

# 城市不同功能区土壤重金属分布初探<sup>\*</sup>

吴新民<sup>1,2</sup> 潘根兴<sup>1</sup>

(1 南京农业大学农业资源与生态环境研究所, 南京 210095)

(2 池州师范专科学校, 安徽池州 247100)

## DISTRIBUTION OF HEAVY METALS IN URBAN SOILS DIFFERENT IN FUNCTIONAL ZONE

Wu Xinmin<sup>1,2</sup> Pan Genxing<sup>1</sup>

(1 Institute of Resources Ecosystem and Environment for Agriculture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

(2 Chizhou Teachers College, Chizhou, Anhui 247100, China)

关键词 城市土壤; 重金属; 分布

中图分类号 S152.48

文献标识码 A

在城市生态系统中,城市土壤重金属积累状况对城市绿地建设、城市区域环境质量及人类健康都有十分重要的影响<sup>[1]</sup>。国外研究证明城市土壤中重金属元素已有不同程度积累<sup>[2~6]</sup>。我国也有这方面的研究报道,但这些研究大都集中在研究重金属含量和单个污染物污染程度方面<sup>[7~10]</sup>,一些研究也涉及到重金属的分布<sup>[8]</sup>、城市重金属的影响因子分析<sup>[11]</sup>。但对城市不同功能区重金属元素的分布特性、重金属与环境之间以及重金属相互之间关系的研究报道甚少。然而这些研究又是城市土壤质量研究的基础<sup>[1]</sup>,只有认清不同重金属元素在城市各功能区土壤的地球化学过程,才能有效地控制和降低城市土壤的重金属含量和活性,提高城市土壤质量。本文对南京市城市土壤重金属在城市不同功能区的含量分布、不同功能区各元素间分布格局的差异性、以及与环境因子之间的关系进行分析,以揭示城市土壤重金属分布特性,为合理规划和利用城市土壤、改造和提高城市环境质量、保障人类健康等提供重要依据。

## 1 研究方法

### 1.1 城市功能区的选择

城市的中心活动是大规模的工业产业和人类的

聚居与密集的商业活动。风景区、城市绿地作为城市的建成区,是城市功能的延伸,但前者基本保持了自然的土壤与生态环境特点,后者是人工改造下的城市绿地,在土壤污染上当有不同表现。随着经济的发展和城市化进程,高新技术工业园区成为城市新的功能区。故将南京市城市土壤按城市的不同功能区划分为矿冶工业区、居民区、商业区、开发区、城市绿地和风景区 6 个功能区进行布点和采样。

在南京市,矿冶区样点选择以钢铁、石化和电力集中的大厂工业区为代表;居民区选择城市中心区的中山东路、太平路、健康路、中华门等有 50 a 以上的老居民区为代表;商业区选择以新街口、鼓楼、汉中门等商业中心和交通要道为代表;风景区选择钟山、玄武湖、清凉山、雨花台等地为代表;城市绿地选择汉中门、鼓楼、鸡鸣寺、御道街等绿地和休闲地为代表;开发区选择新建的以高新技术开发区和房产开发为主的地段,如南京高新技术开发区、新月湖开发区等地为代表进行布点。

### 1.2 城市土壤样本的采集与处理

为了揭示人类活动和土壤本身性质对城市土壤重金属分布的影响问题,我们在选取采样点时主要

<sup>\*</sup> 国家自然科学基金重点项目(40231016)、教育部重点科研项目(2002012)资助  
作者简介:吴新民(1963~),男,副教授,从事土壤与环境质量教学研究工  
收稿日期:2004-06-22;收到修改稿日期:2004-11-24

考虑:每个功能区内样点布设考虑土壤发育环境(土壤有机质、粘粒含量、pH 值、距工业区远近、交通车流量、生产生活废弃物堆埋程度),选择代表性样点,用多点取样法分别采取 0~5cm、5~20cm、50~60cm 三个土壤剖面层次的土样作为分析样<sup>[9~11]</sup>,土壤剖面记录及分析样本采集按规程<sup>[12]</sup>进行;风干土样分别过 10 目、20 目塑料土筛,取部分土样进一步用玛瑙研钵研磨,过 100 目塑料土筛,供元素全量分析使用。

### 1.3 分析方法

**1.3.1 土壤基本性质测定<sup>[12]</sup>** 土壤颗粒组成采用比重计法测定;pH 值以 1:1 水土比浸提,pH 计测定;有机碳采用外加热法测定。

**1.3.2 土壤重金属元素测定** 选择人类活动源元素 Pb、Cu、Zn、Cd 等 4 种重金属元素作为城市土壤重金属测定对象。全量浸提采用三酸消化法制样<sup>[12]</sup>,待测液中重金属元素含量用原子吸收分光光谱仪(TAS-986,北京普析公司,2001)测定,其中 Cd 采用石墨炉火焰法测定。

**1.3.3 分析质量控制** 用国家地球化学标准样 GBW07603 (GSV-2)内插法。

## 2 结果与讨论

### 2.1 土壤重金属的分布

#### 2.1.1 土壤重金属在城市不同功能区分布特征

鉴于城市土壤的混杂性,不同层次样本都作为单独样本进行统计。不同城市功能区土壤的重金属含量分布如图 1。可见,6 个功能区在土壤重金属含量上存在显著性差异。Pb、Cd 两元素在矿冶区含量最高,而 Cu、Zn 以老居民区、商业区含量较高,城市绿地 Zn 含量较高。新街口地区土壤重金属污染十分严重,土壤表层的 Cu、Zn、Pb、Cd 含量分别高达 157.3、565.8、345.3 和 3.18 mg kg<sup>-1</sup>。用内梅罗计算式评价不同功能区的重金属污染强度: $P_{ij} = [ (MaxC_i / S_{ij})^2 + (1/n \sum C_i / S_{ij})^2 ] \times 0.5$ <sup>0.5</sup>,其中 j 为城市功能区编号,i 为重金属元素种类,C<sub>i</sub> 为 i 重金属元素的实测浓度,S<sub>ij</sub> 为参考的土壤环境背景值<sup>[13,14]</sup>,n 为重金

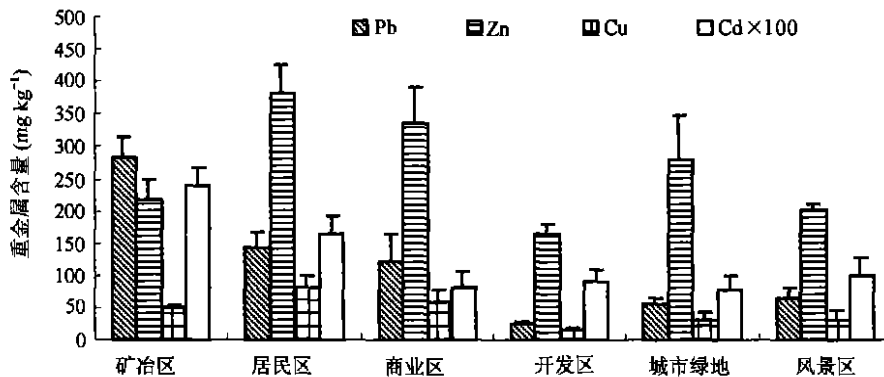


图 1 城市不同功能区土壤重金属的分布

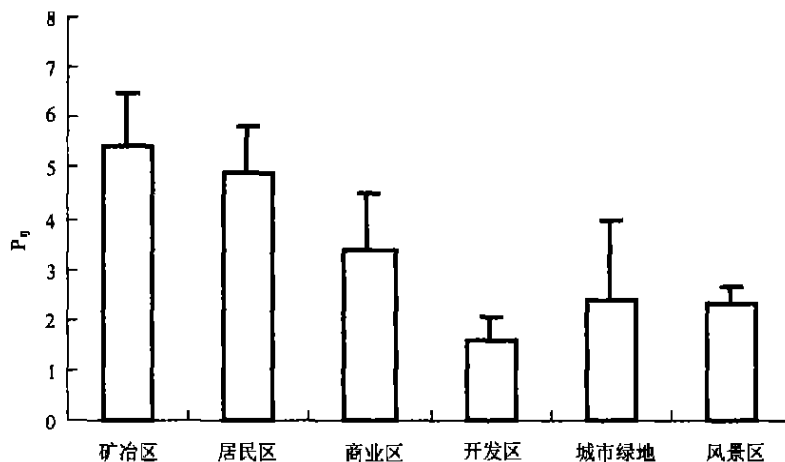


图 2 城市不同功能区土壤重金属综合污染指数(P<sub>ij</sub>)

属种类总数 ( $n = 4$ )。计算得出不同功能区土壤重金属综合污染指数 ( $P_{ij}$ )。不同功能区  $P_{ij}$  分布见图 2。表明城市土壤重金属污染指数以下列顺序递降: 矿冶区 > 老居民区 > 商业区 > 城市绿地 风景区 > 新开发区。因此,在城市土壤中,重金属积累以新开发区和风景区为最轻,城市绿地也较好,其他功能区积累相当严重。

2.1.2 土壤重金属含量的深度分布 将所采样本按不同深度进行土壤重金属含量的归纳比较,结果于图 3。城市土壤的混杂性使得重金属全量在土壤剖面深度分布的变异加剧,样本的标准差加大。不过,在不同功能区中,Pb、Cd 的深度分布趋势一

致,而 Cu、Zn 也表现出相似的不同区间的变异格式。在城市中心区(居民区和商业区)的土壤中,Cd、Cu、Zn 的表层积累现象较明显,而风景区土壤中,Cd、Cu、Zn 往往表现出在亚表层积聚的现象,在新开发区的土壤中 Cu 和 Cd 也有表聚趋势,说明在污染较轻而土壤干扰较少的情况下,土壤重金属存在向下迁移现象,这与这些土壤中仍然保持土壤水的剖面下渗有关,而城区土壤往往因人为活动或踩踏,土壤水下渗困难。城市绿地土壤的深度分布趋势不明显,是因为这些土壤多为人为搬运而堆叠,层次混乱。

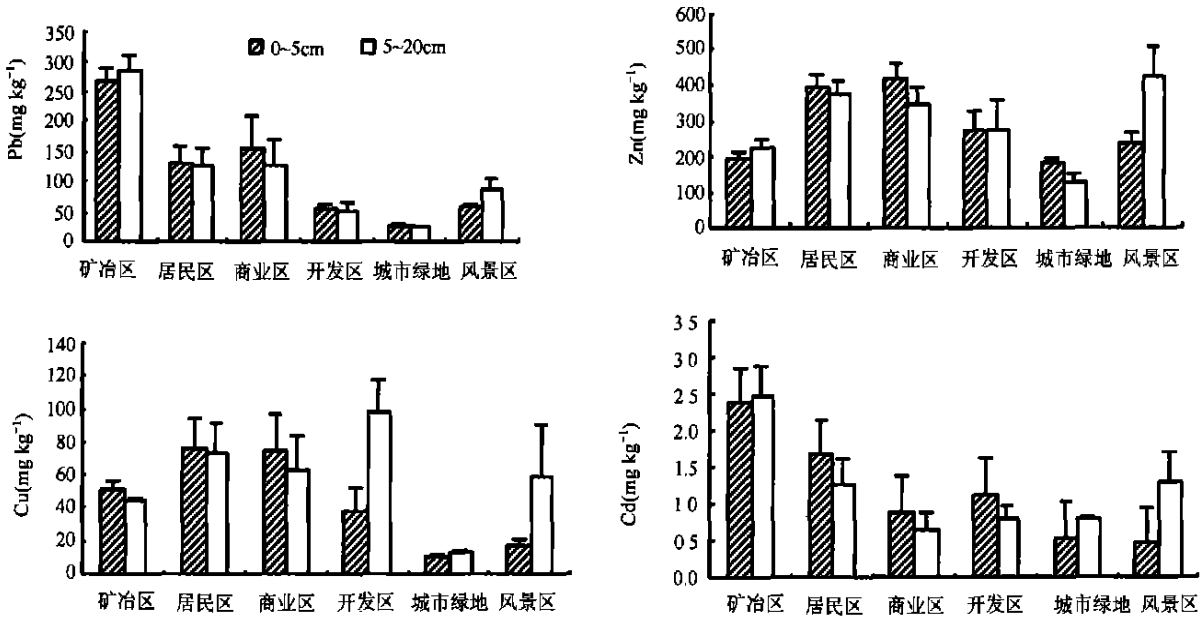


图 3 城市不同功能区土壤重金属全量的深度分布

2.2 同一功能区内土壤重金属含量变化及其相关性

在同一功能区,各元素间分布格局也不尽相同。重金属元素之间在一个功能区样本中存在依存关系,说明它们的来源途径是相似的,若不存在依存关系则来源的途径是不同的<sup>[3]</sup>。对同一功能区内所测的城市土壤重金属 Pb、Zn、Cu、Cd 含量进行两两对比,比较元素间是否存在依存关系,以便探索功能区内重金属的来源途径。

表 1 反映南京市各城市功能区重金属元素之间依存关系程度。通过各城市功能区内元素间的依存关系不同的元素组合特征可以发现:

在矿冶区,Pb、Zn、Cu、Cd 含量都较高,但它们相互之间依存关系不明显,即在大厂区各样点土壤重金属来源途径不同。可能各样点分别受钢铁冶炼、

石油化工、电力生产企业影响程度不同。钢铁冶炼的工业区尤其以 Pb、Zn 积累最严重,而石油化工为主导的工业区可能 Cd 积累比钢铁冶炼区强,电力生产企业以燃料性质不同造成土壤重金属积累又有所不同,致使土壤各重金属之间不具备依存关系。

在城市中心的居民区,Pb、Zn、Cu、Cd 之间都存在较好的依存关系,Pb—Zn、Pb—Cd、Pb—Cu、Cu—Zn、Cd—Zn、Cu—Cd 间的相关系数  $R^2$  分别为 0.687、0.639、0.908、0.570、0.520、0.717,均达到显著水平。其中,Pb—Cu、Cu—Cd 间的相关性达到极显著水平。说明城市中心的居民区土壤重金属来源途径相同,从剖面分析也可以证明<sup>[11]</sup>土壤污染物主要是生活废弃物。

在城市中心的商业区,Pb、Zn、Cu 之间都存在较

好的依存关系, Pb—Zn、Pb—Cu、Cu—Zn 间的相关系数  $R^2$  分别为 0.554、0.905、0.868, 均达到显著水平。其中, Pb—Cu、Cu—Zn 间的相关性达到极显著水平。说明城市中心的商业区土壤重金属 Pb、Zn、Cu 来源相似。汽车尾气排放<sup>[15]</sup>, 含铅锌铜的装饰材料和管材、电池等生活用品和废弃包装物是都市商业中心区 Pb、Zn、Cu 污染的主要原因<sup>[15]</sup>。Cd 的来源和地球化学性质比较特殊, 所以在该区域与其他重金属相关性不是很明显。

城市绿地重金属分布情况比较复杂, 新建的市民广场多为客土回填, 重金属含量低, 部分样点 Pb、Zn 含量较高, 这可能与地下纵横交错的金属管道灌溉设施腐蚀有关。各元素之间相互依存关系以

Pb—Zn 最明显, 其他土壤重金属仍然保留着背景值特性。

开发区由于人类活动影响, 表土损失, 客土回填, 重金属积累尚不明显, 重金属元素之间相互依存关系也不明显, 人类生产、生活和交通的影响对土壤重金属积累的影响尚未体现。

风景区土壤重金属含量较低, Pb、Zn、Cu 三种元素之间存在着依存关系, Pb—Zn、Pb—Cu、Cu—Zn 间的相关系数  $R^2$  分别为 0.538、0.675、0.688, 均达到显著水平。其中, Pb—Cu、Cu—Zn 间的相关性也达到极显著水平。土壤重金属的来源主要是汽车尾气排放和人类活动的废弃物<sup>[15]</sup>。

表 1 城市功能区内土壤重金属元素间的相关性<sup>1)</sup>

功能区	Pb—Zn		Pb—Cu		Pb—Cd	
	方程	$R^2$	方程	$R^2$	方程	$R^2$
矿冶区	$Y = 95.053e^{0.0027X}$	0.3279	$Y = 64.964e^{-0.0012X}$	0.2202	$Y = 3.2594e^{-0.0012X}$	0.0832
居民区	$Y = 209.29e^{0.0039X}$	0.6874*	$Y = 9.0177e^{0.0137X}$	0.9075**	$Y = 0.6598e^{0.0058X}$	0.6393*
商业区	$Y = 201.01e^{0.0034X}$	0.5535*	$Y = 21.228e^{0.0064X}$	0.9050**	$Y = 0.3571e^{0.0038X}$	0.1868
开发区	$Y = 100.62e^{0.0163X}$	0.0711	$Y = 4.496e^{0.0367X}$	0.4850	$Y = 0.194e^{0.0474X}$	0.3584
城市绿地	$Y = 114.12e^{0.0139X}$	0.5095*	$Y = 17.988e^{0.0067X}$	0.0306	$Y = 0.3438e^{0.0143X}$	0.3199
风景区	$Y = 138.47e^{0.0098X}$	0.5384*	$Y = 1.4e^{0.0394X}$	0.6879**	$Y = 0.6e^{0.0056X}$	0.2100

功能区	Cu—Zn		Cd—Zn		Cu—Cd	
	方程	$R^2$	方程	$R^2$	方程	$R^2$
矿冶区	$Y = 40.618e^{0.0005X}$	0.0451	$Y = 2.4298e^{-0.0002X}$	0.0026	$Y = 1.0391e^{0.0174X}$	0.3078
居民区	$Y = 4.9131e^{0.0067X}$	0.5703*	$Y = 0.4408e^{0.0032X}$	0.5199*	$Y = 0.7362e^{0.0089X}$	0.7165**
商业区	$Y = 9.5113e^{0.0047X}$	0.8683**	$Y = 0.2938e^{0.002X}$	0.0851	$Y = 0.316e^{0.0098X}$	0.2331
开发区	$Y = 7.012e^{0.0029X}$	0.2179	$Y = 1.4786e^{-0.0057X}$	0.3668	$Y = 0.3299e^{0.0551X}$	0.1877
城市绿地	$Y = 10.727e^{0.0034X}$	0.2774	$Y = 0.4165e^{0.002X}$	0.2100	$Y = 0.4658e^{0.0122X}$	0.1991
风景区	$Y = 0.7192e^{0.0118X}$	0.6751**	$Y = 0.64e^{-0.0015X}$	0.0078	$Y = 0.8908e^{-0.0438X}$	0.2723

1) \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ ; 未作星号的表明该两元素间依存关系不显著, 元素之间不具有相关性

### 3 结 论

1) 城市土壤重金属分布不均匀。以矿冶工业区含量最高, 依次为居民区、商业区、风景区、城市绿地、开发区。垂直分布也各不相同, 城市中心区有表聚现象, 风景区和新开发区则有亚表层积累趋势。

2) 不同功能区土壤重金属间依存关系各不相同, 反映其重金属来源的途径存在差异。在矿冶区, 土壤各元素间依存关系不明显, 反映该区土壤重金属来源受所在地企业性质的影响而各不相同, 在城

市中心的居民区, 土壤各元素间依存关系显著, 反映该区土壤重金属来源途径相同, 以生活废弃物为主要特征, 而城市绿地、开发区污染少, 土壤重金属以背景值为特征, 其他各功能区土壤也都有其独特的重金属来源途径。

### 参 考 文 献

- [1] 张甘霖. 城市土壤研究的深化和发展——简评首届“城市、工业、交通和矿区土壤”国际会议. 土壤, 2001, 33(2): 111~112
- [2] De Kimpel C R, Jean L M. Urban soil management: A growing concern. Soil Sci., 2001, 165(1): 31~40

- [ 3 ] Markus J A, Mcbratney A B. An urban soil study: Heavy metals in Gebe, Australia. *Aust. J. Soil Res.*, 1996, 34: 453 ~ 465
- [ 4 ] Lottermoser B G. Natural enrichment of topsoils with chromium and other heavy metals, Port Macquarie, New South Wales, Australia. *Aust. J. Soil Res.*, 1997, 35: 1 165 ~ 1 176
- [ 5 ] Mielke H W. Lead in the inner cities. *American Scientist*, 1999, 87: 62 ~ 73
- [ 6 ] Nevin R. How lead exposure relates to temporal changes in IQ, violent violence, and unwed pregnancy. *Environment Res. Section A*, 2000, 83: 1 ~ 22
- [ 7 ] Zhang M K, Ke Z X. Copper and zinc enrichment in different size fractions of organic matter from polluted soils. *Pedosphere*, 2004, 14(1): 27 ~ 36
- [ 8 ] 孔德工, 唐其展, 田忠孝, 等. 南宁市蔬菜基地土壤重金属含量及评价. *土壤*, 2004, 36(1): 21 ~ 24
- [ 9 ] 管东生, 陈玉娟, 阮国标. 广州城市及近郊土壤重金属含量特征及人类活动的影响. *中山大学学报(自然科学版)*, 2001, 40(4): 93 ~ 96
- [ 10 ] 卢瑛, 龚子同, 张甘霖. 南京城市土壤 Pb 的含量及其化学形态. *环境科学学报*, 2002, 22(2): 156 ~ 160
- [ 11 ] 吴新民, 潘根兴. 影响城市土壤中重金属污染因子的关联度分析. *土壤学报*, 2003, 40(6): 921 ~ 929
- [ 12 ] 鲁如坤主编. *土壤农业化学分析方法*. 北京: 中国农业科技出版社, 1999. 147 ~ 211
- [ 13 ] 中国科学院土壤背景协作组. 北京、南京地区土壤中若干元素的自然背景值. *土壤学报*, 1979, 16(4): 319 ~ 328
- [ 14 ] 国家环境保护局. *中国土壤元素背景值*. 北京: 中国环境科学出版社, 1990. 2 ~ 3
- [ 15 ] 陈同斌, 黄敏洪, 黄焕忠, 等. 香港土壤中重金属含量及其污染现状. *地理学报*, 1997, 52(3): 228 ~ 236