

黑龙江省肇源县土壤汞的空间分异研究

张福刚, 雷国平

(东北农业大学 资源与环境学院, 哈尔滨 150030)

摘要: 研究土壤汞的空间分异, 可以探明影响汞分布的因素, 从而有助于解决汞污染等重大生态环境问题。以肇源县的表层和深层土壤为研究对象, 利用统计指标、GS⁺ 软件中的半方差函数模型和 ArcGIS 软件支持下的克里格插值法, 对 258 个深层土壤样品和 1 030 个表层土壤样品进行分析, 探讨了研究区重金属汞的积累特征。结果表明: 样本点之间具有一定的空间相关性。表层土壤汞分布较深层更为不均匀, 表层差异更大主要是受人为因素影响, 与灌溉、施肥、工农业活动密切相关。深层土壤汞分布状况主要受自然因素影响。

关键词: 汞元素; 空间分异; 地统计学; GIS; 肇源县

中图分类号: X131.3

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2013)01-0273-04

Study on Spatial Variability of Soil Mercury of Zhaoyuan County in Heilongjiang Province

ZHANG Fu-gang, LEI Guo-ping

(College of Resources and Environment, Northeast Agriculture University, Harbin 150030, China)

Abstract: A study on spatial variability of soil mercury helps to solve mercury pollution and other major ecological and environmental problems. Taking surface and deep soil of Zhaoyuan County as the research object, 258 deep soil samples and 1 030 surface soil samples were analyzed and accumulation, characteristics of element mercury in the research area were discussed by using the statistical index, semi-variogram function model of GS⁺ software and Kriging interpolation of ArcGIS software. The results showed that there was a certain spatial correlation between samples taken from different points. Element mercury distribution of the overall soil can be fully reflected, by Kriging interpolation. Element mercury of surface soil distributes more uneven, which was mainly affected by man-made factors, closely associated with irrigation, fertilizers, industrial and agricultural activities. Distribution of elemental mercury in the deep soil was mainly affected by the natural factors.

Key words: element mercury; spatial variability; geostatistics; GIS; Zhaoyuan County

汞是一种对人体有害的重金属元素, 它对人体的危害主要累及中枢神经系统、消化系统及肾脏, 此外对呼吸系统、皮肤、血液及眼睛也有一定的影响。无机汞和有机汞都可引起染色体异常并具有致畸作用。也会使位于细胞膜上的腺苷环化酶 Mg, Ca—ATP 酶及 Na, K—ATP 酶的活性都受到强烈抑制, 进而影响一系列生物化学反应和细胞的功能, 甚至导致细胞坏死。环境中的汞污染^[1] 是一个世界性问题, 从工业革命以来, 20 世纪 50 年代至 60 年代, 在日本九州水俣湾附近的居民由于食用被甲基汞污染的海产品,

导致几千人出现神经系统疾病, 这种病当时被称为“水俣病”。在美国, 由于食用被汞拌种的粮食喂食的猪肉, 引起 4 名儿童严重中毒。1972 年, 在伊拉克, 由于食用被汞污染的种子制成的面包, 6 530 人入院接受治疗, 其中 459 人死亡。在一些国家, 采矿和冶金行业排放大量的汞。西班牙阿马丹的汞矿山和冶金厂是最突出的例子, 最高时汞流量达 0.5 kg/h, 相当于当时全球人为排放率的 0.1%。我国目前耕种土地面积的 10% 以上已受重金属污染。环保部南京环科所发现, 华南部分城市约有一半的耕地已遭到汞

等有毒重金属和石油类有机物的污染;长三角部分城市的连片农田受多种汞污染,致使 10% 的土壤基本丧失生产力,成为“毒土”。

土壤中汞的来源主要有以下几个方面:(1) 土壤母质。土壤母质中的汞是土壤中最基本的来源,原生岩中汞元素的含量,直接决定着土壤中的汞含量。(2) 大气沉降。大气汞进入土壤后,因土壤中黏土矿物和有机物的吸附作用,绝大部分汞迅速被土壤吸收或固定,富集于土壤表层,造成土壤汞浓度的升高。(3) 直接污染。汞直接进入土壤的途径主要包括工业生产、废料和城市生活垃圾的堆放,农用耕作中不合理地施用含汞的肥料和农药以及灌溉等。土壤汞污染问题越来越受到人们的关注。如何解决好土壤汞污染问题,事关国家发展的可持续性。自 20 世纪 80 年代以来,国内许多学者进行了汞污染的相关研究,冯建国等对山东部分苹果园土壤的检测结果表明,研究区域土壤镉、汞严重超标,危害人类身体健康。梁俊等^[2]对陕西渭北苹果园土壤中汞、镉含量进行了描述性分析,并探讨了这两种重金属与土壤值的关系,得出汞、镉元素的分布规律。吴莉萍和赵大为^[3]观测了重庆市近郊铁山坪小流域(TSP)和观音桥(GYQ)两个区域的全沉降、穿透水、地表径流和土壤中的总汞含量,估算了小流域中汞的输入输出通量,分析了城区和郊区的大气汞沉降和分布特征。侯明等^[4]对桂林市近郊 8 个不同片区蔬菜产地的 118 个土壤样品和 71 个蔬菜样品中汞的含量水平进行了调查和分析,运用单因子污染指数法评价了菜地土壤—蔬菜中的汞污染现状。国外学者 Bollen 等^[5]对重金属元素在土壤中的含量进行了生态评价并提出了整改措施,Coolbaugh 等^[6]对内华达州和加利福尼亚大气中重金属元素汞的来源进行了研究。

但这些研究仅是对有限个数的土壤样品数据进行传统的统计分析^[7],其结果反映的是离散分布状况,不能建立区域性的、连续的、整体的概念^[8],不能反映汞元素含量的结构性和随机性、相关性和独立性。肇源县是我国重要的商品粮基地,因而研究肇源县土壤中汞元素的空间分异对于我国的粮食安全和国民经济的稳定都有着举足轻重的作用。鉴于此,本文根据肇源县表层和深层土壤汞的含量变化,表层土壤样品的采样深度为 0—20 cm,深层土壤采样深度为 2 m。利用描述性指标、半方差函数和克里格插值等方法结合 GIS 较强的空间数据管理和空间分析等功能,进行线性无偏最优估计,以避免结果的离散分布。对研究区土壤中汞空间变异特征进行分析,绘制

土壤汞含量空间分布图^[9],以期为农业生产、环境管理和决策提供咨询服务。

1 材料与方 法

1.1 研究区概况

肇源县位于黑龙江省西南部、松嫩两江左岸,长春、哈尔滨、大庆“金三角”的中心,隶属于大庆市。位于北纬 45°23′—45°59′,东经 123°47′—125°45′。西北与杜尔伯特蒙古族自治县、大庆市,北与肇州县,东与肇东市接壤。西南以松、嫩两江主航道为界,与吉林省镇赉县、大安县、前郭尔罗斯蒙古族自治县、扶余县和双城县隔江相望。该区属温带大陆性季风气候,地势东高西低,向西南和西北两侧倾斜,土壤的分布由高向低呈规律性分布,即黑土、黑钙土、草甸土、沼泽土、沙土等依次排列。其中,黑土占总土壤面积的 58% 左右,是该区主要的农业土壤。黑土的成土母质主要以第四纪冲击沉积物黄土状黏土为主,在河流附近低阶地上也有部分冲积物母质。

1.2 样品的采集与分析

土壤样本采集时间为 2006 年秋,按照标准格网进行均匀布点,表层土壤样本按 4 个点/4 km² 的密度进行采集,将每 4 个采样点的土壤样本进行混合,共获得混合样本 1 030 个。深层土壤样本按 4 个点/16 km² 的密度进行布点,将每 4 个采样点的土壤样本进行混合,共获得混合样品 258 个。利用 GPS 记录采样点的经纬度坐标,并详细记录其周围的景观信息、开垦利用历史、耕作制度、施肥水平和生产能力等情况。

按生态地球化学评价样品分析技术要求规定的方法,称取 0.15 mm 样品 215 000 g,通过加入 25 ml 蒸馏水、25 ml 氯化镁溶液、25 ml 醋酸钠溶液、50 ml 焦磷酸钠溶液、50 ml 盐酸羟胺溶液、3ml HNO₃ + 5 ml H₂O₂、20 ml 王水(浓盐酸和浓硝酸)组成的混合物,混合的体积比例为 3 : 1,采用超声波振荡,用 AFS 法分别测试各振荡液中的 Hg,获得水溶态、离子交换态、碳酸盐结合态、腐殖酸结合态、铁锰氧化物结合态、强有机结合态、残渣态。插入 3% 国家一级标准物质 GSS1 和 GSS2 及 5% 的密码重复样对全量 Hg 的分析质量进行监控,分析结果计算显示,这两者 Hg 的分析精密密度为 9.92%,准确度为 2.46%。

1.3 数据处理

利用变异系数对表层和深层土壤汞进行描述分析,得出汞分布的特征^[10]。利用 GS⁺ 软件进行汞元素半方差函数模型的拟合。根据计算出的半方差函数的模型及参数,分析研究区内汞元素的空间变异结

构及其空间相关性。利用 ArcGIS 软件的地统计分析模块,以表层土壤和深层土壤汞样本的化验结果为依据,利用普通克里格插值对表层土壤和深层土壤汞的水平分异规律进行预测,得到表层土壤和深层土壤汞的水平空间分布图。

2 结果与分析

2.1 土壤汞含量的变异系数

变异系数又称“标准差率”,是衡量资料中各观测值变异程度的另一个统计量。标准差与平均数的比值称为变异系数,根据变异系数的大小可粗略估计变量的变异程度:变异系数小于 10% 为弱变异性;变异系数在 10%~100% 为中等变异性;变异系数大于 100% 为强变异性。经计算,表层土壤汞元素的变异系数为 3.57,为强变异性。深层土壤汞元素的变异系数为 0.28,为中等变异。变异系数是反映统计数据波动特征的参数,在一定程度上可以描述相关元素状况的空间分布特征,表层土壤中汞元素变异系数较大,表明汞在肇源县表层土壤的分布较深层土壤更不均匀(表 1),也反映出汞元素表层较深层变化趋势较大,由自然和人为因素影响产生较明显的变化。

表 1 土壤中汞含量差异

项目	表层土壤汞 元素含量/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	深层土壤汞 元素含量/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	差值/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	变化率
最大值	2.552	0.027	2.525	—
最小值	0.007	0.004	0.003	—
平均值	0.024	0.014	0.011	0.774
中位值	0.019	0.013	0.006	0.462
标准差	0.087	0.004	0.083	—

2.2 土壤中汞元素的块金值与基台值之比

半方差函数/协方差函数反映了数据的空间相关程度,只有数据空间相关,才有必要进行空间插值法^[11]。采用 GS⁺ (Geostatistics for the Environment) 软件进行数据统计分析、半方差函数的计算及其拟合。块金值用 C_0 表示,也叫块金方差,反映的是最小抽样尺度以下变量的变异性及测量误差。基台值是半方差值随步长增加到一个相对稳定的水平上时对应的半方差值,是区域化变量总体特征的体现,等于空间结构值和块金值之和。变程是指变异函数在有限步长上达到基台值时对应的步长,也叫做自相关距离,因为变程是空间自相关性的最大距离,在该值上自相关性为 0,大于该距离的区域化变量不存在空间自相关性。

从结构性因素的角度来看^[12],块金值与基台值之比 $C_0/(C_0+C)$ 可以表明系统变量的空间相关性程度,若比值 $<25\%$,说明系统具有强烈的空间相关性;若比值在 $25\% \sim 75\%$ 之间,表明系统具有中等的空间相关性;若比值 $>75\%$ 说明系统空间相关性很弱。在研究区内,表层土壤汞元素的 $C_0/(C_0+C)$ 为 0.496。表明汞元素具有中等强度的空间相关性,由随机因素引起的空间异质性占总空间异质性的 49.6%,表明空间异质性由随机因素和空间结构共同起作用,即与土壤内在属性(如母质、母岩、土壤矿物和地形)和人为因素(如耕作措施及施肥、种植制度等)均有关。深层土壤汞元素的 $C_0/(C_0+C)$ 为 0.162。表明汞元素具有强烈的空间相关性,说明汞元素受土壤内在属性(如母质、母岩、土壤矿物及地形)的影响较大,而受人为因素(如耕作措施及施肥等)的影响较小。

变程给出了随机变量在空间上的自相关性尺度,表明属性因子空间自相关范围的大小,它与观测尺度以及在取样尺度上影响土壤元素的各种生态过程相互作用,当样本距离大于变程时,样本之间就变的完全独立了。由研究区表层土壤中汞元素的空间自相关范围可知,变程为 267 600 m,由深层土壤中汞元素的空间自相关范围可知,变程为 10 800 m,均远大于在小面积地球化学异常区内进行高密度采样获得的土壤元素含量半方差函数的变程。因此,根据分析结果合理地确定了克里格空间插值所需要的各种参数,为更符合假设条件的预测值奠定了基础。

2.3 表层土壤汞水平分布规律

本研究以 GIS 探索性空间数据分析为基础,利用克里格插值对研究区重金属汞含量进行空间插值。克里格空间插值过程中各种参数的选取依据土壤监测点数据的探索性分析成果确定。数据显示,表层土壤中汞含量最大值为 2.552 mg/kg,最小值为 0.007 mg/kg。由图 1 中可见,地势较为低洼的河流和湖泊区域为汞元素含量较低区域,汞元素含量的变化存在由地势低洼地区向地势较高区域递变的趋势^[13]。整个研究地区内,汞含量的分布较为连续,大致可分为几个大的斑块,其分布趋势比较明显。中部地区的浅色区域为汞元素相对较低区域,两边深色区域为汞的高度集中区。造成这种分布的原因可能是北部南引水库、中部鸭木蛋格泡子、莲花湖等封闭水源造成汞含量较低,而两边高值斑块虽然靠近嫩江和松花江,但汞含量相对较高,可能与所在地是农业大县,土壤中汞污染严重^[14]。

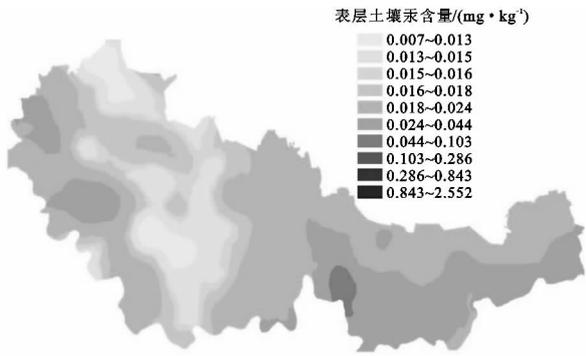


图1 表层土壤汞含量分布

2.4 深层土壤汞水平分布规律

深层土壤汞含量最大值为 0.027 mg/kg, 最小值为 0.004 mg/kg, 深层土壤汞含量普遍低于表层土壤汞含量, 变化幅度也相对较为明显。从图 2 可知, 深层土壤汞的水平分布趋势与表层不同, 主要受土壤母质的制约, 特别是肇源城周围, 汞含量相对较高。产生这种现象的原因可能是周围的山岗比较多, 如老黑山、望青山、二龙山、四方山、吉兴岗、木头岗、敏字岗、代龙岗和黑岗子都集中在肇源城周围^[15]。

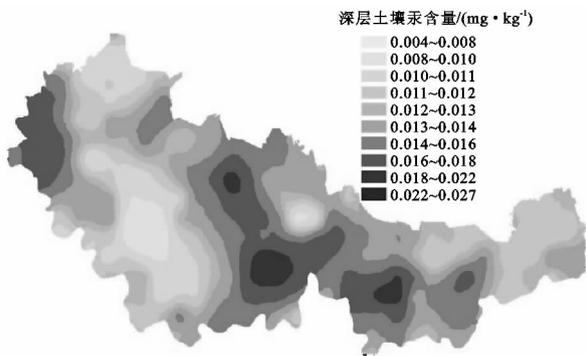


图2 深层土壤汞含量分布

3 结论

通过对研究区土壤表层和深层重金属汞含量数据的统计分析、形态特征分析和趋势分析, 最终得到汞元素表层和深层含量的空间结构特征: 汞元素含量在空间分布不仅存在连续性, 还具有明显的空间变异性和空间差异性, 其中人为因素(施肥、灌溉、工农业活动)对表层汞元素空间分布影响较大。表层土壤是以深层土壤为物质基础并在自然和人为影响下发展来的, 因此表层土壤汞与深层土壤汞分布特征有一定的相似性。但由于人类活动频繁致使汞含量增多,

分布也有所改变。深层土壤汞的主要来源为成土母质。

参考文献:

- [1] 覃东立, 姜秋俚, 付友生. 全球汞污染回顾与分析[J]. 环境保护科学, 2009, 35(4): 75-78.
- [2] 梁俊, 赵政阳, 樊明涛. 陕西渭北苹果园土壤中汞、镉污染与分布特征研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(3): 210-212.
- [3] 吴莉萍, 赵大为. 重庆市汞污染的观测研究[J]. 长江流域资源与环境, 2006, 15(3): 400-403.
- [4] 侯明, 钱建平, 张力, 等. 桂林市菜地土壤-蔬菜汞污染研究和评价[J]. 生态环境, 2004, 13(4): 575-577, 584.
- [5] Bollen A, Wenke A, Biester H. Mercury speciation analyses in HgCl₂ contaminated soils and groundwater implications for risk assessment and remediation strategies [J]. Water Research, 2008, 42(1): 91-100.
- [6] Coolbaugh M F, Gustin M S, Rytuba J J. Annual emissions of mercury to the atmosphere from natural sources in Nevada and California [J]. Environmental Geology, 2002, 42(1): 338-349.
- [7] 房世波, 潘剑君, 杨武年, 等. 南京市土壤重金属污染调查评价[J]. 城市环境与城市生态, 2003, 16(4): 4-6.
- [8] 史文娇, 魏丹, 汪景宽, 等. 双城市土壤重金属空间分异及影响因子分析[J]. 水土保持学报, 2007, 21(1): 59-64.
- [9] 吴新民, 潘根兴. 城市不同功能区土壤重金属分布初探[J]. 土壤学报, 2005, 42(3): 513-517.
- [10] 夏增禄. 中国主要类型土壤若干重金属临界含量和环境容量区域分异的影响[J]. 土壤学报, 1994, 31(2): 161-169.
- [11] 王政权. 地统计学及其在生态学中的应用[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- [12] 魏丹, 迟凤琴, 石文娇, 等. 黑龙江南部黑土区土壤重金属空间分异规律研究[J]. 农业系统科学与综合研究, 2007, 23(1): 65-68.
- [13] 辛蕊, 张思冲, 周晓聪, 等. 大庆城区土壤重金属污染及相关性分析[J]. 中国农学通报, 2008, 24(9): 416-420.
- [14] 魏秀国, 何江华, 陈俊坚, 等. 广州市蔬菜地土壤重金属污染状况调查及评价[J]. 土壤与环境, 2002, 11(3): 252-254.
- [15] 赵淑苹, 陈立新. 大庆地区不同土地利用类型土壤重金属分析及生态危害评价[J]. 水土保持学报, 2011, 25(5): 195-198.