

# 综合指数质量评价模型在太原市土壤 重金属污染评价中的应用\*

张建东<sup>1</sup>, 范舟<sup>1</sup>, 赖健清<sup>1</sup>, 王雄军<sup>1</sup>, 李德胜<sup>2</sup>, 王建武<sup>2</sup>, 周继华<sup>2</sup>

(1. 中南大学 地学与环境工程学院, 长沙 410083; 2. 山西省地质调查院, 太原 030001)

**摘要:**采用 3 种综合指数质量评价模型,以太原盆地土壤重金属元素背景值为评价标准,计算了太原市表层土壤重金属的综合污染指数。对比分析 3 种评价模型以后,认为用加权叠加综合指数评价模型能客观地反映太原市土壤重金属真实的污染状况。在此基础上,对太原市重金属进行了环境质量分区,并统计出不同环境质量区占总调查面积的百分比。

**关键词:**综合指数;土壤重金属;内梅罗;太原

**中图分类号:**X53

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2007)04-0240-04

## Application of Comprehensive Index Quality Evaluation Model of Soil Heavy Metal Pollution in Taiyuan

ZHANG Jian-dong<sup>1</sup>, FAN Zhou<sup>1</sup>, LAI Jian-qing<sup>1</sup>, WANG Xiong-jun<sup>1</sup>,  
LI De-sheng<sup>2</sup>, WANG Jian-wu<sup>2</sup>, ZHOU Ji-hua<sup>2</sup>

(1. School of Geoscience and Environmental Engineering, Central South University, Changsha 410083, China;

2. Shanxi Geological Survey Institution, Taiyuan 030001, China)

**Abstract:**Based on three kinds of quality evaluation model, taking the element background value of Taiyuan basin soil heavy metal as the evaluation criteria, the comprehensive pollution index of Taiyuan topsoil heavy metal is calculated. After three kinds of evaluation models are contrasted, the comprehensive index evaluation model of weight-repeated reflects the real pollution condition of Taiyuan soil heavy metal objectively. In this foundation, the environment quality district has been carried out in the Taiyuan heavy metal, and calculated the different environment quality area occupying the percentage of overall investigated area.

**Key words:**comprehensive index; soil heavy metal; Nemrow; Taiyuan

城市是人类生产和生活的重要场所,城市土壤是构成城市环境的一个主要部分。频繁的人类活动和密集的工业、交通运输,使城市土壤遭受强烈的人为干扰,造成较为严重的重金属污染<sup>[1~4]</sup>。现有的研究表明,城市土壤中的重金属可通过吞食、吸入和皮肤吸收等主要途径进入人体,直接对人特别是对儿童的健康造成危害,还可通过污染食物、大气和水环境间接的影响城市环境质量和危害人体健康<sup>[5~7]</sup>。因此,在城市化进程不断加快的今天,城市

土壤中的重金属不仅来源复杂,而且量大,重金属对人类的危害方式也变得复杂化,加之城市又是人类活动的密集区,所以城市土壤的重金属污染对人类的健康威胁更大,更应得到人们的广泛关注<sup>[8~10]</sup>。目前,对城市生态环境质量综合评价尚未形成成熟、系统的理论体系。环境质量评价方法种类繁多,应用较为广泛的有单因子指数质量评价模型、综合指数质量评价模型、模糊综合指数质量评价模型、层次

\* 收稿日期:2007-04-02

基金项目:国土资源大调查项目(200314200020);高等学校博士学科点专项科研基金项目(20030533012)

作者简介:张建东(1979-),男,在读博士,从事国土资源、地理信息的研究。

分析质量评价模型、灰色聚类法、主成分分析法、特尔斐法、综合比较评价法、神经网络法和物元分析法等等<sup>[11~14]</sup>。在具体选择评价方法时,应体现评价的客观性、准确性,评价结果要具有可比性和可操作性,以及评价的目的性和侧重性。本次研究采用综合指数质量评价模型对太原市土壤重金属进行了评价。

1 研究区概述

太原市位于山西省中部太原盆地北部的平川地区(东经 37°~38°,北纬 112°~113°),太原市城区包括尖草坪区、杏花岭区、万柏林区、迎泽区、小店区等 5 个城区。迎泽区是太原市最繁华的市中心,人口密度大,交通拥挤,商业活动频繁。万柏林区集中分布了太原市大部分工矿企业,这些企业三废排放量大。小店区是太原市经济开发区。太原市全市总面积为 6 988 km<sup>2</sup>,城区面积 1 460 km<sup>2</sup>,城区人口 197 万。太原市是全国煤炭之乡,国家能源重化工基地,重化工企业比重占到 75%,主要集中为三废排放量大大的冶金、煤炭及炼焦、化学、机械、电力五大行业。太原市是重型结构的老工业城市,技术装备较落后,产业结构和工业布局极不合理,燃料以煤为主,高能耗重污染行业占主导地位,市区内到处工厂林立,污染源密度大,排放强度大,90%的大型企业集中分布在西部和西北部,位于城市主导风向的上风向,如在太原市的西城区分布有太原一电厂、太原化肥厂、太原化工集团、太原煤气厂、太原重型机械厂等 30 多个大型企业;在太原市的西北城区分布有江阳化工厂、新华化工厂、晋华机器厂、太原钢铁厂等大型企业。它们大多是耗水量多、耗油量多、耗煤量大、排污量多的企业,并且排放的“三废”中含有大量的重金属等污染物<sup>[15~17]</sup>。

2 综合指数质量评价模型

综合指数质量评价模型的综合指数是由参评的各种单因子指数的分指数组合而成的,组合的方法

表 1 综合指数质量评价模型的土壤污染分级

综合指数 $P_c$	<1.0	1.0~2.0	2.0~3.0	3.0~5.0	>5.0
环境质量分区	清洁区	初始污染区	轻度污染区	中度污染区	严重污染区

3 太原市土壤重金属综合污染评价

采用综合指数法评价,以太原盆地重金属元素土壤背景作为评价标准,计算太原市表层土壤重金属的综合污染指数,进行环境质量分区,并统计出不

主要有 3 类,即:均权叠加综合指数法,内梅罗(Nemrow)综合指数法和加权叠加综合指数法。

2.1 均权叠加综合指数法

均权叠加综合指数法的综合指数指的是某一测点土壤中  $n$  个元素分指数的算术平均值,其计算公式为:

$$P_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i \quad i=1, 2, \dots, n \tag{1}$$

式中:  $P_j$  —— $j$  点土壤  $n$  个元素的综合指数,  $P_i$  —— $j$  点土壤元素第  $i$  个元素的污染指数。

2.2 内梅罗综合指数法

内梅罗(Nemrow)综合指数法是一种兼顾极值的综合方法,既考虑了单元素的作用,又突出了污染最严重元素的重要性,其计算公式为:

$$P_j = \sqrt{\frac{P_{j,ave}^2 + P_{j,max}^2}{2}} \tag{2}$$

式中:  $P_j$  —— $j$  点土壤  $n$  个元素的综合指数;  $P_{j,ave}$  —— $j$  点土壤  $n$  个元素污染指数的平均值;  $P_{j,max}$  —— $j$  点土壤  $n$  个元素污染指数的最大值。

2.3 加权叠加综合指数法

加权叠加综合指数法由美国 Brown 提出,通过引入权系数来考虑不同元素对污染影响贡献的差异,其计算公式为:

$$P_j = \sum_{i=1}^n W_i \cdot P_i \tag{3}$$

$$W_i = \frac{P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \tag{4}$$

式中:  $P_j$  —— $j$  点土壤  $n$  个元素的综合指数;  $W_i$  —— $j$  点土壤第  $i$  个元素分指数的权系数;  $P_i$  —— $j$  点土壤第  $i$  个元素分指数。

根据公式(1)、(2)可以分别计算出研究区每个土壤样品的均权叠加综合污染指数、内梅罗综合污染指数,根据公式(4)可计算出每个土壤样品各个元素分指数的权系数,再根据公式(3)可计算出每个土壤样品的加权叠加综合指数,并可据此对该研究区污染程度进行分级,综合污染分级如表 1 所示。

同环境质量区占总调查面积的百分比。

根据公式(1)、(2)、(3),用 SPSS 软件分别计算出太原市表层土壤 462 各样品中每个样品的均权叠加综合污染指数<sup>[18]</sup>,内梅罗综合污染指数和加权叠加综合指数后进行统计,并依据表 1 对该研究区污

染程度进行分级。

由表 2 和图 1 可以看出,用内梅罗综合指数模型和加权叠加综合指数模型评价,太原市表层土壤轻度污染区分别占总面积的 32.03 %和 16.45 %,中度污染区分别占总面积的 8.44 %和 11.69 %,严重污染区分别占 19.05 %和 13.85 %,清洁区面积分别

只有总面积的 0.87 %和 2.81 %,初始污染区分别占 39.61 %和 55.19 %。通过分析可见,太原市表层土壤中度污染以上的面积占总面积 30 %左右,清洁区面积不到 5 %,这说明太原市表层土壤的重金属污染比较严重,而且污染面积很大,必需引起有关部门的足够重视。

表 2 太原市土壤重金属综合指数分级对比表

环境质量分区		清洁区	初始污染区	轻度污染区	中度污染区	严重污染区
均权叠加综合指数法	样品数	16	348	65	26	7
	占总面积/ %	3.46	75.32	14.07	5.63	1.52
内梅罗综合指数法	样品数	4	183	148	39	88
	占总面积/ %	0.87	39.61	32.03	8.44	19.05
加权叠加综合指数法	样品数	13	255	76	54	64
	占总面积/ %	2.81	55.19	16.45	11.69	13.85

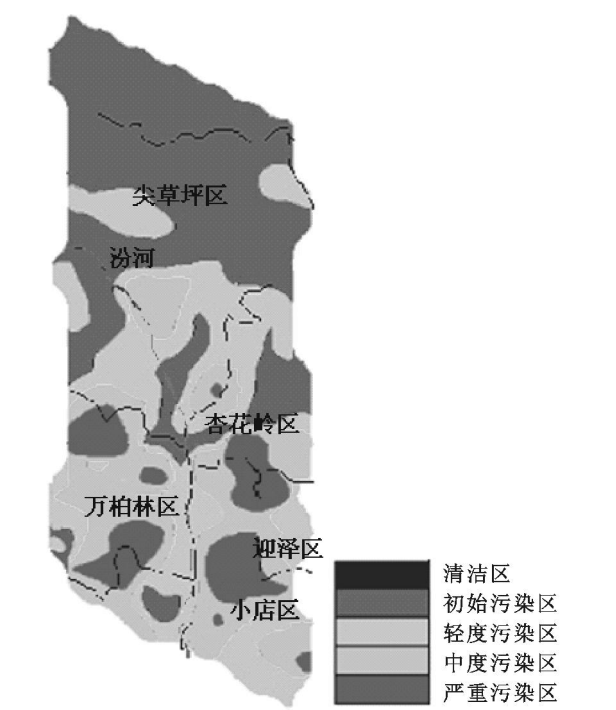


图 1 太原市土壤环境质量分区图

用 3 种综合评价模型对太原市土壤重金属综合污染评价所得的结果有所不同。用均权叠加综合指数模型评价得出的综合污染程度最轻,清洁区面积占研究区总面积的 3.46 %,初始污染区占 75.32 %,轻度污染区占 14.07 %,中度污染区占 5.63 %,严重污染区只占 1.52 %;用内梅罗综合指数模型评价和加权叠加综合指数模型评价结果比较接近,但结果也不一样,如用前种方法评价得出的严重污染区面积大于用后种方法。均权叠加综合指数法仅仅考虑了样品各元素分指数的算术平均值,而忽略了各分指数对综合污染影响贡献的差异;内梅罗综合指数法虽然考虑了分指数的算术平均值和突出了污染最严重元素贡献率,但仍未考虑各分指数对综合污染

影响贡献的差异;而加权叠加综合指数法通过引入权系数来修正这种差异。

太原市土壤重金属污染单因子评价结果表明,太原市地表土中 Hg 污染比较突出,Cd、Pb 次之,而 As、Ni 又基本未污染,整体污染程度差异性较大,用加权叠加综合指数评价模型评价土壤综合污染状况,能客观地反映太原市土壤真实的综合污染状况。

4 环境质量分区

用加权叠加综合指数评价模型计算出太原市土壤各样品点重金属元素综合污染指数,根据表 1 综合污染分级标准,用 GEOMDIS 软件作出太原市土壤综合环境质量分区图,如图 1。

由图 1 可以看出,太原市土壤重金属综合污染较为严重,几乎所有土壤都受到不同程度的污染。土壤重金属综合污染有如下特征:从行政区划看,迎泽区>万柏林区>杏花岭区>小店区>尖草坪区。从地理分布看,城区>郊区,城区南部>城区北部,中度污染区和严重污染区主要分布在市区南部,而研究区北部的市区和部分郊区污染程度较轻。这说明太原市土壤重金属综合污染主要由于人为活动引起,而且重金属污染物有向南迁移的特点,这一点可能与太原市的独特自然地理条件有关,太原市北、东、西三面环山,地势北高南低,冬季常以西北风为主导风,太原市许多排污企业都设在上风向高地,这些污染物随风向南移,污染物不易扩散,被风带到城市的下风向。

参考文献:

[1] Kimpe D C R, Morel J L. Urban soil management : a growing concern[J]. Soil Science, 2000, 165 (1) : 31 - 40.

[2] 张甘霖,朱永官,傅伯杰. 城市土壤质量演变及其生态环境效应[J]. 生态学报,2003,23(3):539-546.

[3] 章家恩,徐琪. 城市土壤的形成特征及其保护[J]. 土壤,1997,29(4):189-193.

[4] 张甘霖,骆国保,龚子同. 城市土壤特性与城市土壤研究的兴起和进展[A]. 冯光,张昌全,史学正,等. 土地资源持续利用与技术[C]. 北京:中国大地出版社,1998.33-37.

[5] 卢瑛,龚子同,张甘霖. 南京城市土壤的特性及其分类的初步研究[J]. 土壤,2001,33(1):47-51.

[6] 刘廷良,高松武次郎,佐濑裕之. 日本城市土壤的重金属污染研究[J]. 环境科学研究,1996,9(2):47-51.

[7] 菲尔汗·汉杰尔,潘丽英,等. 汽车废气中的铅对城市土壤污染状况调查[J]. 干旱环境监测,2002,16(3):154-161.

[8] Miguel D E Jimenez D G M, Llamas J F, et al. The overlooked contribution of compost application to the trace element load in the urban soil of Madrid (Spain) [J]. The Science of the Total Environment, 1998, 215 (1-2):113-122.

[9] Paterson E, Sanka M, Clark L. Urban soils as pollutant sinks—a case study from Aberdeen, Scotland [J]. Applied Geochemistry, 1996, 11 (1-2):129-131.

[10] 黄勇,郭庆荣,任海,等. 城市土壤重金属污染研究综述[J]. 热带地理,2005,25(1):14-18.

[11] 张贞,魏朝富,高明,等. 土壤质量评价方法进展[J]. 土壤通报,2006,37(5):999-1005.

[12] 周广柱,杨锋杰,程建光,等. 土壤环境质量综合评价方法探讨[J]. 山东科技大学学报(自然科学版),2005,24(4):113-118.

[13] McGratha D, Zhang C S, Cartona O T. Geostatistical analyses and hazard assessment on soil lead in Silvermines area, Ireland [J]. Environmental Pollution, 2004, 127:239-248.

[14] 石晓翠,熊建新. 模糊数学模型在土壤重金属污染评价中的应用[J]. 土壤通报,2006,37(5):999-1005.

[15] 李德胜,杨忠芳,靳职斌. 太原盆地土壤微量元素的地球化学特征[J]. 地质与勘探,2004,40(3):86-89.

[16] 张乃明,等. 太原市污灌区土壤重金属污染研究[J]. 农业环境保护,1996,15(1):21-23.

[17] 王应刚,辛晓云,郭翠花. 太原市土壤中汞污染及其成因研究[J]. 生态学杂志,2003,22(5):40-42.

[18] 刘先勇,袁长迎,段宝福,等. SPSS 10.0 统计分析软件与应用[M]. 北京:国防工业出版社,2002.

(上接第 239 页)

细沟侵蚀量。坡面水平方向上凹形坡和凸形坡的细沟条数和侵蚀面积大于内聚直坡和直线形坡,在坡面上的水平分布是每隔一定距离出现一条细沟,交替排列,因为坡面细沟的产生是由于径流的集中造成的,在坡面上径流形成股状水流需要一定的汇水面积。内聚直坡上细沟主要出现在水平方向上的凹面处,边缘侵蚀程度弱,这也是水流汇集的侵蚀结果。细沟的宽度和深度随雨强的变化没有明显的规律性,多数情况下细沟的宽度和深度随雨强的增大而增大,因为雨强越大,坡面径流也越大,侵蚀动能也就越大,因此细沟发育就越好,坡面侵蚀形态见图 6。产生细沟后侵蚀量将迅速增大,最大占总侵蚀量的 91%。总之,细沟在坡面上的发生特征是坡面径流集中趋势的反映,坡形不但影响细沟侵蚀的分布状况,也影响细沟侵蚀的程度。

3 结论与对策

(1) 产流量和含沙量都是凹形坡大于凸形坡,其

次是内聚直坡,直线形坡最小,并且随着雨强和坡度的增大而增大。

(2) 总径流量和侵蚀量大体上是凹形坡 > 凸形坡 > 内聚直坡 > 直线形坡,随着雨强和坡度的增大而增大,幂函数回归效果较好。

(3) 坡面的上部侵蚀较弱,侵蚀的剧烈段在坡面中下部,并随雨强和坡度增大而逐渐上移。细沟的宽度和深度随雨强的增大而增大,产生细沟后侵蚀量将迅速增大,最大占总侵蚀量的 91%。

根据以上结果应及时加强不同坡形的改造和治理,减小降雨侵蚀和地面坡度,最大限度的截断坡面汇流,减少径流量,防止细沟侵蚀的发生。

参考文献:

[1] 王兆印. 泥沙研究的发展趋势和新课题[J]. 地理学报,1998,53(3):245-253.

[2] 高玉山,徐刚,李月灵. GIS 在区域土壤侵蚀研究中的应用探讨[J]. 阜新师范学院学报,2004,21(1):51-53.