

城市表层土壤重金属污染程度分析

顾以秋, 沈洁洁, 姚文旭

(宿迁学院 教师教育系, 江苏 宿迁 223800)

【摘要】首先利用MATLAB软件绘制出某城市城区8种重金属浓度的等高线图, 得出各种重金属元素在该城区的空间分布, 初步得出5个区各重金属污染的程度。然后, 进一步利用尼梅罗综合污染指数法对各类区的污染程度进行量化, 得出各类区各种重金属的污染等级。利用污染综合评价表, 分析该城市表层土壤的重金属污染主要原因。

【关键词】土壤; 重金属; 污染; 尼梅罗污染指数

【中图分类号】X833 **【文献标识码】**A **【文章编号】**1673-1891(2013)01-0024-05

当前, 随着我国城市化水平的不断提高, 人类活动对城市环境的影响日显突出, 城市污染问题越来越受到人们关注。城市土壤污染是城市污染的重要组成部分, 对城市土壤地质环境异常的查证, 以及如何应用查证获得的海量数据资料开展城市环境质量评价, 研究人类活动影响下城市地质环境的演变模式, 显得尤为重要。

土壤地质环境的异常主要是重金属的污染, 因此土壤重金属研究不仅能反映土壤的污染程度, 而且能反映区域生态环境质量。为此, 首先对某城市城区土壤地质环境进行调查, 按功能将城区分为生活区、工业区、山区、主干道路区及公园绿地区等, 分别记为1类区、2类区、……、5类区, 不同的区域环境受人类活动影响的程度不同。然后采集了以下数据信息: 采样点的位置、海拔高度及其所属功能区, 8种主要重金属元素在采样点的浓度等信息。本文通过分析上述数据, 得出主要重金属元素在该城区的空间分布与污染程度, 分析了重金属污染的主要原因。

1 土壤重金属空间分布与污染程度

为了得到功能区与海拔这两者与重金属的关系, 利用MATLAB软件绘出该区8种重金属浓度的等高线图(以Cu、Hg、Ni、Pb为例), 同时注出了各类区的采样点的空间分布。其中星号表示1类区, 圆圈表示2类区, 方框表示3类区, 点表示4类区, 三角形表示5类区。

从图中可以看出5个区的各重金属污染的程度。重金属铜在工业区的特定的点污染相当严重, 生活区、主干道区也有一定的污染, 但区域不是很多; 重金属汞在主干道区、生活区污染比较严重, 在公园绿地区和工业区也有所分布但不是很多, 其他地区基本没有; 重金属镍在各区均有分布, 但是污染程度不是很高; 重金属铅在生活区、主干道区、工

业区分布较多, 铅在该城区污染面积不是很大。

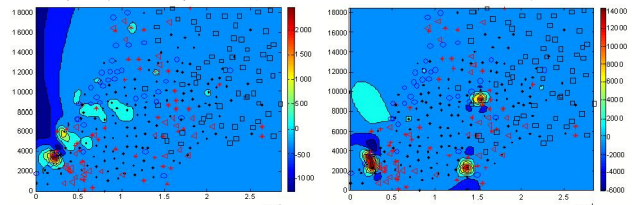


图1 Cu在该城区的浓度分布图

图2 Hg在该城区的浓度分布图

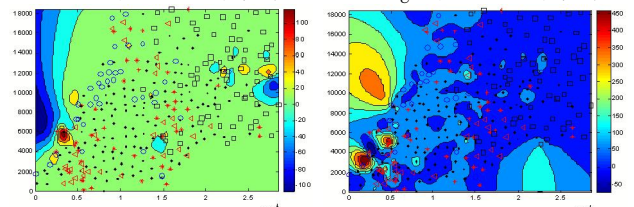


图3 Ni在该城区的浓度分布图

图4 Pb在该城区的浓度分布图

其它金属在各类区的污染情况同样可分析得: 重金属砷主要分布在主干道, 其次是生活区, 污染严重的地区都在主干道; 镉的污染主要是在主干道区和工业区, 其他区污染不严重; 重金属铬在生活区、主干道路区分布较多, 其他地区基本没有; 重金属锌在生活区、工业区和主干道区分布较多, 在该城区污染面积相当大。

2 土壤重金属污染程度的定量分析

通过绘制图形得到的直观分析判断, 存在一定程度的误差。为了更准确的分析该城区内不同区域重金属的污染程度, 采用单因子指数评价法和尼梅罗综合污染指数法评价土壤重金属各要素的污染程度, 对各类区的污染程度进行了量化, 给出了各类区的污染程度等级。

土壤中重金属污染物的单项污染指数 P_i 计算公式为:

$$P_i = C_i / S_i$$

其中, C_i 为第 i 个监测点上土壤重金属含量的实测值, S_i 为第 i 个监测点上土壤重金属含量的评价标准取值, 即为背景值。

收稿日期: 2013-01-09

作者简介: 顾以秋(1991-), 女, 江苏徐州人, 宿迁学院2011级数学与应用数学专业本科学生。

表 1 1 类区各重金属污染情况表

重金属	As	Cd	Cr	Cn	Hg	Ni	Pb	Zn
样本量	44	44	44	44	44	44	44	44
清洁(个)	1	2	1	4	8	0	0	2
清洁(%)	2.27	4.5	2.3	9.1	18.2	0	0	4.5
尚清洁(个)	4	3	3	3	6	7	6	3
尚清洁(%)	9.1	6.8	6.8	6.8	13.6	15.9	13.6	6.8
轻度污(个)	25	20	31	17	11	32	24	20
轻度污染(%)	56.8	45.5	70.5	38.5	25	72.7	54.5	45
中度污(个)	12	6	5	13	8	6	8	5
中度污染(%)	27.3	13.6	11.4	29.5	18.2	13.6	18.6	11.4
重污染(个)	2	13	4	7	11	0	6	13
重污染(%)	4.5	29.6	9.1	15.9	25	0	13.6	29.5

由表 1 统计的结果得知,1 类区除了 Ni 外都有部分地区重度污染,但大部分地区轻度污染,然而 Cd 和 Zn 的重度污染将近达到了 30%,中度污染程

度中 As 和 Cn 最严重,Cr 的污染程度相对较低。处于污染临界区的 Hg, Ni 和 Pb 范围较大些,因此 1 类区这些重金属的含量的增加需引起高度重视。

表 2 2 类区各重金属污染情况表

重金属	As	Cd	Cr	Cn	Hg	Ni	Pb	Zn
样本量	36	36	36	36	36	36	36	36
清洁(个)	2	0	1	0	4	1	0	0
清洁(%)	5.56	0	2.8	0	11.5	2.8	0	0
尚清洁(个)	3	1	6	1	1	5	0	1
尚清洁(%)	8.3	2.8	16.7	2.8	2.8	13.9	0	2.8
轻度污染(个)	16	13	21	9	9	21	16	13
轻度污染(%)	44.4	36.1	58.3	25	25	58.3	44.4	36.1
中度污染(个)	12	8	6	11	4	8	10	8
中度污染(%)	33.3	22.2	16.7	30.6	11.1	22.2	27.8	22.2
重污染(个)	3	14	2	14	18	1	10	14
重污染(%)	8.3	39.9	5.5	3.9	50	2.8	27.8	38.9

由表 2 统计的结果得知,Pb、Zn 重度污染分别为 27.8%、38.9%,污染严重,Hg 的重度污染达到 50%,说明 Hg 在该区污染最为严重。As、Cr、Cn 和 Ni 的重度污染面积相对较小一些。处于污染临界

区的 Cr 和 Ni 的范围较大一些,因此 2 类区这些重金属的含量的增加需引起高度重视。该区总体的污染比较严重,需引起人们的极大关注,否则污染程度会进一步加大。

表 3 3 类区各重金属污染情况表

重金属	As	Cd	Cr	Cn	Hg	Ni	Pb	Zn
样本量	66	66	66	66	66	66	66	66
清洁(个)	8	9	12	13	16	14	3	9
清洁(%)	12.1	13.6	18.2	19.7	24.2	21.2	4.5	13.6
尚清洁(个)	28	27	21	20	16	19	31	27
尚清洁(%)	42.4	40.9	31.8	30.3	24.2	28.8	47	40.9
轻度污染(个)	24	28	24	26	29	25	29	28
轻度污染(%)	36.4	42.4	36.4	39.4	43.9	37.9	43.9	42.4
中度污染(个)	5	1	8	5	4	6	0	1
中度污染(%)	7.5	1.5	12.1	7.6	6.1	9.1	0	1.5
重污染(个)	1	0	1	2	1	2	2	1
重污染(%)	1.5	0	1.5	3	1.5	3	3	1.5

由表 3 统计的结果得知,该区各重金属的污染程度较低,但除了 Cd 外都有个别地方达到重度污

染。大部分地区属于尚清洁区,各重金属的污染临界区的范围都较大。

表 4 4 类区各重金属污染情况表

重金属	As	Cd	Cr	Cn	Hg	Ni	Pb	Zn
样本量	138	138	138	138	138	138	138	138
清洁(个)	4	5	4	4	20	5	0	5
清洁(%)	2.9	3.6	2.9	2.9	14.5	3.6	0	3.6
尚清洁(个)	19	11	12	12	25	19	17	11
尚清洁(%)	13.8	8	8.4	2.7	18.1	13.8	12.3	8
轻度污染(个)	93	42	99	41	35	104	59	42
轻度污染(%)	69.9	30.4	11.7	29.7	25.4	75.4	42.8	30.4
中度污染(个)	19	36	14	37	14	8	36	36
中度污染(%)	13.8	20.1	10.1	26.8	10.1	5.8	26.1	26.1
重污染(个)	3	44	9	44	44	2	26	44
重污染(%)	2.2	31.9	6.5	31.9	31.9	1.4	18.8	30.9

由表 4 统计的结果得知,各重金属的污染程度都比较高,Cd、Cn、Hg、Zn 重度污染都达到了 30%,As、Cr 和 Ni 的重度污染面积相对较小。

As、Ni 大部分处于污染临界区。因此 4 类区这些个别重金属的含量高的地方需要引起高度重视。

表 5 5 类区各重金属污染情况表

重金属	As	Cd	Cr	Cn	Hg	Ni	Pb	Zn
样本量	35	35	35	35	35	35	35	35
清洁(个)	0	2	2	0	5	1	0	2
清洁(%)	0	5.7	5.7	0	14.3	2.9	0	5.7
尚清洁(个)	4	8	0	6	7	8	2	8
尚清洁(%)	11.2	22.9	0	17.1	20	22.9	5.7	22.8
轻度污染(个)	22	17	30	18	9	13	24	17
轻度污染(%)	62.8	48.6	85.7	50.4	25.7	37.1	68.6	48.6
中度污染(个)	8	4	2	4	4	3	3	4
中度污染(%)	22.9	11.4	5.7	11.4	11.4	8.6	8.6	11.4
重污染(个)	1	4	1	7	10	0	6	4
重污染(%)	2.9	11.4	2.9	20	28.6	0	17.1	11.4

由表 5 统计的结果得知,该区大部分地域处于轻度污染区,除 Ni 外均有地域达到重度污染。除了 Cr 外重金属均有处于污染临界区的,因此 5 类区这些重金属的含量的增加需引起高度重视。该区总体的污染比较严重,需引起人们的极大关注,否则污染程度会进一步加大。

在文献[3]中,把土壤重金属污染的尼梅罗综合指数与对应的污染等级划分为五个等级,见表 6。本文中也采用此划分方法。

综合污染指数(尼梅罗污染指数)的计算公式为:

$$P = \sqrt{(P_{平均}^2 + P_{最大}^2) / 2}$$

其中, $P_{平均}$ 为土壤重金属所有单项污染指数的平均值, $P_{最大}$ 为重金属单项污染指数中的最大值。

对照表 6、表 7 得,只有 5 类区的 Ni 属于轻度污染,1 类区的 As、Ni,2 类区的 Ni,3 类区的 As、Cd、Pb、Zn,5 类区的 As 属于中度污染,其他类区的其他重金属属于重度污染,从中可以看出该城区的土壤状况严峻,污染相当严重。

表 6 土壤重金属污染等级划分标准

等级	尼梅罗污染指数	污染等级
I	$P_i \leq 0.7$	清洁(安全)
II	$0.7 < P_i \leq 1.0$	尚清洁(警戒线)
III	$1.0 < P_i \leq 2.0$	轻度污染
IV	$2.0 < P_i \leq 3.0$	中度污染
V	$P_i > 3.0$	重污染

表7 污染综合评价表

重金属	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
1类区	2.5642	5.8962	17.054	13.591	11.27	2.1604	10.892	29.751
2类区	4.5256	6.3175	6.627	135.62	273.05	2.6541	10.142	16.905
3类区	2.3002	2.3668	4.0525	3.814	4.2589	4.3476	2.7273	2.4719
4类区	6.0234	9.0225	21.046	73.189	323.37	8.2545	4.3859	38.621
5类区	2.6032	5.7798	2.4112	7.8454	27.157	1.8898	5.3686	14.326

表8 各区污染程度综合评价表

居民区	工业区	山区	公园绿地区	主干道路区
轻度污染	重度污染	轻度污染	轻度污染	中度污染

表9 各区污染情况

区域	生活区	工业区	山区	主干道区	公园绿地区
重金属污染情况描述	As, Ni 中度污染, Cd, Cu, Hg, Pb, Zn, Cr 重度污染	Ni 中度污染, As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Zn 重度污染, 其中 Cu, Hg 污染最为严重	As, Cd, Pb, Zn 中度污染, Cr, Cu, Hg, Ni 重度污染	As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn 均重度污染, 其中 Hg, Cu, Cr, Zn 污染最为严重	As, Cr, Ni 中度污染, Cd, Cu, Hg, Pb, Zn 重度污染, 其中 Hg, Zn 污染最为严重

5个类区8种重金属的污染等级

3 重金属污染的主要原因分析

观察表1至表8的数据,得出各区污染情况。

分析1类区(生活区):生活区是城市人口的主要聚集区,周边有大量的工矿企业,其产生的废弃物未经处理并随意堆放,导致重金属元素向四周环境扩散,对环境造成了污染,同时,废弃物在雨水的淋洗下,也会使重金属元素的迁移增强,因此,城市垃圾堆放场和填埋场成了重金属污染的潜在来源。还有,随着城市化发展和旧城区改造,城市中已搬迁的污染企业用地成为城市土壤重金属污染的突出问题,如一些冶金行业,电镀行业及大型企业中的电镀工艺等,可能造成较为严重的土壤重金属污染。不仅如此:生活中的许多生活用品也含有大量的重金属,比如化妆品、染发剂、电池、含铝铅煲等等。

分析2类区(工业区):工厂作业产生的工业三废,即废水、废气、废渣,均含有大量重金属,该区可能有重金属冶炼厂、化工厂、印刷厂等等,所以该区重金属均重度污染。

分析3类区(山区):山区远离生活区,厂商会选择在这里建垃圾场,垃圾中的重金属会向四周环境扩散,垃圾的焚烧也会产生大量的粉尘,里面含有大量的重金属,所以山区并不是想象的那样土壤重金属含量很低,而是污染相当严重的地区。

分析4类区(主干道区):重金属,主要是Pb、

Zn、Cd、Cr、Cu,它们主要来自于含铅汽油的燃烧,汽车轮胎磨损产生的含锌粉尘等。城市汽车的急剧增加,加剧了重金属的污染。

分析5类区(公园绿地区):工厂产生的工业废水、废气未经彻底处理就直接排放进附近河流和大气中,这些重金属随着大气和水流流动,大气中的重金属通过干湿沉降进入土壤后,被土壤中的粘土矿物和有机物的吸附或固定,富集于土壤表层,或为植物吸收而转入土壤,污水灌溉也会一起造成土壤中的重金属的浓度升高。还有,农药、化肥中都含有大量重金属,这也加剧公园绿地区土壤的重金属含量升高。

从表7可以看出,二类区(工业区)和四类区(主干道区)的重金属是相当的严重;五类区(公园绿地区)比三类区(山区)重金属污染严重;一类区(生活区)的污染也很严重。工业区和主干道区重金属含量超标是可以理解的,是因为工厂作业产生的工业三废,即废水、废气、废渣,均含有大量重金属,主干道区的重金属(主要是Pb、Zn、Cd、Cr、Cu),它们来自于含铅汽油的燃烧,汽车轮胎磨损产生的含锌粉尘等。但生活区、山区和公园绿地区重金属含量为什么会超标,那是因为工厂产生的工业废水和废气未经彻底处理就直接排放进附近河流和大气中,这些重金属随着大气和水流流动,大气中的重金属通过干湿沉降进入土壤后,被土壤中的粘土矿物和有机物的吸附或固定,富集于土壤表层,或为植物吸收而转入土壤,污水灌溉也会一起造成土壤中的重

金属的浓度升高。这就能说明为什么五类区(公园绿地区)比三类区(山区)重金属污染严重。日常生活用品,比如说化妆品,电池,染发剂,含铝铅煲,放

射性石材等等都会产生大量重金属,随着水流和大气进入土壤。这也就能够说明为什么一类区(生活区)的污染也会很严重。

注释及参考文献:

[1]2011 高教社杯全国大学生数学建模竞赛题目(A 题)[2011-9-14][EB/OL],<http://www.mcm.edu.com>.
 [2]赵静,但琦.数学建模与数学实验(第 3 版)[M].北京:高等教育出版社,2008.
 [3]许金朵.基于 GIS 的金华市区土壤重金属含量空间分布与污染评价研究[D].南京师范大学,2008.
 [4]周品,何正峰.MATLAB 数值分析[M].北京:机械工业出版社,2009.
 [5]李珍萍,常双领,成晓红,等.数学建模论集[M].北京:国防工业出版社,2010.
 [6]朱道元,韦明俊.数学建模—方法指导与案例分析[M].杭州:浙江大学出版社,2011.

Analysis of Heavy Metal Pollution in the Surface Soil of City

GU Yi-qiu, SHENG Jie-jie, YAO Wen-xu

(Teacher Education Department, Suqian College, Suqian, Jiangsu 223800)

Abstract: Firstly, a contour map of the 8 kinds of heavy metal concentration of urban area of a city is drawn using the MATLAB software to get the spatial distribution of different kinds of heavy metal element in the city, and the preliminary conclusion of the pollution degree in 5 districts. What's more, Nemero comprehensive pollution index method is used to qualify the pollution degree of various areas, and to achieve the pollution grade of all kinds of heavy metal in each area at the same time. The main cause of the heavy metal pollution in the surface soil of the city is analyzed by using the table of the comprehensive evaluation of pollution.

Key words: Soil; Heavy Metal; Pollution; Nemero pollution index

~~~~~  
(上接 20 页)

River Valley. It demonstrates some essential characteristics of key factors that affect the climate here and how the atmospheric circulation which is caused by subtropical high pressure affects the temperature and precipitation. Besides it discusses the cause of the formation of the abnormal precipitation, and put forward some strategies towards the aberration in this paper.

**Key words:** The Anning River Valley; Atmospheric humidity; Subtropical high pressure; Skewness distribution; Teleconnection

~~~~~  
(上接 23 页)

belongs to moderate pollution grade, while the rest is free from contamination or belongs to light pollution grade. In the evaluation of the health risks and ecological risks of tobacco planting soil, Pb health values are in a low risk level, and Pb ecological risks are in a medium risk level. Cd is in a high risk level because of exceeding badly. We can see from this, the status of the heavy metal content of the tobacco planting soil of Nange township of Huili county is not optimistic, and it is worth our long-term attention.

Key words: Huili coutry; Planting tobacco soil; Heavy metal content determination; Pollution evaluation analysis