

灌溉水质对污灌区土壤重金属含量的影响分析

段飞舟^{1,2}, 高吉喜², 何江¹, 张清新³, 吴月红³

(1.内蒙古大学生命科学院资源与环境科学系, 内蒙古 呼和浩特 010021; 2.中国环境科学研究院生态所, 北京 100012;
3.辽宁省环境监测中心站, 辽宁 沈阳 110031)

摘要:利用统计学方法和空间分析,对鞍山宋三灌区稻田土壤重金属含量进行了分析研究。结果表明,利用工业废水进行灌溉的稻田,土壤环境质量明显低于利用河水和城市生活污水进行灌溉的区域,土壤重金属 Cd 和 Hg 分别超标 1.8 倍和 2.2 倍。空间分析结果显示,污灌区土壤重金属含量的空间差异明显,6 种重金属污染物空间分布的峰值均出现在工业废水进行灌溉的区域。由此所得结论是:工业废水中的污染物质对农田土壤环境影响明显,应避免直接用于农田灌溉;在农田土壤环境保护工作中,在对重点污染物进行分析的同时,应加强对重点区域的监测。

关键词:灌溉水质; 污灌区; 土壤; 重金属

中图分类号:X131.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-2043(2005)03-0450-06

Impact of Irrigation Water Quality on Heavy Metals' Concentrations in Surface Soil of Paddy Field

DUAN Fei-zhou^{1,2}, GAO Ji-xi², HE Jiang¹, ZHANG Qing-xin³, WU Yue-hong³

(1. Department of Resource and Environment Science, Inner Mongolia University, Hohhot 010021, China; 2. Institute of Ecology, Chinese Research Academy of Environment Science, Beijing 100012, China; 3. Liaoning Provincial Environmental Monitor Center, Shenyang 110031, China)

Abstract: The spatial distribution characters of different heavy metals in irrigated field soil and the relationship between the irrigating water and agricultural soil environment were illustrated through statistical and spatial analysis. Plough layer soil in paddy field and irrigating water were sampled from Songsan irrigation region, Anshan city, where the paddy field irrigated with industry wastewater and urban sewage more than fifty years. Statistic data showed that soil environment quality of paddy field irrigated with industry wastewater was notably worse than that irrigated with river water and urban sewage, and the concentrations of Cd and Hg in paddy soil irrigated with industry wastewater were 1.8 and 2.2 times of environmental quality standards respectively (GB15618—1995). Space analysis indicated that heavy metals' concentrations distinctly varied with different regions in the irrigated area, and the peak values of all six heavy metals' contours appeared in the middle area irrigated with industry wastewater. Therefore, the impact of irrigate water on paddy field soil were identified. Contaminations in industry wastewater would pollute the soil environment significantly and should avoid being used in agriculture irrigation directly. As well as the important pollutants, key area of irrigation region should be monitored especially for the spatial difference of heavy metals in paddy soil.

Keywords: irrigation water quality; irrigating region; soil; heavy metals

污灌是指利用未经处理或处理不达标的工业废水或城市生活污水以及利用受到污染的河水进行农业灌溉的活动。在我国,局部、小规模利用城市工业和

生活污水进行农田灌溉已经有近百年的历史,大规模的污灌始于 20 世纪 50 年代^[1]。新中国成立以后,人口的增加以及农业生产规模的不断扩大,使农业生产对水资源的需求不断增加,天然地表水资源难以满足农田灌溉的需求。工业及城市生活污水由于含有较高含量的 N、P 等营养物质,长期使用可以有效增加土壤有机质和养分含量,促进农作物生长^[2-4],同时缓解了灌溉水资源不足的问题,在我国尤其是北方缺水地区

收稿日期:2005-03-07

基金项目:本研究得到国家环保总局“中意合作典型区生态环境调查项目”的支持

作者简介:段飞舟(1972—),男,博士研究生,主要从事污染生态学研究。E-mail:duanfeizhou@163.com

曾经被广泛采用。但污水灌溉在解决了城市污水排放和农业生产用水来源的同时,也造成了污灌区土壤重金属超标等问题^[5-8]。由于土壤污染导致的农作物重金属含量超标以及灌区居民人体健康危害已经成为影响农村生态环境安全和制约农业可持续发展的重要因素。

污染土壤修复及其生态安全已经成为我国目前面临和需要解决的主要环境问题之一^[9]。对污灌区土壤重金属含量的调查和评价是进行土壤修复和生态安全研究的基础,充分了解污灌区土壤重金属现状、动态以及识别土壤污染主要成分,可以使污染土壤的治理和修复工作更加具有针对性。

1 样品采集与分析

1.1 研究区概况

宋三灌区位于鞍山市千山区西北端,距市区约 7 km,灌区东靠鞍钢和鞍山市铁西区,北靠南沙河,西邻沈大高速公路,南与千山区大阳气镇相连。运粮河、南沙河从境内流过,地表水资源较为丰富。

20 世纪 30、40 年代当地开始引冶金废水种植水稻,但面积很小。20 世纪 50 年代开始引鞍山西大沟和城市中部生活污水进行灌溉,形成南北两个灌区,20 世纪 60 年代开始引用南沙河污水进行农田灌溉,宋三灌区也由此形成。污灌面积最大时达到 2 700 hm²,现在由于工业用地等原因种植面积降到 2 300 hm²。灌区主要使用除草剂,有机肥使用较少。

灌区按照灌溉用水来源不同可分为 3 个区域,北部使用南沙河水进行灌溉,中部地区的灌渠引用鞍钢工业废水,南部地区的灌溉用水引用了鞍山城市生活污水,研究概况见图 1。

1.2 采样及分析

按照稻田灌溉水源的不同分别从灌区的北部、中部、南部选取 3 块采样区,南北样区相距 4 197 m,各样区沿灌渠流向采用样线法取样,每区域选取采样点 5 个,样点间隔最近为 97 m,最远为 378 m 左右。每个采样点按梅花法设置 5 个 20 m×20 m 的分点,取 0~20 cm 耕层土壤,按四分法混合成每个样品。共取样 75 个,得到混合样品 15 个,送实验室进行分析。土壤样品室内风干后过 100 目筛,分析测试方法见表 1。

1.3 数据处理

土壤重金属含量统计学特征使用 SPSS 统计软件进行分析,重金属含量空间分布图用 AcrView 地理信息系统分析。

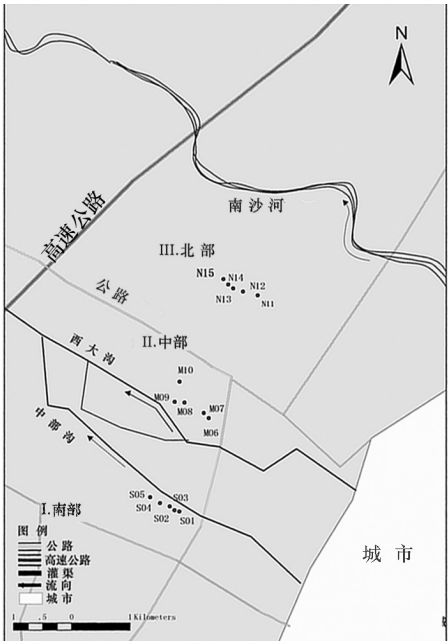


图 1 研究区及采样点分布
Figure 1 Sampling sites and study area

表 1 土壤监测项目及分析方法

Table 1 Analysis methods and index for soil heavy metals

分析项目	分析方法	方法来源
总 Pb	石墨炉原子吸收分光光度法	GB/T17140—1997
总 Cd	石墨炉原子吸收分光光度法	GB/T17141—1997
总 As	原子荧光分光光度法	GB/T17134—1997
总 Cu	火焰原子吸收分光光度法	GB/T17138—1997
总 Cr	火焰原子吸收分光光度法	GB/T17137—1997

2 结果与讨论

2.1 灌溉水中重金属污染物浓度

灌溉水质监测如表 2 所示,该灌区灌溉水均显碱性,但仍处于农田灌溉水质标准范围以内。灌区南部和北部灌溉用水的重金属含量均符合灌溉水水质标准。灌区中部西大沟水体中的 Pb、Cd 含量明显超标,分别是灌溉水水质标准的 40.9 倍和 2.8 倍。

2.2 土壤表层重金属污染物含量

从整个灌区的范围分析,由全部 15 个土壤样品测得的表层土壤重金属平均值大多低于土壤环境质量标准,只有重金属 Cd 的含量略微高于土壤环境质量标准,达到 0.35 mg·kg⁻¹,见表 3。土壤 pH 值、As、Cr、Cu 含量变异系数分别为 0.08、0.26、0.19、0.33,说明从全灌区的尺度来看,这些指标较少受到外来因素的影响。重金属 Cr、Hg 和 Pb 含量的变异系数达到 0.51、0.45 和 0.43,说明这 3 种物质受到的外源污染物影响较大。

表 2 灌区灌溉水水质
Table 2 Irrigating water quality of the area

监测项目	南沙河	鞍钢西大沟	中部沟	农田水质标准
pH	7.67	7.87	7.29	≤5.5~8.5
六价 Cr/mg · L ⁻¹	<0.004	<0.004	<0.004	0.1
总 Hg/mg · L ⁻¹	0.000 05	0.000 39	0.000 05	0.001
总 Pb/mg · L ⁻¹	<0.1	4.09	<0.1	0.1
总 Cd/mg · L ⁻¹	<0.005	0.014	<0.005	0.005
总 As/mg · L ⁻¹	<0.007	0.026	<0.007	0.05
总 Cu/mg · L ⁻¹	0.026	0.074	0.031	1.0

土壤表层重金属含量在研究区的不同区域分别表现出不同的统计学特征,见表 4~6。灌区北部利用南沙河河水灌溉的区域和南部利用城市生活污水灌溉的区域,土壤表层重金属污染物含量大多低于土壤环境质量标准。北部区域土壤中 Cd 平均含量达到 0.35 mg·kg⁻¹,是土壤环境质量标准(Ⅱ)的 1.13 倍。各种污染物的变异系数也较低,说明这 2 个区域稻田土

壤受到外源污染物的影响较小。

利用西大沟工业废水进行灌溉的中部区域,稻田土壤重金属超标现象比较明显。其中重金属 Cd 和 Hg 含量分别为 0.54 mg·kg⁻¹ 和 0.65 mg·kg⁻¹,是相应条件下土壤环境质量标准的 1.8 倍和 2.2 倍。土壤重金属污染物含量高,而变异系数较低,其中超标严重的 Cd 和 Hg 的变异系数分别为 0.23 和 0.06,说明该区域整

表 3 全研究区土壤耕层重金属统计特征
Table 3 Statistic characters of heavy metals in the plough layer soil of total area

项目	<i>n</i>	全距	最小值	最大值	均值	标准差	变异系数	土壤环境标准(Ⅱ)
pH	15	1.88	6.07	7.95	7.09	0.54	0.08	6.5~7.5
As	15	7.22	4.08	11.30	8.38	2.24	0.26	25
Cr	15	32.90	33.50	66.40	47.49	9.45	0.19	250
Cu	15	30.70	17.70	48.40	30.54	10.38	0.33	50
Pb	15	59.90	20.60	80.50	39.63	17.12	0.43	250
Cd	15	0.58	0.11	0.68	0.35	0.18	0.51	0.30
Hg	15	0.52	0.21	0.73	0.42	0.19	0.45	0.50

表 4 灌区北部土壤重金属统计特征
Table 4 Statistic characters of heavy metals in the soil of northern area

项目	<i>n</i>	全距	最小值	最大值	均值	标准差	变异系数
pH	5	0.99	6.96	7.95	7.63	0.41	0.16
As	5	1.14	7.96	9.10	8.46	0.44	0.20
Cr	5	14.00	33.50	47.50	41.26	6.63	0.16
Cu	5	5.60	27.00	32.60	28.96	2.18	0.07
Pb	5	9.60	31.60	41.20	36.62	4.29	0.08
Cd	5	0.30	0.22	0.51	0.34	0.11	0.34
Hg	5	0.02	0.21	0.22	0.22	7.12E-03	0.03

表 5 灌区中部土壤重金属数据
Table 5 Statistic characters of heavy metals in the soil of middle area

项目	<i>n</i>	全距	最小值	最大值	均值	标准差	变异系数
pH	5	1.19	6.07	7.26	6.76	0.47	0.22
As	5	2.09	9.21	11.30	10.54	0.83	0.08
Cr	5	22.50	43.90	66.40	54.46	10.09	0.19
Cu	5	9.80	38.60	48.40	43.14	3.87	0.01
Pb	5	39.50	41.00	80.50	58.58	14.78	0.25
Cd	5	0.28	0.41	0.68	0.54	0.12	0.23
Hg	5	0.10	0.62	0.73	0.65	4.43E-02	0.06

表 6 灌区南部土壤重金属数据

Table 6 Statistic characters of heavy metals in the soil of southern area

项目	<i>n</i>	全距	最小值	最大值	均值	标准差	变异系数
pH	5	0.77	6.66	7.43	6.95	0.30	0.04
As	5	5.43	4.08	9.51	6.12	2.12	0.34
Cr	5	17.80	35.30	53.10	46.74	7.53	0.16
Cu	5	4.60	17.70	22.30	19.52	1.98	0.10
Pb	5	8.70	20.60	29.30	23.68	3.38	0.14
Cd	5	0.12	0.11	0.22	0.16	5.37E-02	0.34
Hg	5	0.05	0.37	0.43	0.3976	2.07E-02	0.05

体都受到这 2 种污染物质的影响,稻田土壤污染比较严重。

灌区南部利用城市生活污水进行灌溉的区域,土壤重金属含量较低。6 种土壤重金属污染物的最大含量均低于土壤环境质量标准。各重金属含量的变异系数均很低,最大为 Cd 和 As,说明这一区域受到外来污染物的影响很小。

元素含量变异系数反映样本间平均变异程度^[10],对于长期耕作的平原农业土壤,在没有明显外源的情况下,其微量元素含量的小尺度分布应当是均一的,元素含量的应当有较小的变异系数。而在污灌条件下,由于微量元素的富积作用导致局部微量元素含量增高,增大了含量分布的空间差异^[11]。本灌区各重金属元素总体上较大的变异系数和局部地区较小的变异系数反映了外源污染物对土壤中重金属含量的影响。

结合不同灌溉水质和相应区域土壤表层重金属含量数据可以看出,灌溉水质对稻田土壤重金属含量的影响是明显的。利用工业废水进行灌溉的稻田土壤表层重金属含量超标明显,城市生活污水和河水对土壤环境的影响较小。因此应该加强对重金属超标地区的土壤环境监测并开展相应的治理活动。

2.3 土壤重金属空间分布特征

空间分析技术可以定量地反映土壤属性的空间分布特征,结合空间插值对未测地区的属性特征进行预测分析。由于其在对空间数据处理上的优越性而被广泛应用到土壤重金属研究和风险评价工作中^[12-14]。

为了更直观地反映灌区不同区域土壤重金属含量的空间差异性,用 ArcView 软件包对不同点位土壤重金属信息进行处理,得到各元素空间分布情况,见图 2。

土壤对灌溉水中重金属污染物的吸附是造成土壤重金属含量空间差异的主要原因。由于土壤粘粒和有机质对微量元素具有较强的吸附和阻持作用,会导

致局部微量元素含量增高,增大土壤重金属空间分布的差异^[15,16]。

对整个研究区土壤中重金属数据进行空间分布处理后的等值线图可以看出,研究区不同部位重金属含量差异明显。由于灌溉水质中污染物质的含量对土壤重金属含量的空间差异非常明显,6 种土壤重金属均在灌区中部形成明显的峰值,总体上表现为南北低、中间高的分布特点。

6 种重金属元素均表现出同样的分布规律,灌溉水中污染物对土壤重金属含量水平的影响是明显的。这种影响具有明显的空间性,也就是说土壤重金属含量水平同灌溉用水的水质有直接的相关性,灌溉水水质对土壤的影响仅仅局限于所灌溉的农田。因此建议今后进一步加强对重点区域的土壤环境质量监测。

3 结论

对宋三灌区土壤表层重金属含量的调查结果显示,该灌区总体土壤环境质量较好,6 种主要土壤重金属污染物平均含量大多符合土壤环境质量标准,重金属 Cd 略微超标,平均含量为 0.35mg·kg⁻¹。灌区北部利用南沙河水灌溉的区域,Cd 平均含量达到 0.35mg·kg⁻¹,是土壤环境质量标准(Ⅱ)的 1.13 倍,灌区中部土壤重金属 Cd 和 Hg 均超标,分别是土壤环境质量标准(Ⅱ)的 1.8 倍和 2.2 倍。灌区南部利用城市生活污水灌溉的区域,稻田土壤未出现污染物超标现象。

统计学和空间分布特征分析表明,由于灌溉水质的影响,灌区不同区域的土壤重金属含量具有较大差异。利用工业废水进行灌溉的区域,超标土壤污染物指标的数量和超标水平均明显高于利用城市生活污水和河水进行灌溉的区域,在土壤污染物等值线图上形成明显的峰值区域。

土壤环境质量关系到农作物质量和粮食安全,也关系到当地居民的人体健康。工业废水对土壤环境质

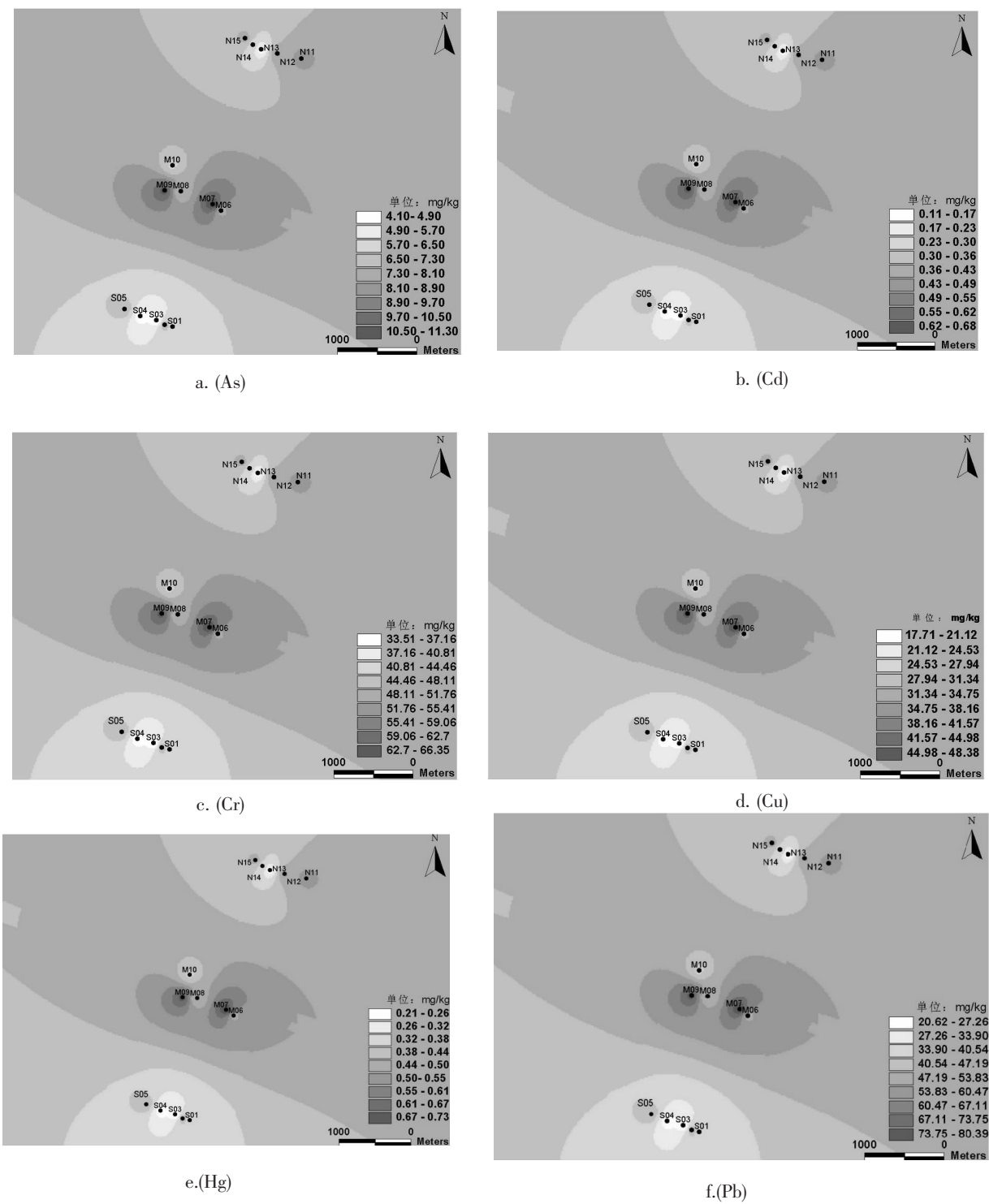


图 2 土壤重金属空间分布

Figure 2 Spatial distribution of soil heavy metals in studied area

量的影响较大,应避免直接用于农田灌溉。由于污灌区土壤污染物含量具有较大空间上的差异性,对污灌区土壤环境质量的调查和监测应在注重对重点污染物进行分析的同时,加强对重点区域的监测。

参考文献:

[1] 陈怀满.土壤中化学物质的行为与环境质量[M].北京:科学出版社, 2002.

[2] 陈竹君,周建斌.污水灌溉在以色列农业中的应用[J].农业环境保

护, 2001, 20 (6): 462–464.

[3] 刘 丽. 小凌河污水灌溉对水稻作物影响的分析[J]. 辽宁城乡环境科技, 1999, 19(1): 43–46.

[4] Yadav R K, Goval B, Sharm R K, et al. Post-irrigation impact of domestic sewage effluent on composition of soils, crops and ground water—A case study[J]. *Environment International*, 2002, (28): 481–486.

[5] Fjällborg B, Dave G. Toxicity of copper in sewage sludge[J]. *Environment International*, 2003, (28): 761–769.

[6] 王庆仁, 刘秀梅, 等. 我国几个工矿与污灌区土壤重金属污染状况及原因探讨[J]. 环境科学学报, 2002, 22(3): 354–358.

[7] 徐 震, 田丽梅, 等. 天津市污灌区农田环境质量现状分析[J]. 天津农林科技, 1999, 12(6): 26–28.

[8] 谢建治, 刘树庆, 等. 保定市郊土壤重金属污染对蔬菜营养品质的影响[J]. 农业环境保护, 2002, 21(4): 325–327.

[9] 陈怀满, 郑春荣, 周东美, 等. 关于我国土壤环境保护中一些值得关注的问题[J]. 农业环境科学学报, 2004, 23(6): 1244–1245.

[10] 吴聿铭. 环境统计学[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1991.

[11] 王学军, 邓宝山, 等. 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): 413–416.

[12] McGrath D, Zhang Chaosheng, Carton O T. Geostatistical analyses and hazard assessment on soil lead in Silvermines area, Ireland[J]. *Environmental Pollution*, 2004, 127: 239–248.

[13] Lakhan V C, Cabana K, LaValle P D. Heavy metal concentrations in surficial sediments from accreting and eroding areas along the coast of Guyana[J]. *Environmental Geology*, 2002, 42: 73–80.

[14] Marjia Romic, Davor Romic. Heavy metals distribution on agriculture topsoils in urban area[J]. *Environmental Geology*, 2003, 43: 795–805.

[15] 张乃明, 陈建军, 等. 污灌区土壤重金属累积影响因素研究[J]. 土壤, 2002, 34(2): 90–93.

[16] 秦明周, 成金环, 等. 化学工业污水灌溉对土壤中砷分布的影响——以开封市化肥河为例[J]. 土壤学报, 2002, 39(3): 436–440.