

郑州市土壤重金属空间分布特征 及其影响因素定量研究

董来启¹, 韩春建¹, 吴克宁^{2*}, 刘德元¹, 孙志英³

(1. 河南省煤田地质局 资源环境调查中心, 河南 郑州 450003; 2. 中国地质大学 土地科学技术学院, 北京 100083;
3. 河南省国土资源调查规划院, 河南 郑州 450016)

摘要: 为研究郑州市郊区土壤重金属空间分布特点及其影响因素, 选取土壤性质、交通距离、城市距离等因素为自变量, 各种土壤重金属含量为因变量, 在 GIS 空间统计分析模块中应用多元回归分析, 定量分析土壤重金属含量的影响因素。结果表明: 研究区域土壤中 Cd 的空间分布大致呈自西向东逐渐降低的趋势, 较高处含量在 0.080 mg/kg 以上; Hg 分布由北向南逐渐降低, 较高处含量在 0.055 mg/kg 以上; Pb 的分布基本上为城市的西北偏高, 含量在 25.03 mg/kg 以上; As 的分布为北高南低, 较高处含量在 5.68 mg/kg 以上; Cr 的空间分布差异明显, 西北和东南土壤中 Cr 含量较高, 在 63.8 mg/kg 以上。各重金属含量分布影响因素定量分析结果表明, 土壤重金属含量与土壤性质有较大关系, 与城市距离、交通距离、水源地距离也有一定关系。

关键词: 城市化; 土壤重金属; 空间分布; 影响因素

中图分类号: F301.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-3268(2010)08-0064-05

The Quantitative Study on Spatial Distribution of Soil Heavy Metal and Its Influence Factors in Zhengzhou City

DONG Lai-qi¹, HAN Chun-jian¹, WU Ke-ning^{2*}, LIU De-yuan¹, SUN Zhi-ying³

(1. Resources and Environment Investigation Center of Henan Provincial Coalfield Geology Bureau, Zhengzhou 450003, China;
2. School of Land Science and Technology, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;
3. Henan Provincial Institute of Land Survey and Plan, Zhengzhou 450016, China)

Abstract: To explore the spatial distribution characters of heavy metals in Zhengzhou suburb and its influence factors containing the soil texture, urban distance, highway traffic distance and water source areas distance, firstly found the spatial distribution character of heavy metals in Zhengzhou suburb in GIS and then analyzed the factor that affect the distribution by the multi-regression. The results showed that, the content of Cd reduced gradually from the west to east in this region. The higher content was above 0.080mg/kg. The content of Hg decreased from north to south, the higher was above 0.055 mg/kg; Pb in the soil was distributed relatively high in the northwest of the city. The content was above 25.03 mg/kg and the content of As was high in the north but low in the south, the higher was above 5.68 mg/kg. The distribution of Cr differed greatly, it was high in the northwest and southeast, the content was above 63.8 mg/kg. The quantitative analysis of its influence factors indicated that the content of soil heavy metals were connected with

收稿日期: 2010-03-11

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40471060)

作者简介: 董来启(1960-), 男, 河南兰考人, 高级工程师, 主要从事环境地质勘察研究工作。

* 通讯作者: 吴克宁(1963-), 男, 北京人, 教授, 博士, 主要从事土地资源评价研究。E-mail: knw_u@sohu.com

the soil texture, which was also influenced by urban distance, highway traffic distance and water source areas distance.

Key words: Urbanization; Soil heavy metal; Spatial distribution; Influence factors

城市化是人类社会发展与变革的重要过程,它是农业人口向城市的迁移、集中,工业化程度提高,经济发展,生活方式及思想观念转变,产业由分散到集聚的过程^[1]。随着城市化进程的推进,工业三废、生活垃圾不断排入人类赖以生存的环境,对土壤环境的污染极大。土壤是作物赖以生存的母体,土壤中各种污染物含量或残留量的高低及受污染程度直接影响到作物的质量和食用安全,而这又直接关系到人们的身体健康。因此,有关土壤重金属的研究受到越来越多学者的关注^[2-9]。本研究运用 GIS 软件进行空间多元回归分析,探讨郑州市土壤重金属空间分布特征及其影响因素,旨在为土壤环境保护和土壤资源可持续利用提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 研究区域概况

研究区域为郑州市的金水区、二七区、中原区、惠济区、管城区 5 个区。处于河南的中北部,位于浅山丘陵向平原过渡的交接地带,地理坐标 34°36′~34°57′N 和 113°27′~113°51′E,北依黄河,西南与新密、荥阳接壤,南毗新郑,东与中牟为邻,土地总面积约 1000km²。属暖温带半湿润大陆性季风气候区,干湿季节明显,四季分明。地势自西南向东北倾斜,地面绝大部分为第四纪沉积物所覆盖,西南部为黄土丘陵,向北过渡为黄土倾斜平原,东为黄淮冲积平原和一定范围内的砂丘、砂地。郑州市城市化发展较快,1988 年,城镇用地面积为 84.81 km²,人口 154 万,到 2002 年城镇用地面积已达 156.4 km²,其中建成区面积达到了 136.25km²,常住人口 322 万人。

1.2 资料搜集

有关社会经济、气象、环保、农业、土地利用等数据分别从郑州市历年统计年鉴、郑州市气象局、郑州市环境保护局、郑州市农业局、郑州市国土资源局获取。

1.3 样品采集

采样时考虑土壤属性的最大空间相关尺度,取样点间距应小于空间变异范围,以满足分析与制图的精度要求。结合地形、地貌、土地利用现状、成土母质类型及全国二次土壤普查时的资料等,布置野外采样点。综合考虑以上因素,土壤采样点数目为 105 个,2002 年 10 月秋播以前采样,采样时用 GPS

记录采样点的地理坐标及高程,并详细记录有关土地利用情况、种植制度、施肥状况、水利设施、灌溉水源、灌溉制度、平均单产以及采样点周围的景观信息。为增强取样的代表性,在取样点附近 0~20 cm 土层深度按多点混合四分法取样。

1.4 测定项目及方法

测定项目包括土壤养分及重金属含量等,采用国家标准方法^[10]进行测定,具体测定项目及方法见表 1。

表 1 测定项目和方法

测定项目	方法
有机质	重铬酸钾氧化—外加热法
全氮	半微量凯氏法
碱解氮	碱解扩散法
速效钾	乙酸铵浸提—火焰光度法
速效磷	碳酸氢钠浸提—钼锑抗比色法
pH	电位法(水浸提)
全量汞	氢氟酸—硫酸消煮—原子吸收法
全量砷	二乙基二硫代氨基甲酸分光光度法
全量铜	氢氟酸—硫酸消煮—石墨炉原子吸收法
全量铅	氢氟酸—高氯酸—硝酸消煮—石墨炉原子吸收法
全量铬	二苯碳酰二肼分光光度法

1.5 研究方法

将样品测定结果在 GIS 中连接到采样点上,进行数据转换,利用 GIS 空间分析模块进行插值分析,得到土壤养分及重金属空间分布。采用缓冲区分析等方法,得到城市距离、水源地距离、交通距离等因子空间分布图。

重金属来源可能有 2 种,一是自然来源,二是人为来源。其中人为来源包括工业三废污染、农业生产污染等。有关研究初步证明^[11,12],不同功能区土壤重金属含量分布不同,不同土壤性质的土壤重金属含量也可能不同。因此,为了确定土壤重金属含量分布与有关影响因素之间的定量关系,采用以重金属含量为因变量,以标准化后的土壤性质(包括氮、磷、钾、pH 等)、水源地距离、交通距离、城市距离为自变量的基于空间栅格单元的多元回归分析。

2 结果与分析

2.1 土壤重金属空间分布特征

2.1.1 Cd 空间分布 由图 1 可以看出,研究区域内 Cd 的分布大致呈自西向东逐渐降低的趋势。Cd 含

量较高的地区为西部的大部分地区，以及北部的花园口和东部的姚桥、祭城附近，这些地区的 Cd 含量均在 0.080 mg/kg 以上，而其他地区均低于这一含量，尤以东南部为最低，Cd 含量为 0.002mg/kg。

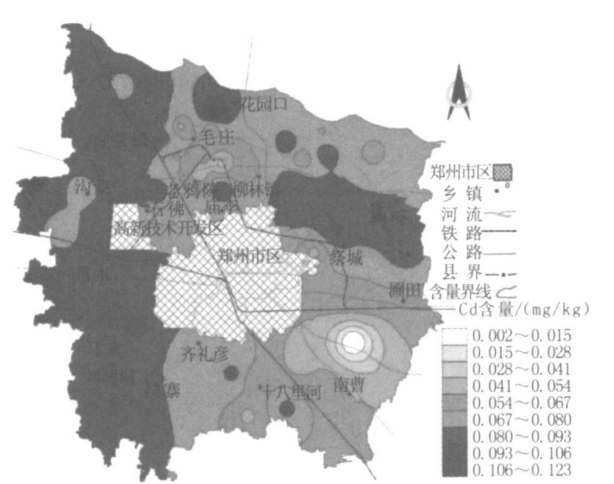


图 1 2002 年郑州市土壤 Cd 空间分布

2.1.2 Hg 空间分布 从整体上来讲，Hg 分布呈由北向南逐渐降低的趋势。Hg 含量最高处分布在老鸦陈和毛庄附近，Hg 含量均在 0.055 mg/kg 以上；最低处主要分布在管城区的南曹乡周围，Hg 含量在 0.016 mg/kg 以下；其他区域 Hg 含量在 0.016~0.055 mg/kg(图 2)。

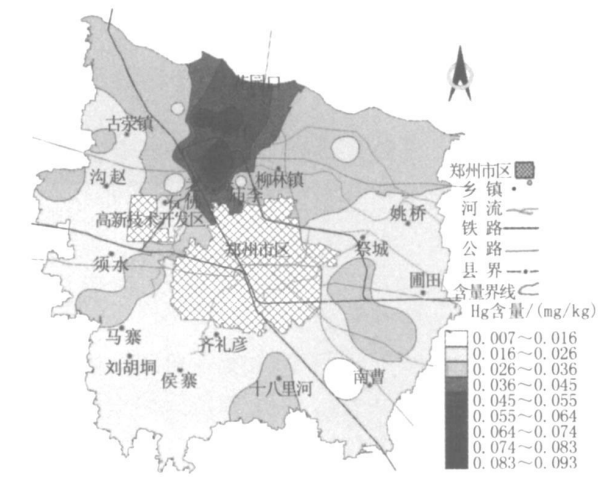


图 2 2002 年郑州市土壤 Hg 空间分布

2.1.3 Pb 空间分布 从整个研究区域来看，土壤中 Pb 的空间分布基本上为城市的西北较高，Pb 含量大于 25.03mg/kg，其他区域较低(图 3)。

2.1.4 As 空间分布 从图 4 可以看出，As 的空间分布为北高南低。在老鸦陈、花园口和柳林镇的局

部地区，As 含量都在 5.68 mg/kg 以上；而南部绝大部分地区含量都在 4.08 mg/kg 以下，只有极小区域 As 含量略大于该值。

2.1.5 Cr 的空间分布 图 5 表明，研究区域内 Cr

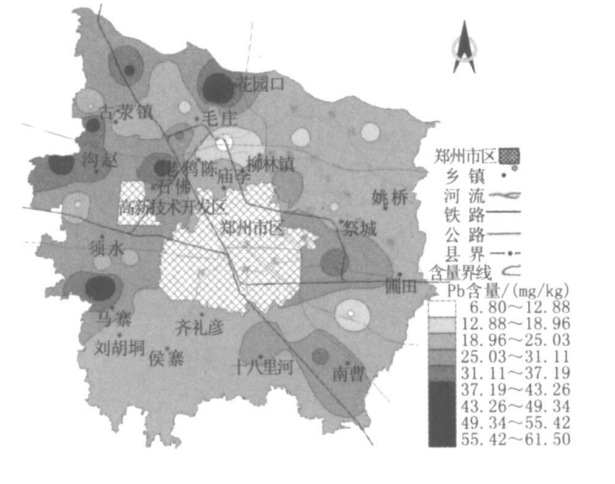


图 3 2002 年郑州市土壤 Pb 空间分布

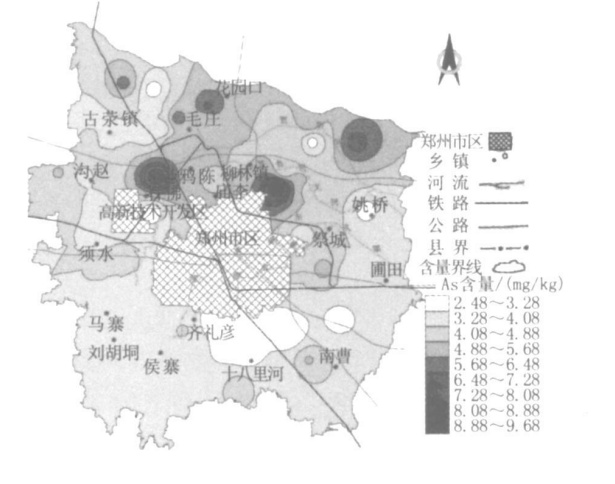


图 4 2002 年郑州市土壤 As 空间分布

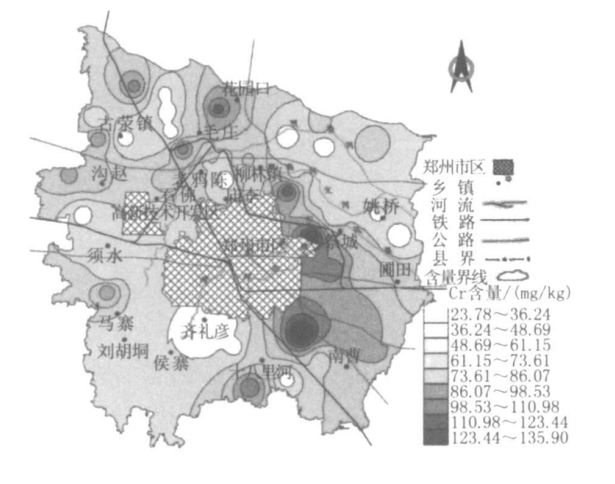


图 5 2002 年郑州市土壤 Cr 空间分布

的空间分布差异明显,西北和东南土壤 Cr 含量较高,均在 63.8mg/kg 以上,其中北部的花园口、古荥和毛庄以及祭城和十八里河的局部地区含量在 86.07mg/kg 以上,其他地区均小于 Cr 元素含量的环境背景值 63.8mg/kg。

2.2 土壤重金属分布影响因素回归分析

2.2.1 Cd 的空间分布影响因素分析

$$W_{Cd} = 0.1864 - 0.0001JN - 0.0803OM + 0.0002SK + 0.0017SP + 1.0265QN + 0.0520PH - 0.0000JC - 0.0001JJ + 0.0002JS$$

$$R^2 = 1.00$$

其中, W_{Cd} 为每个栅格 Cd 含量、JN 为每个栅格碱解氮含量、OM 为每个栅格有机质含量、SK 为每个栅格速效钾含量、SP 为每个栅格速效磷含量、QN 为每个栅格全氮含量、PH 为每个栅格 pH 值、JC 为每个栅格距离城市中心距离、JJ 为每个栅格距离交通距离、JS 为每个栅格距离水源地距离,下同。各影响因素具体定量关系见每个因素前的系数。从上式可以看出,土壤中 Cd 含量与全氮含量、有机质含量、pH 值、速效磷含量关系比较大,与水源地距离、交通距离有一定关系。产生这种现象的原因可能是弱碱性土壤对 Cd 的吸附能力强,有利于对 Cd 的固定,增加了 Cd 在土壤中积累;另外农民大量施用氮肥,也可增加 Cd 在土壤中的积累。此外,西部大面积土壤中 Cd 含量较高可能与附近化工厂排放大量污水有关,而北部花园口和东部姚桥、祭城农田采用造纸厂排放的污水进行灌溉,因此土壤 Cd 含量与水源地距离有一定关系。

2.2.2 Hg 的空间分布影响因素分析

$$W_{Hg} = -0.0255 + 0.0008JN - 0.0506OM - 0.0000SK - 0.0013SP + 1.0215QN + 0.0297PH - 0.0001JC + 0.0001JJ - 0.0000JS$$

$$R^2 = 1.00$$

W_{Hg} 为 Hg 含量,从上式中各因素的系数可以看出,Hg 含量与全氮含量、有机质含量、pH 值、速效磷含量有较大关系,与交通距离、城市距离有较小关系,与速效钾和水源地距离没有关系。这说明 Hg 含量不是由灌溉水源和城市排污而来。分析其原因,可能与这些地区长时间种植蔬菜有关,20 世纪 80 年代主要使用有机氯类农药,其中的 As、Pb、Hg 制剂半衰期长达 10~30a^[13],造成这些重金属在土壤中的富集,使得这些区域 Hg 含量明显高于其他大田或是蔬菜种植时间短的区域。

2.2.3 Pb 的空间分布影响因素分析

$$W_{Pb} = -0.0223 - 0.0004JN - 0.0341OM + 0.0001SK + 0.0003SP + 1.0158QN + 0.0181PH + 0.0000JC + 0.0001JJ + 0.0001JS$$

$$R^2 = 1.00$$

W_{Pb} 为 Pb 含量,Pb 含量的高低一般受工业三废的排放、煤和石油燃烧过程中产生的含有 Pb 的浮尘通过降水在土壤中富集以及汽车尾气中含有的 Pb 影响。从上式中各因素的系数可以看出,Pb 含量与土壤性质中的全氮含量、有机质含量、pH 值等有较大关系,而与碱解氮含量、速效磷含量有较小关系,与交通和水源地距离有一定关系,因此验证了 Pb 一般来源于汽车尾气、污水灌溉等。

2.2.4 As 的空间分布影响因素分析

$$W_{As} = 0.1421 + 0.0000JN - 0.0438OM - 0.0001SK - 0.0009SP + 1.0139QN + 0.0210PH - 0.0002JC + 0.0001JJ + 0.0000JS$$

$$R^2 = 1.00$$

W_{As} 为 As 含量,从上式中各因素的系数可以看出,As 含量与土壤全氮含量、有机质含量、pH 值、速效磷等有较大关系,与土壤速效钾含量有较小关系,与碱解氮没有关系,而与城市距离和交通距离有一定关系,与水源地距离没有关系。导致这一现象可能是这些区域以蔬菜种植为主,在种植过程中使用大量农药造成农田中 As 积累。天然存在含高浓度 As 的土壤一般很少,被污染土壤中 As 主要来自含 As 农药的使用以及煤炭燃烧排放^[14-17]。张民等的研究表明,在菜园和粮田中,随着耕地时间的延长,表层土壤中的重金属含量呈增加趋势^[18]。

2.2.5 Cr 的空间分布影响因素分析

$$W_{Cr} = 0.1014 - 0.0005JN + 0.0123OM - 0.0001SK - 0.0006SP + 0.9988QN - 0.0105PH - 0.0002JC + 0.0006JJ + 0.0001JS$$

$$R^2 = 1.00$$

W_{Cr} 为 Cr 含量,从公式可以看出,Cr 含量与土壤全氮含量、有机质含量、pH 值等有较大关系,而与速效钾含量关系较小,与交通距离、城市距离关系较大,与水源地距离关系较小。造成这种现象的主要原因是水源灌溉污染、城市废水污染、汽车尾气污染。花园口处土壤中 Cr 含量高是因为该处属于黄灌区,黄河水质的状况也影响着农田土壤的环境质量水平,黄河花园口断面水质监测结果表明,综合污染为 IV 类标准,其中重金属为 II 类标准。

综合各重金属含量分布影响因素的定量分析结果,重金属含量与土壤性质有较大关系,其中与全氮含量和有机质含量关系更大,Cd、Hg、Pb、As、Cr含量的系数分别达到1.0265、0.0803、1.0215、0.0506、1.0158、0.0341、1.0139、0.0438、0.9988、0.0123。城市距离、交通距离、水源地距离对Cd、Hg、Pb、As、Cr分布的影响不尽相同,但总体来说三者与土壤重金属分布有一定关系。

3 结论与讨论

研究区域内各种土壤重金属含量在空间上表现如下特征:Cd大致呈自西向东逐渐降低的趋势,Hg由北向南逐渐降低,Pb基本上为城市的西北偏高,As为北高南低,Cr空间分布差异明显,西北和东南Cr含量较高,其余地区较低。

各重金属含量分布影响因素的定量分析结果表明,土壤重金属含量与土壤性质有较大关系,与城市距离、交通距离、水源地距离也有一定关系,这说明城市排污、汽车尾气、污水灌溉等已对土壤污染产生了较大影响。

土壤重金属含量与很多因素有关,其来源也应该有多种。应进一步加强土壤重金属污染调查和污染源追溯,为城市化过程中合理利用土壤资源和防治土壤污染提供依据。

参考文献:

- [1] 高义. 中外城市化比较研究[M]. 天津: 南开大学出版社, 1991.
- [2] 赵伟. 重庆耕地土壤重金属Hg、Cr含量的空间变异性研究[J]. 河南农业科学, 2009(11): 72-76.
- [3] 付巧玲. 河南省几个重点城市蔬菜基地的土壤重金属状况调查[J]. 河南农业科学, 2008(4): 64-66.

- [4] 邵云, 李春喜, 李向力, 等. 土壤-小麦系统中5种重金属含量的相关分析[J]. 河南农业科学, 2007(5): 25-28.
- [5] 李红伟, 邢维芹, 赵财, 等. 长期耕作条件下潮土重金属空间分布及变异性研究[J]. 河南农业科学, 2007(9): 67-71.
- [6] 郭胜强, 周利峰, 王红强, 等. 重金属在城市工业区土壤-植物环境中分布特征及污染评价[J]. 现代农业科技, 2009(5): 257-260.
- [7] 王颖, 陈悦, 孟淑洁, 等. 黑山县常兴镇蔬菜生产基地土壤重金属调查与评价[J]. 现代农业科技, 2008(18): 38.
- [8] 顾国平, 章明奎. 重金属污染农地土壤治理的改良剂选择[J]. 现代农业科技, 2008(17): 193-195.
- [9] 张来振, 刘淑梅, 尚庆伟, 等. 连云港市花生基地土壤重金属含量与分析[J]. 现代农业科技, 2007(14): 113.
- [10] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- [11] 万红友, 周生路, 赵其国. 苏南经济快速发展区土壤重金属含量的空间变化研究[J]. 地理科学, 2005, 25(3): 329-334.
- [12] 陈晶中, 陈杰干, 谢学俭, 等. 北京城市边缘区土壤重金属污染物分布特征[J]. 土壤学报, 2005, 42(1): 149-152.
- [13] 吴敏. 农药污染对土壤的影响及防治措施[J]. 耕作与栽培, 2003, 25(6): 49-50.
- [14] 张毓明. 砷污染[J]. 金属世界, 1995(1): 29.
- [15] 李文珍, 杨洪莉. 浅谈砷污染[J]. 环境保护科学, 1995, 21(3): 38-40.
- [16] 张虎成, 田卫, 俞穆清, 等. 长春市城郊无公害农业土壤环境中As含量状况调查研究[J]. 农业系统科学与综合研究, 2004, 20(1): 50-52.
- [17] 李强, 莫大伦. 土壤环境中砷污染的危害及其研究进展[J]. 土壤与环境, 1997, 6(4): 291-295.
- [18] 张民, 龚子同. 我国菜园土壤中某些重金属元素的含量和分布[J]. 土壤学报, 1996, 33(1): 85-93.