·调查与评价 ·

金昌市城区土壤重金属空间分布及潜在生态危害评价

黄璜,南忠仁,胡小娜,刘晓文,李媛,丁海霞

(兰州大学西部环境教育部重点实验室资源环境学院,甘肃 兰州 730000)

摘 要:通过对金昌市区范围内 74处土壤的取样研究分析,结果表明: Cd, Cu, Ni, Pb, Zn5种重金属平均含量均超过当 地土壤背景值,其中以 Cu和 Ni最为显著,其平均含量分别达到 430 mg/kg和 361 mg/kg,5种重金属变异系数均较大,其中 Cu和 Ni变异系数达到了 115%和 123%,属强变异性;采用克立格最优内插法得到金昌市表层土壤重金属含量的空间分布 图 发现 Cu和 Ni呈局部污染态势,矿业开采和金属冶炼加工等工业活动是 Cu和 Ni最大的污染源 : Pb. Zn和 Cd在整个研 究区域内都有积累,工矿活动和交通运输是金昌市 Pb、Zn和 Cd的共同污染源。潜在生态危害评价结果表明,该地区重金 属污染已构成中度生态危害。

关键词:金昌市;重金属;克立格插值;潜在生态危害评价;土壤 中图分类号: X825 文章编号:1006-2009(2009)05-0030-05 文献标识码:B

Spatial D istributions of Heavy M etals and A ssessment of Potential Ecological Risk in Jinchang Urban Area

HUANG Huang, NAN Zhong-ren, HU Xiao-na, LIU Xiao-wen, LI Yuan, DING Ha-ixia (Key Laboratory of Western China's Environment, College of Resources and Environment, Lanzhou University, Lanzhou, Gansu 730000, China)

Abstract: The 74 soil samples were analyzed from Jinchang urban area The results showed that the average concentrations of Cd, Cu, Ni, Pb, Zn were more than the local background levels, especially Cu 430 mg/kg and Ni 361 mg/kg The variation of coefficients of the five elements were all in high levels, and Cu 115% and Ni 123%, to show strong variability. Sketch-maps of spatial distributions of the five heavy metals were obtained by Kriging interpolation to indicate that mining and smelting had caused local pollution of Cu and Ni The elements of Pb, Zn and Cd were obviously accumulated in the whole urban area The industrial activities and transportation had brought about; intermediate ecological risk of heavy metal pollution

Key words: Jinchang; Heavy metals; Kriging interpolation; Potential ecological risk assessment; Soils

城市是人类活动最密集的地区,其土壤环境质 量与人类健康息息相关。随着城市化进程及工业 的迅速发展,城市土壤重金属污染状况已日趋严 重¹¹.直接影响到城市生态环境质量和人体健康, 土壤中的重金属还可通过淋洗和径流等作用污染 地表水和地下水,对水环境造成潜在危害^[2]。矿 业活动往往造成严重的生态破坏和环境问题.同时 它也是土壤重金属污染物的重要来源之一[3]。近 年来由矿业活动导致的土壤重金属污染和随之而 来的环境及人体健康风险问题已引起国内外研究 者的广泛关注^[4]。但长期以来,关于土壤重金属

的研究主要集中于农业土壤及污染源周围的一些 污染程度较重的局部地区,而对城市土壤的区域性 空间研究工作较少。

地质统计学方法是一种最优的空间插值方法, 能定量描述区域变化量空间变异特征 .已被广泛地

收稿日期: 2009 - 02 - 23;修订日期: 2009 - 07 - 08

基金项目:国家自然科学基金资助项目(NSFC 40671167):国 家环境保护公益性基金资助项目 (NEPCP 200809098); "九七三" 基金资助项目 (2008 CB 417212)

作者简介:黄璜(1985—),男,湖北黄冈人,硕士研究生,研究 方向为重金属污染过程与生态修复。

应用到具有区域变化量特征的土壤学、环境科学和 生态学领域^[5-6]。而已有的研究工作主要限于对 土壤水分、盐分和养分等性质的估测^[7-8],对土壤 其他性质特别是土壤环境中污染物的空间分布与 含量预测研究较少^[9-10]。

甘肃省金昌市是我国重要的有色金属生产基 地,是以开发有色金属矿产资源发展起来的较为典 型的资源型城市^[11]。资源型城市自身的特点决定 了其发展过程中往往面临比其他城市更为严峻的 生态环境问题,矿业开采等活动不可避免地导致了 该地区土壤重金属污染。现以金昌市为研究对象, 运用地统计学方法,研究了该市市区范围内 5种重 金属元素空间分布特征,并利用 Hakanson提出的 潜在生态危害指数法评价了重金属的潜在生态危 害,以揭示该地区的土壤重金属空间结构特征及其 危害程度,为合理规划和利用城市土壤,改善和提 高城市环境质量,保障人民群众身体健康提供科学 依据。

1 研究方法

1.1 研究区概况

金昌市位于河西走廊东部,祁连山北麓,地处 东经 101 %4 —102 %3 和北纬 37 %7 —39 %0 之 间,是一座新兴的工业城市,因盛产镍而被誉为中 国的"镍都",是中国最大的镍钴铜生产基地,钴、 铜等矿产资源储量居全国第二位,镍储量居全国第 一位。金昌市始建于 1982年,辖金川区和永昌县, 其中金川区城区面积 34.9 km²,人口 18万。 研究 区 域 为 金 昌 市 金 川 区, 面 积 约 为 34.9 km²,采样点平均分布于各道路路口绿化带、 居民区、公园和周边的林地,研究区域集中了金川 区的主要城区以及当地的工矿企业和居民生活区, 部分样点距尾矿坝较近。

1.2 样品采集与处理

土壤样品采集采用系统 - 随机布点法,采用 GPS进行样点定位。全区共布设 74个样点。土壤 样品主要采集 0 cm ~ 20 cm 表层土,在 2 m ×2 m 的区域内的 4个顶点和中心分别取约 1 kg土壤, 混匀后用四分法取约 1 kg作为该点的混合样品, 使用塑料工具操作。

土样经室内风干,剔除石块和杂物,全部研磨过 2 mm 筛后,取其中的 100 g完全研磨并过 100目尼 龙筛,装袋备用。土壤样品采用美国国家环保局推 荐的 USEPA 3050B方法^[12]消解,消解过程中采用国 家标准土壤参比物质 GSS - 1进行质量控制;Cd含 量采用石墨炉 - 原子吸收光谱法测定,Cu,Ni,Pb, Zn含量采用火焰 - 原子吸收光谱法测定^[13]。

1.3 数据处理

常规数理统计采用 EXCEL 2003和 SPSS 11.5 完成,地统计分析采用 SURFER & 0软件处理,在 SURFER & 0中应用 Kriging插值法,建立研究区域 内重金属含量空间分布图。

- 2 结果与讨论
- 2 1重金属污染的总体特征
 金昌市土壤重金属含量的统计特征见表 1。

最小值	地背景值 ^[14]
Cu 42.6 282 3.35 x10 ³ 430 492 115	24. 1
Zn 56 2 98 0 575 116 72 7 62 5	69. 3
Ni 35. 1 217 2. 60 x 10 ³ 361 445 123	35. 2
Pb 2 35 25. 2 171 32. 2 22. 2 69. 1	18.8
Cd 0.08 0.24 2.00 0.30 0.25 84.5	0. 116

表 1 金昌市土壤重金属含量的统计特征

mg/kg

单位为%。

由表 1可见,5种重金属元素的中位数和算术 平均值均超过了该地区的土壤背景值,且最大值均 远远高于土壤背景值。其中以 Cu和 Ni最为显著。 由于不同地区土壤中元素特征与成土母质及成土 环境等因素关系密切,因此研究区土壤重金属含量 与土壤背景值比较所得的富集系数可反映研究区 域土壤重金属的污染状况^[15]。

研究区域重金属平均含量与甘肃省土壤背景值

— 31 —

比较得到的富集系数表明, Cu和 Ni富集系数分别 达到 17.8和 10.3,呈强烈富集; Zn, Pb和 Cd富集系 数分别为 1.6& 1.71和 2.59,表现为一定的弱富集。 由此可以看出,研究区域土壤受到 Cu和 Ni污染最 为严重,且具有明显的高度富集的特征。金昌市的 工业组成主要以金属矿藏的开采与提炼为主,而其 金属矿产主要是 Ni和 Cu,其储量分别为全国第一 和第二位。因此可以断定, Cu和 Ni的污染源主要 是该地区的矿业开采和金属提炼等工业活动。

从变异系数来看,各重金属含量的离散程度均 较大,其中 Cu和 Ni的变异系数达到了 115%和 123%,属强变异性。变异系数越大,说明人为活动 的干扰作用越强烈,或者理解为污染程度越严 重^[16]。金昌市土壤中 Cu和 Ni含量受人类活动影 响强烈,空间分异大,这基本可以归结为该地区的 采矿和冶炼工业的影响。

测定样点中,93.2%的样点4种以上重金属超过土壤背景值,74.3%的样点5种重金属均超过背景值。利用 SPSS11.5软件对5种重金属元素进行相关分析,其结果见表2。

表 2 金昌市重金属元素的相关分析 (n = 74)

元素	Cu	Zn	Ni	Pb	Cd
Cu	1				
Zn	0. 375	1			
Ni	0. 696	0. 427	1		
Pb	0. 637	0. 611	0. 538	1	
Cd	0. 103	0. 804	0. 212	0. 222	1

p < 0. 01显著水平。

由表 2可见, Cu, Zn, Ni和 Pb之间均具有极显 著的相关性,说明其 4种元素间为复合污染或具有 同源性。其中, Cu, Ni, Pb 3者间以及 Zn和 Cd之 间的相关系数较大。这说明,金昌市土壤重金属正 以复合污染的形式出现显著积累。这符合我国城 市土壤重金属污染的一般特征,即重金属的污染多 为伴生性或综合性的复合污染^[17]。

2.2 重金属元素的空间分布

根据样点各重金属元素的含量,采用克立格插 值法^[18-19],应用 SURFER& 0软件对 5种重金属含 量分布进行空间分析,其结果见图 1。



© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

由图 1可见,金昌市区土壤中 Cu和 Ni的分布 规律相似,呈局部污染态势,其含量高的区域主要 集中在城区的西南角的金川公司和东面的工业区, 并向周围呈扩散状态。该市的金属冶炼加工等工 业活动是 Cu和 Ni最大的污染源。这同时也证实 了二者的同源性。金昌市重金属矿藏主要为硫化 铜镍矿,Cu和 Ni具有很强的伴生性。Cu和 Ni的 另一个空间分布特征是,其含量由污染源向西北方 向扩散,且扩散尺度较大。矿藏的开采、金属冶炼 等重金属来源,主要扩散途径以大气扩散为主^[20], 风力和风向是重金属空间分布的主要控制因子,因 此使得重金属在空间分布上表现出明显的方向性 特征^[21]。

Pb和 Zn的分布规律比较类似,虽然其含量较 Cu和 Ni不高,但污染范围很广,在全市范围内都 有积累,含量高的样点主要集中在交通要道和人口 密集区域,如金川公司厂区、汽车站以及一些主交 通干道周围,而且金属冶炼企业和露天矿附近的 Pb和 Zn含量明显较其他区域高,但其含量均未达 到国家三级标准的临界值。说明金属开采和冶炼 工业造成了一定程度上 Pb和 Zn的污染,但污染程 度不严重。说明工矿活动和交通运输是金昌市 Pb 和 Zn的共同污染源。

根据文献 [22],工矿企业中化石燃料的燃烧 和汽车尾气的排放,是 Pb和 Zn的共同来源之一, 主要以大气沉降形式迁移到周边区域。相比较 Cu 和 Ni而言, Pb和 Zn的空间分布未表现出明显的 由污染源向周围扩散的特征,这可能主要有两方面 原因。一是由于 Pb和 Zn主要来源于城区交通运 输中尾气的排放,这种污染源贴近地面,受风力和 风向的影响较小,从而不会表现出明显的空间变异 性;二是交通运输是面污染源,因此在污染区域内, Pb和 Zn含量的空间分布较为均匀,其浓度变化不 大,只在工矿企业等点污染源附近表现出了一定程 度的迁移和扩散。

Cd的污染程度较轻,含量最高的样点分布在 金川公司培训中心的人工绿化林地,其值达到了异 常的 2 00 mg/kg,资料显示,该处有较长污水灌 溉历史,这可能是导致该样点 Cd含量异常高的原 因。其他人口密集和交通繁忙的区域以及工业区 中 Cd含量也较高。因此工业活动和交通运输很 可能是该地区 Cd的共同污染源。根据文献 [23], 城市街道灰尘中的 Cd主要来自于机动车内燃机 和汽化器。虽然全市范围内 Cd的平均值并未超 过国家三级标准临界值 (1 mg/kg),但可以看出, 该地区土壤中 Cd含量明显受到人类活动的强烈 干扰,并表现出明显的积累,且 Cd在环境中的生 态毒性较大。

2.3 潜在生态危害评价

应用潜在生态危害指数 (RI)评价方法^[24-26]。

为了反映特定区域的差异性,选择甘肃省土 壤环境背景值作为参比值。重金属污染生态危害 系数和生态危害指数分级标准见表 3。

表 3 重金属污染潜在生态危害指标与分级关系

潜在生态危害	单因子污染物	潜在生态危害	综合潜在生态
系数 E _i 范围	生态风险程度	指数 RI范围	风险程度
<40	轻度生态危害	<150	轻度生态危害
40 ~ 80	中度生态危害	150 ~ 300	中度生态危害
80 ~ 160	强度生态危害	300 ~ 600	强度生态危害
160 ~ 320	很强生态危害	600	很强生态危害
320	极度生态危害		

根据潜在生态危害指数 (*R1*)评价方法计算出 金昌市城区 74个土壤样品各重金属的潜在生态危 害单项系数 *E*_i及综合潜在生态危害指数 *R1*,结果 见表 4。

表 4 土壤中各重金属的潜在生态危害系数

元素	单因子潜在生态危害系数 E _i				
	Cu	Zn	Ni	Pb	Cd
平均值	89.1	1. 66	20. 5	8.55	74.8
范围	8 85~695	0 81 ~8 30	1. 99 ~148	0 63~45.7	21. 1~518
RI			195		

由表 4可见,研究区域的土壤受到不同程度的 重金属污染。5种重金属中,Cu构成强度生态危 害;Ni的平均含量虽然很高,但只构成轻度生态危 害,这主要是因为 Ni的毒性系数较小;相反,Cd的 平均含量虽然较低,但构成了中度生态危害,这是 因为 Cd的毒性系数为 5种重金属中最高的缘故, Cd在生态环境中对生态系统和人类健康构成的威 胁最大,因此应格外引起注意。

对样品的综合生态危害指数的统计结果显示, 研究区域 *R1*的平均值为 195,说明该地区重金属 污染已构成中度生态危害。其中,*R1* 600的样点 有 2个,300 *R1*<600的样点有 11个,150 *R1*< - 33 - 300的样点有 24个, *RI* < 150的样点有 37个。研 究发现,综合生态危害指数 (*RI*)较大的样点主要 分布在工矿企业和交通要道的附近,这进一步说明 工业活动和交通运输是导致金昌市土壤重金属污 染的主要原因。

3 结论

(1)金昌市表层土壤 5种重金属含量均超过 当地土壤背景值,其中 Cu和 Ni污染最严重。五种 重金属变异系数均较大,其中 Cu和 Ni变异系数达 到了 115%和 123 %,属强变异性,说明土壤中 Cu 和 Ni受外界干扰尤其显著,空间分异较大。

(2) 采用克立格最优内插法得到金昌市表层 土壤重金属含量的空间分布图,发现 Cu和 Ni呈局 部污染态势,城区内金属矿藏的开采和冶炼等工业 活动是其主要污染源; Pb、Zn和 Cd在全市范围内 都有积累,工矿活动和交通运输是其共同的污 染源。

(3) 潜在生态危害评价结果显示,该地区重金 属污染已构成中度生态危害。

[参考文献]

- [1] MANTAS D S, BELLANCA M A, NER IS R, et al Heavy metals in urban soils: A case study from the city of Palemo (Sicily), Italy[J]. The Science of the Total Environment, 2002 (300): 229 - 243.
- [2] 史贵涛,陈振楼,李海雯,等.城市土壤重金属污染研究现状
 与趋势[J].环境监测管理与技术,2006,18(6):9-12.
- [3] DA SLVA E F, ZHANG C S, PNTO L S, et al Hazard assessmention arsenic and lead in soils of Castrom il gold mining area, Portugal[J]. Applied Geochemistry, 2004, 19(6): 887 - 898
- [4] 谢华,廖晓勇,陈同斌,等.污染农田中植物的砷含量及其健康风险评估——以湖南郴州邓家塘为例[J].地理研究, 2005,24(1):151-159.
- [5] GOOVAERTS P. Geostatistics in soil science: state-of-the-art and perspectives[J]. Geodema, 1999(89):1 - 45.
- [6] 王政权. 地质统计学及在生态学中的应用 [M]. 北京:科学 出版社, 1999: 31 - 72
- [7] BOLLAND M D A, ALLEN D G Spatial variation of soil test phosphorus and potassium, oxalate-extractable iron and aluminum, phosphorusretention index, and organic carbon content in soils of western Australia [J]. Communi Soil Sci Plant Anal, 1998, 29 (3): 381 - 392
- [8] 刘杏梅,徐建民,章明奎,等.太湖流域土壤养分空间变异性 特征分析——以浙江省平湖市为例[J].浙江大学学报(农

业与生命科学版),2003,29(1):76-82

- [9] 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[J].环境科学学报,1997,17
 (4):412-416.
- [10] 张乃明,李保国,胡克林.太原污灌区土壤重金属及盐分的 空间变异特征[J].环境科学学报,2001,21 (3):348 - 353.
- [11] 张有贤,魏可染.金昌市大气环境中 SO2变化规律分析及对策研究 [J].干旱区资源与环境,2008,22(2):91-96.
- [12] USEPA. METHOD 3050B. Acid digestion of sediments, sludges and soils, 1996 [S].
- [13] 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.
- [14] 中国环境监测总站. 中国土壤元素背景值 [M]. 北京:中国 环境科学出版社, 1990.
- [15] MPERATO M, ADAMO P, NA MO D, et al Spatial distribution of heavy metals in urban soils of Nap les city (Italy) [J]. Environ Pollut, 2003, 124 (2): 247 - 256.
- [16] 李章平,陈玉成,杨学春,等.重庆主城区土壤重金属的潜在 生态危害评价[J].西南农业大学学报(自然科学版), 2006,28(2):227-230.
- [17] 马海旺,曹斌,杨进峰,等.城市重金属污染特征[J].中央民 族大学学报(自然科学版),2008,17(1):66-73.
- [18] CAMBARDELLA CA. Field scale variability of soil properties in central bwa soils[J]. SSSAJ, 1994(58): 1501 - 1511.
- [19] 李亮亮,依艳丽,王延松,等.葫芦岛市连山区、龙港区土壤
 重金属空间分布及污染评价[J].土壤通报,2006,37(3):
 495-499.
- [20] B LOS C, COLOMOBO J C, SKUROPKA C N, et al Sources, distribution and variability of airborne trace metals in La Plata City area, Argentina [J]. Environmental Pollution, 2001, 111 (1): 149 - 158.
- [21] 郑袁明,陈同斌,陈煌,等.北京市近郊区土壤镍的空间结构 及分布特征 [J].地理学报,2003,58(3):470-476.
- [22] DEM E LAMAS J F, CHACON E Origin and patterns of distribution of trace elements in street dust: unleaded petrol and urban lead [J]. A transpheric Environment, 1997, 31 (17): 2733 - 2740.
- [23] DWR IKLIU, SOYLAKM, ELCIL, et al The investigation of trace metal concentrations in the street dust samples collected from Kayseri, Turkey [J]. Journal of Trace and Microprobe Techniques, 2003, 21 (5): 713 - 720.
- [24] DAV IS D J A, THORNTON I, WATT J, et al Lead intake and blood lead in two-year-old UK urban children [J]. Sci Total Environ, 1990 (90): 13 - 29.
- [25] LARS H. An ecological risk index for aquatic pollution control a sedimentological approach [J]. Water Research, 1980 (14): 975
 - 1001.
- [26] 刘晶,滕彦国,崔艳芳,等.土壤重金属污染生态风险评价方法综述[J].环境监测管理与技术,2007,19(3):6-11.