增长速度,到 2020 年,将有近 55% 的人口居住在城市。在快速城市化进程中,城市人口过度聚集,超过了城市资源与环境的承载能力,出现了诸多区域生态环境问题,例如,土壤污染导致的生产力水平下降,污染物积累导致的土壤环境容量减小和“化学定时炸弹”等诸多危险,已直接影响和制约着区域经济和社会的可持续发展及人民生活水平的提高。

城市土壤并不是一个分类学上的术语,它是出现在城市和城郊地区、受人为活动强烈影响、原有继承特性得到强烈改变的土壤的总称,其广泛分布于公园、道路、体育场、城市河道、城郊、垃圾填埋场、废弃工厂及矿山周围,或者简单地成为建筑、街道、铁路等城市和工业设施的“基础”而处于埋藏状态。城市土壤作为城市生态系统的重要

组成部分,在功能上由原来的农业和园艺利用为主转向环境缓冲和容纳为主,是城市污染物重要的源和汇,并起着净化、过滤、消解污染物的作用。近年来,随着我国工业化的不断发展和城市化进程的加快,工业、商业、交通等各种各样的人类活动将大量重金属污染物带入城市土壤,造成城市土壤重金属污染。在过去一段时期内,重金属污染问题在我国并未得到充分重视,但近些年来频繁爆发的重金属污染事件,给我们敲响了重金属污染治理的警钟,且重金属污染最可怕的危害在于,作为一种持久性有毒物质,重金属进入土壤环境后难以被微生物降解,却可以在生物体内不断富集,并能通过大气、水体、食物链等直接或间接地威胁人类的健康甚至生命。因此,为了合理规划和利用城市土地,预防和治理城市土壤重金属污染,充分发挥其生态和环境功能,客观上需要对城市土壤重金属的空间分布特征、来源途径、化学形态及其生态环境效应等进行深入研究,为城市生态环境调控及城市的可持续发展提供科学依据。

本书以喀斯特山区城市贵阳市为例,对城市土壤中重金属的地球化学特征进行研究,并尝试提出管理与防治城市土壤重金属污染的对策。全书共分为9章,第1章综述了目前国内外对于城市土壤重金属的研究进展;第2章简要介绍了研究区域概况;第3章分析了贵阳市城区路侧土壤重金属的空间分布规律及其影响因素;第4章比较研究了贵阳城市不同功能区土壤重金属的分布差异及其原因;

第5章对贵阳城市土壤重金属的污染现状进行了评价;第6章采用数理统计方法对贵阳城市土壤重金属的主要来源作了探究;第7章比较了城市绿化植物对土壤中汞的吸收能力;第8章探讨了城市土壤重金属污染管理与防治对策;第9章为本书的主要结论及下一步的工作设想。

总之,城市圈内的土壤质量正遭受着有史以来最为深刻、持久的人为活动的影响,城市化背景下的城市土壤质量的演变及这种演变所带来的生态和环境效应将是研究人类活动与环境关系问题的重要组成部分,也是研究城市可持续发展管理的基础。本书只是针对城市土壤污染问题的一个方面——重金属污染问题进行初步研究,由于近些年来城市土壤重金属污染问题才成为各方面关注的热点,因此,掌握的资料不全,且作者学识水平有限,书中难免有不足和谬误之处,敬请广大读者批评指正。

本书在完成过程中,得到中国农业科学院曾希柏研究员等多位专家的指导及贵州师范大学地理与环境科学学院领导的大力支持,在此深表感谢。

著 者

2011年6月

目 录

前言

第 1 章 城市土壤重金属研究概述	(1)
1.1 城市土壤重金属的空间分布	(2)
1.2 城市土壤重金属的化学形态分析	(4)
1.3 城市土壤重金属来源分析	(5)
1.3.1 成土母质	(5)
1.3.2 工业活动	(6)
1.3.3 交通运输	(6)
1.3.4 煤炭燃烧	(7)
1.3.5 废弃物堆积	(7)
1.3.6 大气沉降	(8)
1.4 城市中重金属在不同介质间的迁移转化	(8)
1.5 城市土壤重金属污染的生态环境效应	(10)
1.5.1 城市土壤重金属污染对人体健康的影响	(10)
1.5.2 城市土壤重金属污染对土壤微生物的影响	(11)
1.5.3 城市土壤重金属污染对土壤酶的影响	(12)
1.6 存在问题及研究展望	(13)
第 2 章 研究区域概况	(17)
2.1 地理位置、面积	(18)
2.2 气候特征	(20)
2.3 土地	(21)

2.4	人口	(21)
2.5	土壤背景	(22)
2.6	地质地貌	(23)
2.7	矿藏	(24)
2.8	能源	(26)
2.9	机动车数量	(26)
2.10	能源消费情况	(27)
2.11	经济发展概况	(30)
第3章	贵阳市城区路侧土壤重金属分布特征	(33)
3.1	材料与方法	(34)
3.1.1	采样方法	(34)
3.1.2	样品处理与分析测试	(35)
3.2	结果与讨论	(36)
3.2.1	路侧土壤重金属含量特征	(36)
3.2.2	路侧土壤重金属含量分布特征	(38)
3.3	影响贵阳市城区路侧土壤重金属含量及分布格局 的因素	(40)
3.3.1	交通运输	(40)
3.3.2	地形及路况	(41)
3.3.3	气象因素	(42)
3.3.4	城市建设	(43)
3.4	小结	(43)
第4章	贵阳城市不同功能分区土壤重金属分布特征	(45)
4.1	材料与方法	(45)
4.1.1	样品的采集与处理	(45)
4.1.2	样品分析测试	(47)
4.2	结果与分析	(48)

4.2.1	贵阳市城区土壤重金属的含量特征	(48)
4.2.2	贵阳市城区不同功能区土壤重金属分布特征	(49)
4.3	小结	(52)
第5章	贵阳城市土壤重金属环境质量评价	(53)
5.1	评价方法	(53)
5.1.1	地质累积指数(I_{geo})法	(53)
5.1.2	潜在生态危害指数(RI)法	(54)
5.2	贵阳城区路侧土壤重金属污染评价	(55)
5.3	贵阳城市不同功能区土壤重金属污染评价	(57)
5.4	小结	(58)
第6章	贵阳城市土壤重金属主要来源分析	(61)
6.1	重金属元素的相关性分析	(61)
6.2	重金属元素来源的主成分分析法	(63)
6.3	小结	(71)
第7章	城市绿化植物对土壤中汞吸收的比较	(73)
7.1	材料与方法	(74)
7.1.1	材料	(74)
7.1.2	样品的采集	(74)
7.1.3	样品中 Hg 含量的分析方法	(75)
7.2	结果与讨论	(75)
7.3	小结	(77)
第8章	城市土壤重金属污染管理与防治对策	(79)
8.1	健全我国土壤污染防治法制和管理体系	(80)
8.2	完善我国土壤环境质量标准体系	(81)
8.3	促进产业结构优化升级与合理布局	(82)
8.4	加强宣传教育,强化公众环保意识,健全社会监督	

机制	(83)
8.5 严格控制污染源	(87)
8.5.1 燃煤污染源控制措施	(87)
8.5.2 交通运输污染源控制措施	(88)
8.5.3 工业污染源控制措施	(88)
8.6 治理方法	(89)
8.6.1 微生物修复	(90)
8.6.2 植物修复	(91)
第9章 主要结论及下一步工作设想	(95)
9.1 主要结论	(95)
9.2 下一步工作设想	(97)
参考文献	(99)

第1章 城市土壤重金属研究概述

城市土壤并不是一个分类学上的术语,它是出现在城市和城郊地区、受多种人为活动方式的强烈影响、原有继承特性得到强烈改变的土壤的总称(张甘霖等 2003a)。这些被人为活动改变的土壤广泛分布在公园、道路、体育场、城市河道、城郊、垃圾填埋场、废弃工厂和矿山周围,或者简单地成为建筑、街道、铁路等城市和工业设施的“基础”而处于埋藏状态(卢瑛等 2001)。作为城市生态系统的重要组成部分,城市土壤是城市绿色植物的生长介质和养分的供应者,是土壤微生物的栖息地和能量来源,是城市污染物重要的源和汇,直接影响到城市生态环境质量(De Kimpe 等 2001)。随着我国工业化的不断发展和城市化进程的加快,工业、交通、生活等各种各样的人类活动将大量重金属污染物带入土壤,而重金属作为一种持久性的有毒污染物,进入城市土壤环境后难以被微生物降解,却能被生物不断富集,并通过大气、水体或食物链等直接或间接地威胁人类的健康甚至生命(韩爱民等 2002, Shomar等 2005)。目前,关于城市土壤重金属环境地球化学特征的

研究主要集中在城市土壤重金属的空间分布特征、主要来源途径、化学形态及其生态环境效应等方面。

1.1 城市土壤重金属的空间分布

从空间上看,城市土壤中重金属含量要明显高于郊区及远离城市的农田土壤,城市是郊区土壤重金属的污染源(Li 等 2001)。对纽约“市区—郊区—农区”土壤重金属的研究发现,重金属离子总量、重金属离子多样性等随着距市中心距离的增加而降低,且城区土壤中 Cu、Ni 和 Pb 的含量分别是农田土壤的 4、2 和 2 倍(Pouyat 等 1991)。卢瑛等(2004)的研究结果也表明,城市土壤已不同程度上受到重金属的污染,且大部分重金属含量都高于郊区土壤。

土地利用方式对土壤重金属含量有着显著影响。在城市不同的功能区,重金属分布呈现出一定的规律性,一般来说,工业区和商业区重金属污染最为严重,其次为居民区,风景娱乐区和新开发区土壤重金属含量一般较低,污染也相对较轻(史贵涛等 2006)。工矿区以 Pb 和 Cd 的积累为特征,而居民区和商业区则以 Cu 和 Zn 的积累为特征(Linde 等 2001,吴新民等 2003a)。

城市土壤重金属污染的另一特征是沿交通干道两侧呈现出较严重的带状污染(兰天水等 2003,郑袁明等 2005,郭平 2005,张孝飞等 2005),一般以 Pb、Cd、Cu 和 Zn 为主,强度因距公路、铁路、城市的远近及交通量的大小

而有明显的差异。尼日利亚车流密度大的路侧土壤中 Pb、Cd、Cu、Ni 和 Zn 的含量要高于车流密度小的路侧土壤,且随着距公路距离的增大,重金属含量快速降低,到距公路 50 m 左右的地方,重金属含量基本降低到背景值水平,Zn 在距公路 30 m 处趋于背景值水平(Fakayode 等 2003);德国多特蒙德公路(车流量为 3 200 辆/d)路旁土壤中 Cd、Ni、Pb、V 和 Zn 的含量随距公路的距离增加呈指数下降,并且在距公路 10 m 处均达到背景值水平(Munch 1993)。

城市土壤重金属污染还表现出个别区域某些重金属元素严重富集(加油站、冶炼厂附近、垃圾堆积处等),如在南京市个别区域土壤中 Pb 含量竟达到 700 mg/kg 以上(吴新民等 2003a);南京某铬厂周边土壤中 Cr 污染叠加量已达背景值含量的 4.4 倍,污染以车间烟囱为中心,形成直径范围达 1.5 km 的污染斑块(张辉等 1997)。

城市土壤受人为扰动较大(李敏等 2006),挖掘、搬运、堆积、混合和大量废弃物的填充,使自然土壤发生层被破坏,土壤结构与剖面发育层次十分混乱,土壤剖面上下土层无发生学上的联系,致使重金属污染的土壤剖面特征不同于自然土壤或表层耕作的农田土壤,在剖面上无明显的分布规律,国内外很多城市的研究结果都证实了这一点(Jim 1998,卢瑛等 2002,章明奎等 2003,符娟林等 2004,杨凤根等 2004)。

1.2 城市土壤重金属的化学形态分析

土壤重金属污染的严重性及其在土壤中的环境行为并不完全取决于总量,也取决于其化学形态,不同形态的重金属,其生理活性和毒性均有差异。目前,大多数研究者认为土壤环境中重金属赋存形态可分为:①水溶态;②可交换态;③碳酸盐结合态;④铁锰氧化物结合态;⑤有机结合态;⑥残渣态。由于水溶态一般含量较低,又不易与可交换态区分,常将水溶态合并到可交换态中。其中可交换态的重金属在土壤环境中最为活跃,活性大、毒性也强,易被植物吸收,也容易被吸附、淋失或发生反应转为其他形态。残渣态的重金属与土壤固相结合得最牢固,用普通的浸提方法不能从土壤中提取出来,其活性最小,几乎不能被植物吸收,毒性也最小。铁锰氧化物结合态在还原条件下易溶解释放,有机结合态在氧化状态下易分解释放,这两种形态的重金属活性、毒性居中。碳酸盐结合态,对土壤 pH 最敏感,当 pH 值下降时易重新释放出来而进入环境中,相反,pH 值升高有利于碳酸盐的生成。概言之,由于城市土壤的高 pH 值(偏碱性),土壤中的重金属元素均表现出较低的生物有效性(Wilcke 等 1999),其形态以稳定的残渣态为主,可交换态的比例较小,但不同元素之间、不同功能区之间各种形态所占比例还是有很大差异(王美青等 2002,卢瑛等 2003,宋明义等 2008)。在人类

强烈活动的影响下,城市土壤重金属不断富集,其形态组成会发生相应的变化,其中酸可提取态(一般包含上述前三种形态)重金属比例有上升趋势,而残渣态的重金属比例呈下降趋势(李佑国等 2004,Rasmussen 等 2001)。

总之,由于土壤组成、土壤利用方式、土壤 pH 值与 Eh 值、土壤无机与有机胶体的含量等因素差异,以及重金属的复杂性质和多重价态,造成了重金属在土壤中有多种赋存形态和复杂的变化。此外,有些城市受到酸雨等因素的影响,正在打破城市土壤 pH 值偏高的现象,但目前的研究结果表明酸雨尚未造成城市土壤中重金属的明显释放(郭朝晖等 2003)。但由于城市土壤重金属相对环境容量的有限性,不排除酸雨影响会打破这种人为地球化学垒的屏障。

1.3 城市土壤重金属来源分析

城市土壤中重金属含量主要受成土母质和外源输入两个因素控制。城市化过程加快了土壤重金属的外源输入速率。城市土壤的外源重金属主要来源于工业活动、交通运输、煤炭燃烧、废弃物堆积和大气沉降等。

1.3.1 成土母质

成土母质是城市土壤重金属的重要来源,是决定城市土壤中重金属含量与分布特征的重要因素之一(陶澍等

2001)。例如,在北京市,目前土壤中 Cr、Ni 的含量主要受成土母质的影响,只是个别地区存在明显的 Cr、Ni 含量严重偏高的现象(郑袁明等 2003)。

1.3.2 工业活动

矿产冶炼、电镀、塑料、电池、化工等行业是排放重金属的主要工业源,它们所排放的重金属一方面呈气态或呈气溶胶态,进入大气后经干湿沉降进入土壤;另一方面,工业活动所产生的废渣是重金属的重要载体,尤其是一些金属冶炼厂废渣中的重金属含量极高(徐东慧等 2005),无处埋堆弃或直接混入土壤,也会造成土壤重金属富集。因此,在城市土壤中,工矿业周围土壤重金属污染一般较为显著。沈阳冶炼厂厂区及其周围土壤中 Cd、Pb、Cu 和 Zn 的平均含量分别为沈阳市背景值的 36.85,30.68,16.58 和 13.36 倍,属于重金属严重污染区(马溪平等 2007)。

1.3.3 交通运输

城市交通运输则是城市土壤重金属的另一个重要来源,汽车尾气排放、轮胎及车辆镀金部分磨损或润滑油燃烧都能释放出大量含重金属 Pb、Cd、Cu 和 Zn 的有害气体和粉尘,进而通过大气干湿沉降影响路侧土壤中重金属的含量(马溪平等 2007,李波等 2005,郭广慧等 2008)。随着我国经济的不断腾飞及城市基础设施的不断完善,我国汽车保有量将不断增加,势必会进一步增加城市环境压力。

1.3.4 煤炭燃烧

煤炭中含有多种微量元素,尤其是一些潜在毒害元素,如 Hg、Se、Pb、Cd、As、Zn、Sb 和 Ti 等。Nriagu 等(1996)研究表明,这些元素在高温条件下具有挥发性和半挥发性,即在煤炭燃烧过程中,它们呈气态或吸附在烟气中的细小颗粒物中呈气溶胶态,并能通过各种烟气释放到大气环境中,尽管煤炭中这些元素的含量很低,但由于大量煤炭的燃烧,燃煤已成为大气环境中这些潜在毒害元素的主要污染源。据报道,煤中 Hg 在燃烧过程中有 75% 释放到大气中,由此估算我国燃煤每年向大气排 Hg 约 200 t 以上,全球质量平衡估算表明由人为源释放到大气中的 Hg 有 1/3 来自煤炭燃烧(王起超等 1999)。雒昆利等(2002)研究表明,燃烧 1 t 含 Pb 为 30 g 左右的煤,排放到大气中的 Pb 为 20 g 左右,燃煤中 Pb 的排放率为 66% 左右。这些经煤炭燃烧进入大气的重金属会随着大气干湿沉降不断富集到土壤中,如不加以控制,必会对城市生态系统及人体健康产生长期危害。

1.3.5 废弃物堆积

含重金属废弃物未经处理随意堆积也会造成城市土壤重金属污染,而且不同种类废弃物的危害方式和污染程度都不一样。污染的范围一般以废弃物堆为中心向四周扩散。据报道,武汉市垃圾堆放场(方满等 1998)、南京市