

北京城市边缘区土壤重金属污染物分布特征*

陈晶中^{1,2} 陈杰^{1†} 谢学俭³ 毛久庚² 张学雷¹

(1 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008; 2 南京市土壤肥料站, 南京 210008; 3 南京信息工程大学, 南京 210044)

THE DISTRIBUTION CHARACTER OF HEAVY METALS IN PERI-URBAN AREA OF BEIJING

Chen Jingzhong^{1,2} Chen Jie^{1†} Xie Xuejian³ Mao Jiugeng² Zhang Xuelei¹

(1 Institute of Soil Science, the Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

(2 Nanjing Station of Soil and Fertilizer, Nanjing 210008, China)

(3 Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China)

关键词 城市边缘区; 土壤污染; 重金属; 分布; 北京

中图分类号 X53 文献标识码 A

随着我国的快速城市化, 城市边缘区土地利用类型多元化, 土壤面临巨大的环境压力^[1]。研究城市边缘区土壤环境污染、搞清污染物在城市边缘区土壤中的分布特征, 对于预防和治理土壤及环境污染、城市规划乃至城市化发展道路, 无疑具有重要意义。近 20 多年来, 北京经历了一个高速城市化时期^[2], 北京城郊的土壤污染研究也逐渐增多^[3~5]。所以北京城市边缘区土壤重金属污染物分布特征的研究, 对北京及全国的防治环境污染和城市化发展都具有理论及现实意义。

1 研究区概况

北京市位于华北平原西北边缘, 北纬 39.56 度, 东经 116.20 度, 中心位于北纬 39 度, 东经 116 度。市区规划范围为东至定福庄、西至石景山, 南至南苑, 北至清河, 边缘大体在四环路内外, 规划市区面积约 1 040 km²。北京平原的海拔高度在 20~60 m, 市中心海拔 43.71 m。北京属暖温带半湿润大陆性季风气候, 四季分明, 夏季炎热多雨, 冬季寒冷干燥, 春、秋短促。降水集中, 年平均降雨量 731.7 mm, 年

平均气温 13.1℃, 全年无霜期 180~200 d^[6]。北京市土地面积 16 807.8 km², 研究区主要的土壤类型(面积大于总面积的 5%)有壤质潮土、洪积冲积物脱潮土、砂姜潮土、潮褐土。按中国土壤系统分类法主要土壤类型(面积大于总面积的 5%)为斑纹干润淋溶土、底锈干润锥形土、淡色潮湿锥形土、砂姜潮湿锥形土^[7]。本文研究区域在北京城郊近 2 600 km² 城市边缘区内(见图 1 采样点范围), 该区域基本处于平原地区, 海拔低于 100 m。

2 样品采集与分析

2.1 样点分布及采集方法

样品的采集方法为网格一系统布点法, 以 2 km × 2 km 网格为样点单元, 样点单元采用十字交叉法采集 5 个分点的 0~20 cm 表层土壤均匀混合, 采用四分法留取 1 kg 土壤样品, 共采集 220 个样品。采样用 GPS 精确定位, 并进行周围景观描述记录, 样点分布见图 1。

2.2 样品分析方法

土壤样品在室内风干, 分别过 20 目、60 目、100

* 国家重点基础研究发展规划(973)项目(G1999045707)和中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX3-SW-427)资助

† 通讯作者, E-mail: Jchen@issas.ac.cn

作者简介: 陈晶中, 男, 硕士, 从事 GIS 和土壤质量与环境评价工作。E-mail: Thisun@163.net

收稿日期: 2003-12-27; 收到修改稿日期: 2004-05-29

目筛。全氮采用半微量开氏法;全磷采用高氯酸—硫酸消煮法;有机质采用硫酸—重铬酸钾消煮法;阳离子交换量(CEC)采用 1 mol L^{-1} 中性醋酸铵法; pH 采用无 CO_2 水浸提法; CaCO_3 含量采用气量法;电导率采用水浸提电导仪测定; Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 含量采用 EDTA 容量法; K^+ 、 Na^+ 含量采用火焰光度法^[8]。As 采用原子荧光光谱法; Cd、Pb 采用等离子体质谱法。

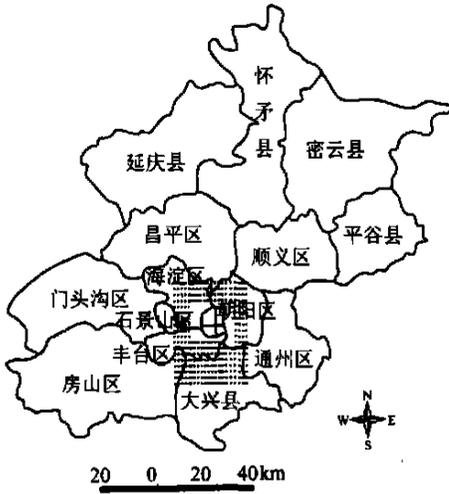


图 1 样点分布图

2.3 数据分析方法

数据的统计分析主要采用 SPSS10.0 for Windows^[9]、Microsoft Excel 2000 和 Microsoft Visual FoxPro 6.0 统计分析软件。

3 结果与讨论

3.1 描述统计分析

从表 1 可以看出研究区内重金属含量的水平。样点之间含量差异最大的是 Pb, 差异最小的是 As; 三种元素含量的总体平均变异程度由大到小排列顺序为: Pb、As、Cd, 其变差(最大值减最小值)分别为 415 mg kg^{-1} 、 12.8 mg kg^{-1} 、 $977 \mu\text{g kg}^{-1}$ 。

土壤重金属含量的描述统计分析只能说明其含量变化的全貌, 而不能反映出局部的变化特征, 即不能反映重金属含量的结构性和随机性、相关性和独立性, 因此需要进一步采用统计学方法描述重金属含量的空间分布特征。

3.2 重金属含量与土壤背景值的比较

土壤重金属只有 As 平均含量低于北京地区重金属自然土壤元素表层背景值(表 2), 低于表层背景值

表 1 重金属元素的描述统计分析

项目	As (mg kg^{-1})	Cd ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Pb (mg kg^{-1})
最小值	3.2	83	20
最大值	16	1 060	435
均值	7.67	168	38.3
标准差	1.82	97.9	30.4
变异系数 CV%	23.7	58.1	79.4
样品数量	220	220	220
分布类型	正态	对数正态	近似正态

的样品基本分布于南部地区, 占总样品的 76.82%, 这说明南部地区受成土母质和成土因素的影响, 加之背景值本身就是平均值, 所以低于背景值, 这同时也说明 As 基本没有外源进入或外源进入很少。Cd 平均含量高于表层背景值, 低于表层背景值的样品大部分分布于南部地区, 占总样品的 47.73%, 而 Cd 的极大值为 $1 060 \mu\text{g kg}^{-1}$, 这说明 Cd 有外源进入, 且外源地区基本为北部。样品 Pb 含量都高于表层背景值, 极大值为 435 mg kg^{-1} , 这说明 Pb 有外源进入, 而且进入量较大。

表 2 北京地区重金属自然土壤元素背景值^[10]

层次	As (mg kg^{-1})	Cd ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Pb (mg kg^{-1})
表层	8.7	150	18.8
底层	10.0	140	21.3

3.3 重金属含量与国家土壤环境质量标准值的比较

土壤重金属 As 含量均小于国家土壤环境质量标准值(表 3)的二级标准, 说明 As 环境状况良好, 无污染。Cd 含量只有 5 个样品(占 2.27%) 大于国家土壤环境质量标准值的二级标准, 说明 Cd 环境状况较好, 基本无污染。Pb 含量只有 1 个样品(占 0.45%) 大于国家土壤环境质量标准值的二级标准, 说明 Cd 环境状况良好, 无污染。

表 3 国家土壤环境质量标准值^[11]

级别	项目	As(旱地) (mg kg^{-1})	Cd ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Pb (mg kg^{-1})
一级	自然背景	15	200	35
二级	pH < 6.5	40	300	250
	pH 6.5~7.5	30	300	300
	pH > 7.5	25	600	350
三级	pH > 6.5	40	1000	500

3.4 重金属含量与土壤性质的关系

通过相关性分析(表 4)可以看出: 除 As 外, Cd、Pb 均与有机质、全 N、全 P 有关, 这是由于它们与有机物质形成化合物, 而 As 不能; 所有重金属均与电导率和钾量相关, 这是由于它们可以相互替换; As、Cd、Pb 均与土壤的粒级相关, 这是由于土壤粒级影响重金属在土壤中的移动。重金属含量与土壤性质之间的这种相关关系反映了土壤性质对重金属含量的影响。

为了确定具有相关性的重金属与土壤性质之间的定量关系, 采用逐步回归分析的方法, 确定 As、Cd、Pb 含量的回归预测模型如下:

$$As = 5.783 + 0.0004477 REP - 0.05849 Na + 1.763 K - 0.0502 CG - 0.002196 MG - 0.00454 FG + 0.0001559 MFG + 0.0105 SCG$$

$$Cd = 54.960 + 2.6565 OM - 2.2812 N + 21.0554 P + 0.02465 REP + 64.047 K - 0.0221 FG - 0.0193 MFG + 0.0509 SCG$$

$$Pb = 14.023 + 0.0476 OM + 0.2422 N + 3.4098 P + 0.02343 REP + 5.197 K - 0.0555 CaCO_3 - 0.009834 FG$$

其中, REP 为电导率, Na 为钠量, K 为钾量, CG 为粗砂, MG 为中砂, FG 为细砂, MFG 为极细砂, SCG 为粘粒, OM 为有机质, N 为全氮, P 为全磷, CaCO₃ 为碳酸钙含量。其中 As、Pb 的单位为 mg kg⁻¹, Cd 的单位为 μg kg⁻¹, 电导率的单位为 mS cm⁻¹, 钠、钾的单位为 mg kg⁻¹, 有机质、全 N、全 P、CaCO₃、粗砂、中砂、细砂、极细砂、粘粒的单位为 g kg⁻¹。

从拟合结果来看(表 5), As、Cd、Pb 等的拟合效果都很好, R² 值均大于 0.4, 这说明 As、Cd、Pb 等的含量受土壤的性质影响较大。

表 4 重金属含量与土壤性质的相关性

项 目	As	Cd	Pb
有机质(g kg ⁻¹)	0.112	0.561*	0.360**
全 N(g kg ⁻¹)	0.055	0.469*	0.364**
全 P(g kg ⁻¹)	0.061	0.386*	0.381**
电导率(mS cm ⁻¹)	0.268**	0.421**	0.458**
pH(H ₂ O)	-0.025	-0.248*	-0.15
钠量(mg kg ⁻¹)	0.341**	0.165	0.138
钾量(mg kg ⁻¹)	0.414**	0.515*	0.374**
钙量(mg kg ⁻¹)	0.205*	0.065	-0.136
镁量(mg kg ⁻¹)	0.053	-0.019	0.027

续表

项 目	As	Cd	Pb
CEC (cmol kg ⁻¹)	0.089	0.022	-0.067
CaCO ₃ (g kg ⁻¹)	0.06	-0.077	-0.271**
石砾(> 2mm)(g kg ⁻¹)	-0.132	-0.047	-0.02
极粗砂(2~ 1.0mm)(g kg ⁻¹)	-0.166	0.063	0.07
粗砂(1~ 0.5mm)(g kg ⁻¹)	-0.261**	0.038	0.039
中砂(0.5~ 0.25mm)(g kg ⁻¹)	-0.489**	-0.169	-0.214*
细砂(0.25~ 0.1mm)(g kg ⁻¹)	-0.536**	-0.255**	-0.283**
极细砂(0.1~ 0.05mm)(g kg ⁻¹)	-0.308**	-0.266**	-0.208*
粉砂(0.05~ 0.002mm)(g kg ⁻¹)	0.242*	0.171	0.231*
粘粒(< 0.002mm)(g kg ⁻¹)	0.720**	0.338**	0.238*

** 99%的置信区间极显著; * 95%的置信区间极显著

表 5 重金属含量与土壤性质的回归方程的检验

元素	决定系数 R ²	校正 R ²	F 值	显著性检验
As	0.623	0.591	20	0.0001
Cd	0.481	0.439	11.3	0.0001
Pb	0.418	0.376	10	0.0001

3.5 土壤中不同种类重金属含量的相互关系

由于不同的重金属同时进入土壤或不同的重金属之间存在相互作用, 可能导致重金属在土壤中的含量存在相关性。对三种重金属在土壤中的含量作相关性分析表明, 不同种类的重金属在土壤中的含量存在相关性(表 6), 三种重金属之间均存在极其显著的正相关性。

为了确定具有相关性的重金属元素之间的定量关系, 采用逐步回归分析的方法, 确定 As、Cd、Pb 含量的回归预测模型如下所示:

$$As = 5.532 + 0.006566 Cd - 0.07627 Pb$$

$$Cd = 35.802 + 1.966 As + 3.33 Pb$$

$$Pb = 4.913 + 0.639 As + 0.0932 Cd$$

其中 As、Pb 的单位为 mg kg⁻¹, Cd 的单位为 μg kg⁻¹。

表 6 重金属含量的相关性

	As	Cd	Pb
As	1		
Cd	0.312**	1	
Pb	0.337**	0.583**	1

** 99%的置信度区间极显著

从表 7 看, 拟合效果都不是很好, 校正 R² 值均小于 0.4, 这说明三种重金属的含量还受其他重金属(如 Hg、Cr 等)及其他因素影响(如人为影响等)。

表 7 重金属含量回归方程的检验

元素	决定系数 R^2	校正 R^2	F 值	显著性检验
As	0.130	0.112	7.394	0.001
Cd	0.369	0.357	29.008	0.0001
Pb	0.392	0.380	31.964	0.0001

4 结 论

北京城市边缘区土壤重金属 As、Cd、Pb 含量变化较大,分布不均。土壤重金属 As 基本无外源进入,而且土壤环境良好;土壤重金属 Cd 部分地区有外源进入,土壤环境较好;土壤重金属 Pb 有外源进入,但土壤环境较好。土壤重金属 As、Cd、Pb 含量与土壤的质地(主要是 0.5 mm 以下粒径)、有机物质(包括有机质、全 N、全 P)的含量、土壤中 K 含量呈极显著相关性,这说明土壤的上述性质影响土壤中的重金属含量和分布。土壤重金属 As、Cd、Pb 含量之间存在极显著的相关性,这说明它们同时进入土壤或不同的重金属之间存在相互作用。

参 考 文 献

- [1] 陈晶中, 陈杰, 谢学俭. 城市边缘区土地利用类型及其面临的环境压力. 城市环境与城市生态, 2003, 16(增刊): 12~ 14
- [2] 何春阳, 史培军, 陈晋, 等. 北京地区城市化过程与机制研究. 地理学报, 2002, 57(3): 363 ~ 371
- [3] 王学军, 邓宝山, 张泽浦. 北京东郊污灌区表层土壤微量元素的小尺度空间结构特征. 环境科学学报, 1997, 17(4): 412~ 416
- [4] 夏立江, 华珞, 韦东普. 部分地区蔬菜中的含砷量. 土壤, 1996, (2): 105~ 109
- [5] 董双双, 陈静生. 三种土壤铅和镉的质量基准初步研究. 地理研究, 1997, 16(4): 31~ 38
- [6] 北京市统计局. 北京统计年鉴. 北京: 中国统计出版社, 1999
- [7] 中国科学院南京土壤研究所土壤系统分类课题组、中国土壤系统分类课题研究协作组. 中国土壤系统分类检索(第三版). 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2001
- [8] 鲍士旦. 土壤农化分析(第三版). 北京: 中国农业出版社, 2000
- [9] 黄海, 罗友丰, 等. SPSS 10.0 for Windows 统计分析. 北京: 人民邮电出版社, 2000
- [10] 李健, 郑春江, 等. 环境背景值数据手册. 北京: 中国环境科学出版社, 1989
- [11] 夏家淇. 土壤环境质量标准详解. 北京: 中国环境科学出版社, 1996