

# 磁化率对土壤重金属污染的指示性研究

## ——以沈阳新城子区为例

余涛<sup>1,2</sup>, 杨忠芳<sup>1</sup>, 岑静<sup>3</sup>, 杨志斌<sup>4</sup>, 黄勇<sup>1</sup>, 杨晓波<sup>5</sup>

(1 中国地质大学 地球科学与资源学院, 北京 100083; 2 中国地质大学 地质调查研究院, 北京 100083; 3 浙江省地质调查院, 浙江 杭州 311203; 4 中国地质科学院 物化探研究所, 河北 廊坊 065000; 5 辽宁省地质矿产调查院, 辽宁 沈阳 110032)

摘要: 通过对 399 件表层土壤磁化率参数与化学组成的分析测试, 较系统地总结了沈阳新城子区土壤磁化率特征, 并初步进行了磁化率对土壤重金属污染的指示研究。结果表明: (1) 不同土壤类型中磁化率差异较大, 棕壤中由于人为作用较大, 其均值最高。不同堆积类型中磁化率差别较大, 洪积物和残坡积物中平均值最高, 冲积物中最低。不同农作物对元素的需求不一样导致磁化率的含量变化范围存在着区别。(2) 土壤的磁化率与土壤中 Cd Pb Hg Cu Zn 等重金属元素含量呈显著正相关, 且与土壤 pH 值呈显著负相关关系, 能反映出土壤酸化的状况, 对土壤污染程度有较好的指示性。(3) 利用磁化率可以快捷地划分污染区。

关键词: 磁化率; 土壤; 重金属元素; 沈阳

中图分类号: P595 X142 文献标志码: A 文章编号: 1000-8527(2008)06-1034-07

## The Study of Magnetic Susceptibility as the Indication of Contaminated Soil with Heavy Metals—the Case of Xinchengzi District in Shenyang

YU Tao<sup>2</sup>, YANG Zhongfang<sup>1</sup>, CEN Jing<sup>3</sup>, YANG Zhibing<sup>4</sup>, HUANG Yong<sup>1</sup>, YANG Xiaobo<sup>5</sup>

(1. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China

2. Institute of Geological Survey, China University of Geosciences, Beijing 100083, China

3. Zhejiang Institute of Geological Survey, Hangzhou, Zhejiang 311203, China

4. Institute of Geophysical & Geochemical Exploration, Chinese Academy of Geological Sciences, Langfang, Hebei 065000, China

5. Liaoning Institute of Geological Survey, Shenyang, Liaoning 110032, China)

Abstract: Based on the analysis results of magnetic susceptibility and chemical analysis of 399 topsoil samples, the typical characteristics of the soil magnetic susceptibility of Xinchengzi District in Shenyang have been summarized systematically, and the indication of soil heavy metal pollution by magnetic susceptibility has been studied. The results show that: (1) Magnetic susceptibility is diverse among various soil types, and the mean of brown soil is high because of human influence. Magnetic susceptibility of different accumulation is various. Different demands of crops for elements result in the difference of magnetic susceptibility. (2) Soil magnetic susceptibility has distinct positive correlation with such heavy metal elements as cadmium, lead, mercury, copper and zinc. It also has negative correlation with pH of soil that can reflect soil acidification situation. So magnetic susceptibility may be used as better indicators for soil pollution. (3) Polluted zone is plotted out conveniently and rapidly via magnetic susceptibility.

Key words: magnetic susceptibility; soil; heavy metal elements; Shenyang

收稿日期: 2008-05-10; 改回日期: 2008-09-10; 责任编辑: 孙义梅。

基金项目: 中国地质调查局地质大调查项目(2004142000004); 全国土壤现状调查及污染防治专项(GZIR20060301)。

作者简介: 余涛, 男, 研究实习生, 博士研究生, 1979年出生, 环境地球化学专业, 主要从事环境地球化学和土地质量地球化学评估等科研工作。Email: yutaoc@cgj.edu.cn

# 0 引 言

磁化率是环境磁学研究中的一个重要磁参数<sup>[1]</sup>, 把磁化率与地球化学元素密切相结合, 探索环境变化对磁性的影响及磁化率与地球化学元素相关性研究, 是近些年环境磁学研究的新发展趋势之一<sup>[2-5]</sup>。

前人<sup>[6-12]</sup>曾用磁化率参数来初步判断人类活动对土壤的污染, 研究了土壤中磁化率和土壤重金属元素全量、有效态含量的关系。近年来, 许多学者在土壤磁化率空间变异性研究、高砷含水层沉积物中砷与磁性矿物的关系、不同母岩之上的表土磁化率特征、矿山重金属污染土壤的磁化率特征、铅锌矿区河谷沉积物的磁学特征与重金属污染的关系等诸多方面开展了大量的研究工作<sup>[13-25]</sup>, 但关于磁化率对土壤污染指示性的研究报道较少。

本文通过对沈阳新城子区土壤磁化率分布规律、土壤磁化率和重金属元素含量的相关性研究, 探讨土壤磁化率对土壤重金属污染的指示性, 具有一定的现实意义。

# 1 材料与方 法

## 1.1 研究区概况

沈阳市新城子区位于沈阳北部, 是沈阳市 9 个行政区之一, 占地总面积 849 km<sup>2</sup> (图 1)。研究区总面积为 400 km<sup>2</sup>, 地理坐标跨及东经 123°20'~123°38', 北纬 41°59'~42°08'。区内主要土壤类型有草甸土、水稻土和棕壤, 部分地区出露第四系全新统沙砾石、亚砂土和粉沙土沉积<sup>①</sup>。

## 1.2 样品采集

根据辽宁省地质调查院提供的多目标地球化学调查的基础性数据显示<sup>①</sup>, 沈阳新城子区 Pb、Cd 等重金属元素在靠近城镇的农田区有较大异常值。在区内选择 Cd、Pb 等重金属元素污染较严重的地区, 采集表层 0~20 cm 土壤样品和土壤剖面样品进行磁化率测定。采样密度为 1 个/km<sup>2</sup>, 采集表层土壤样品 400 件。

所有样品磁化率是在南京大学地科系表生地球化学研究室测定完成。将过了 20 目筛的土壤样品放置在烘箱中, 40℃ 鼓风干燥, 称重后, 装入塑料盒里, 再将称好重量的样品垂直放入仪器中

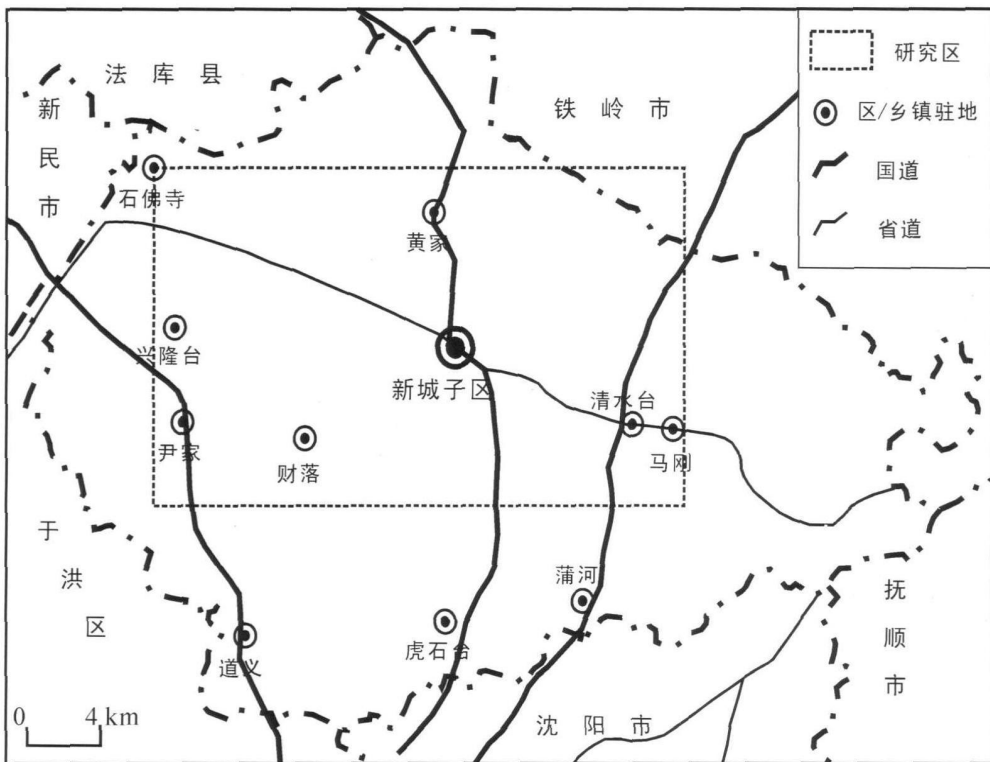


图 1 研究区位置及采样分布图  
Fig 1 Location and sampling distribution map of the study area

① 辽宁省辽河流域 1:250000 多目标生态地球化学调查成果报告, 辽宁省地质矿产调查院, 2007  
?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

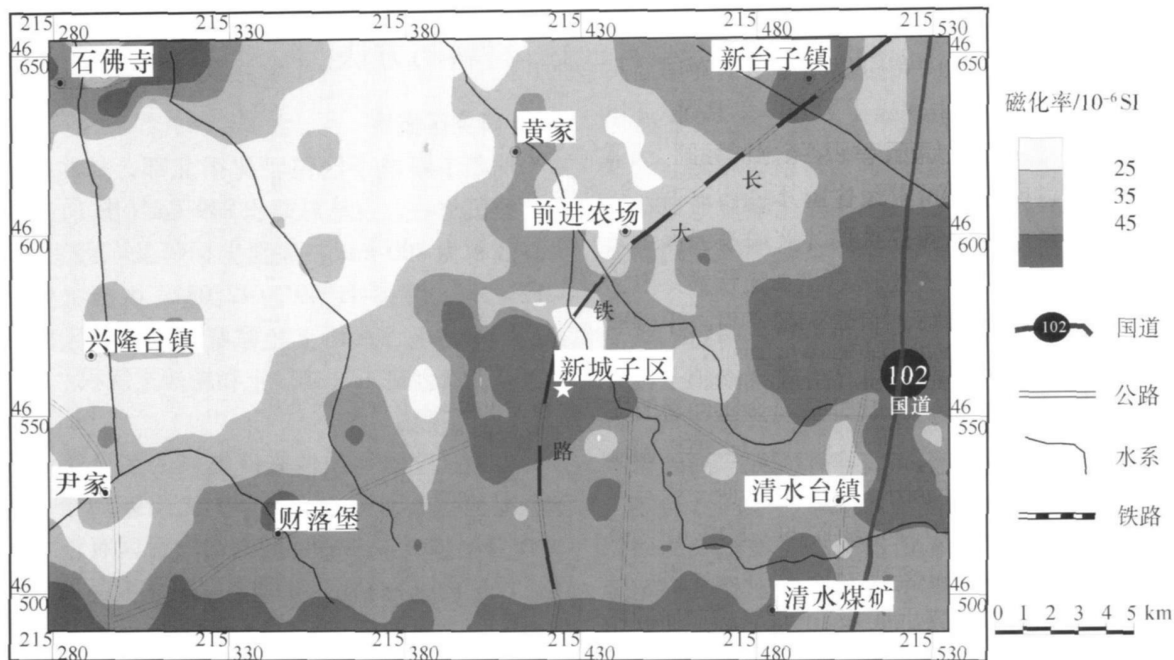


图 2 表层土壤磁化率分布图

Fig 2 The distribution Plot of topsoil magnetic susceptibility

进行磁化率测量。

### 1.3 测试方法及质量评述

磁化率仪为英国 Bartington 公司生产的 MS2 型磁化率仪，在低频状态、同样的室内环境下测定，将所得值换算成质量磁化率单位 ( $10^{-6}$  SI)。每隔 5 个样品重复测量 1 次，数据要呈现良好的重复性，样品误差均小于 3%。每测 10 个数据进行一次仪器校准，仪器稳定性好并具有较高的精度。测定样品磁化率时，保持样品体积基本相同并测量其质量，电子天平精确度为 0.001 g。

磁化率测定时，有 10% 重复样及标准样品进行质量控制，其数据合格率为 95%。

重金属元素 Cd 和 Pb 含量测定由国土资源部沈阳地质矿产测试中心完成，分别采用火焰原子吸收法和发射光谱法。分析方法及检出限严格按照中国地质调查局地质调查技术标准《生态地球化学评价样品分析技术要求》<sup>②</sup> 执行。

为了数据质量的可靠性，采用内部监控、密码抽样、重复样检查、标准样监控、外检等，检验结果可靠。

## 2 结果与讨论

### 2.1 磁化率分布特征

通过对新城子区表层土壤磁化率的系统研究，

研究区的磁化率范围在  $10.5 \times 10^{-6} \sim 933.7 \times 10^{-6}$  SI 之间，变化范围较大，均值为  $36.2 \times 10^{-6}$  SI。用 MapGIS 软件作出表层土壤磁化率分布图 (图 2)，新城子区人口居住区和南部靠近道义、虎石台开发区等地磁化率较高，东部丘陵区局部磁化率较高。新城子城区及南部开发区由于经济发展和人类活动频繁，燃煤、工业排放等因素导致磁化率相对较高。

分别用土壤类型、堆积类型和农作物种植类型来统计磁化率的一些特征值 (表 1、表 2 和表 3)。

不同土壤类型中磁化率差异较大，平均值依次为棕壤 > 草甸土 > 沼泽土 > 碱土，棕壤中人为作用较大，因此，其均值较高，碱土中，由于熟化程度较低，其均值最低。土壤类型对磁化率有一定影响。草甸土中磁化率最大值为  $933.7 \times 10^{-6}$  SI。

表 1 不同土壤类型磁化率统计

Table 1 The statistic of magnetic susceptibility by various soil types

| 分类<br>土壤类型  | 磁化率 / $10^{-6}$ SI |       |       |          |
|-------------|--------------------|-------|-------|----------|
|             | 最大值                | 最小值   | 平均值   | 标准偏差     |
| 棕壤 (n=113)  | 108.27             | 23.88 | 45.62 | 14.62370 |
| 草甸土 (n=215) | 933.72             | 11.98 | 38.35 | 62.45688 |
| 沼泽土 (n=17)  | 69.39              | 14.43 | 32.94 | 15.61949 |
| 碱土 (n=54)   | 44.91              | 10.50 | 26.19 | 6.614138 |

② 生态地球化学评价样品分析技术要求. 中国地质调查局. 2006

表 2 不同堆积类型土壤磁化率统计

Table 2 The statistic of magnetic susceptibility by various accumulation types

| 分类<br>堆积类型  | 磁化率 /10 <sup>-6</sup> SI |       |       |            |
|-------------|--------------------------|-------|-------|------------|
|             | 最大值                      | 最小值   | 平均值   | 标准偏差       |
| 冲积物 (n=66)  | 58.93                    | 14.43 | 26.62 | 9.523 936  |
| 洪积物 (n=245) | 933.72                   | 10.50 | 40.04 | 58.898 090 |
| 残破积物 (n=42) | 88.60                    | 33.54 | 45.91 | 10.025 880 |
| 坡冲积物 (n=40) | 55.33                    | 29.92 | 39.40 | 5.055 988  |

表 3 不同作物类型土壤磁化率统计

Table 3 The statistic of magnetic susceptibility by various crop types

| 分类<br>作物品种 | 磁化率 /10 <sup>-6</sup> SI |       |       |            |
|------------|--------------------------|-------|-------|------------|
|            | 最大值                      | 最小值   | 平均值   | 标准偏差       |
| 水稻 (n=102) | 67.20                    | 10.50 | 26.70 | 9.943 380  |
| 玉米 (n=274) | 933.72                   | 11.98 | 42.53 | 55.401 960 |
| 大豆 (n=8)   | 40.61                    | 20.49 | 30.43 | 8.990 408  |
| 蔬菜 (n=6)   | 99.52                    | 18.03 | 45.58 | 28.220 000 |
| 其他 (n=10)  | 108.27                   | 24.62 | 49.93 | 26.965 350 |

SI 该点其他重金属元素含量亦非常高, 有机质含量也很高。

不同堆积类型中磁化率差别较大, 洪积物和残坡积物中平均值最高, 冲积物中最低。

不同农作物对元素的需求不一样, 而且耕作方式也不尽相同, 因此反映出磁化率含量的变化范围也不同。根据统计结果, 种植其他农作物的土壤中磁化率平均值最高; 其次是种植蔬菜的土

壤, 磁化率均值为  $45.58 \times 10^{-6}$  SI, 农作物水稻和大豆中较低。

### 2.2 磁化率与重金属元素的相关性

磁化率和重金属元素间具有千丝万缕的联系, 本区也有此特征(图 3)。工业生产活动中会释放出大量重金属颗粒(如 Cu、Zn、Pb、Cr、Cd 和 Mn), 吸附作用使球状颗粒物与重金属颗粒结合

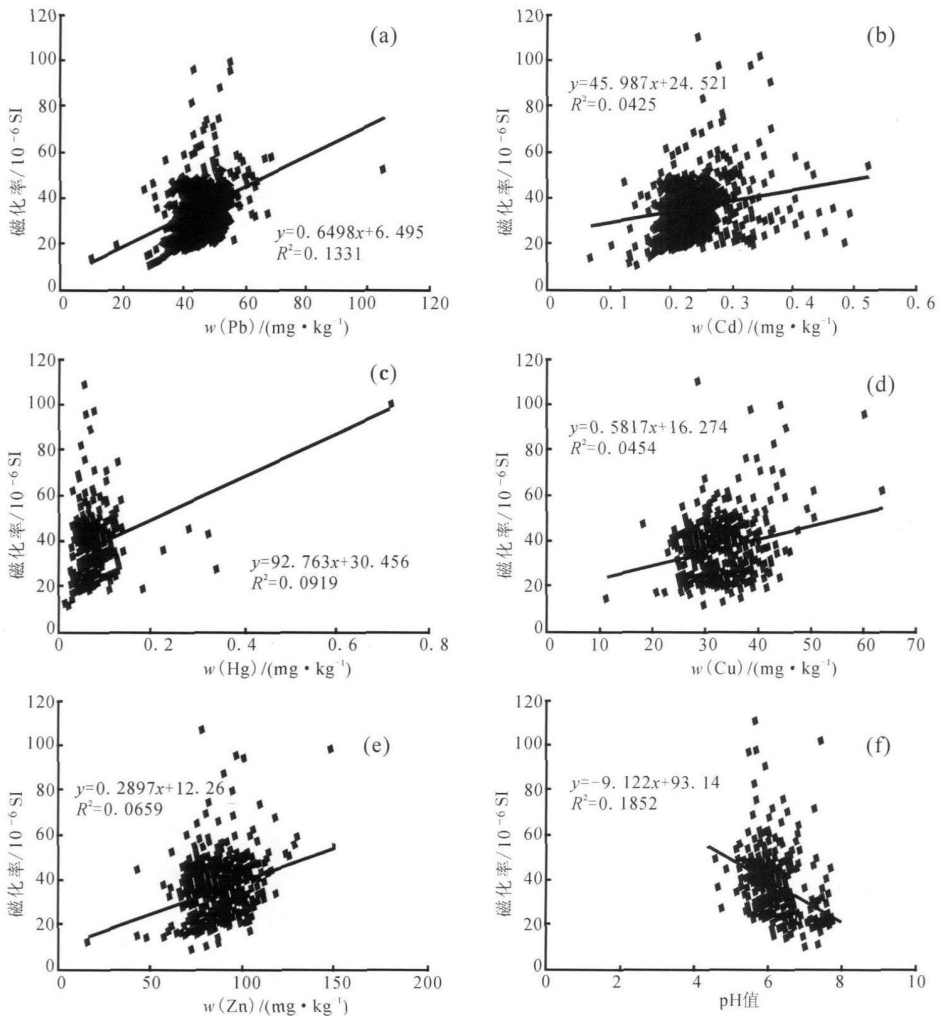


图 3 土壤磁化率和 Pb Cd Hg Cu Zn PH关系图

Fig 3 The correlation graphs between magnetic susceptibility and lead cadmium mercury copper zinc PH in soil  
?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

在一起，通过大气沉降，滞留在土壤表层中，使得表层土壤磁性与重金属 Cu、Zn、Pb、Cd 含量同时增加。Hansen<sup>26)</sup> 等确定在燃煤释放出来的飘尘中含有不少磁性成分，Cu、Zn、Pb、Cr、Co、Mn、Ni、B 等重金属元素明显富集于飘尘的磁性成分中。大气颗粒物的研究结果也表明辽宁省大气中 Pb、Zn 含量较高。

图 3(a)和图 3(b)为土壤磁化率和 Pb、Cd 含量的相关关系图，图中样点为 399 个，从中可见磁化率和 Pb、Cd 显著正相关，其相关系数 R 分别为 0.365 和 0.206。随着土壤中 Pb、Cd 含量的增加，土壤磁化率明显地增加。当然，影响磁化率的因素是多方面的，Pb、Cd 等重金属元素对磁化率有一定影响。图 3(c)为土壤磁化率和 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 的关

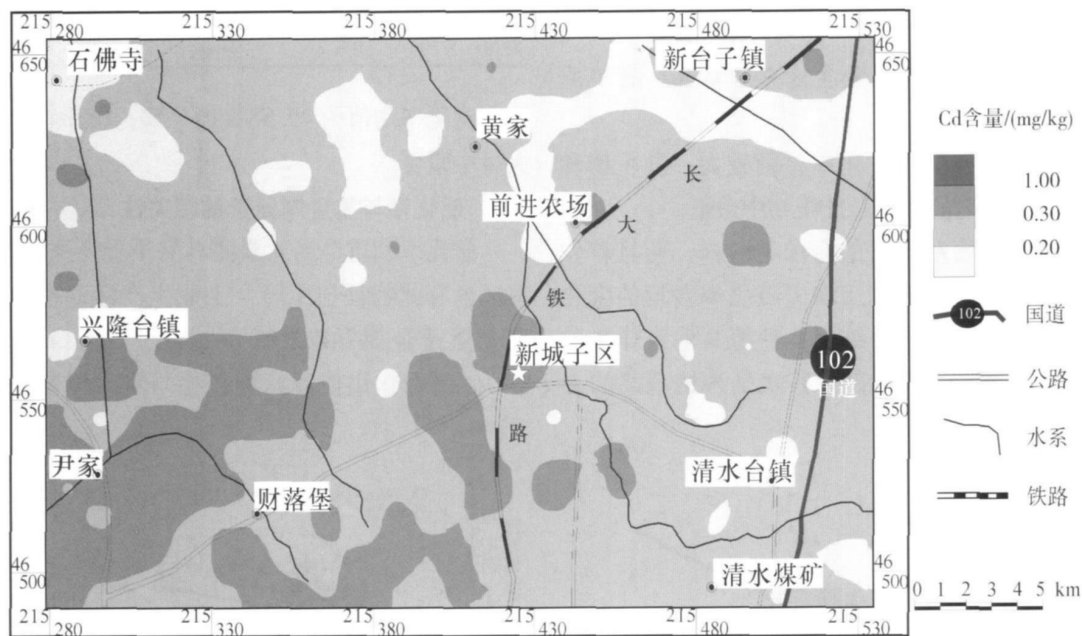


图 4 表层土壤 Cd 含量地球化学图  
Fig. 4 The geochemical plot of topsoil cadmium content

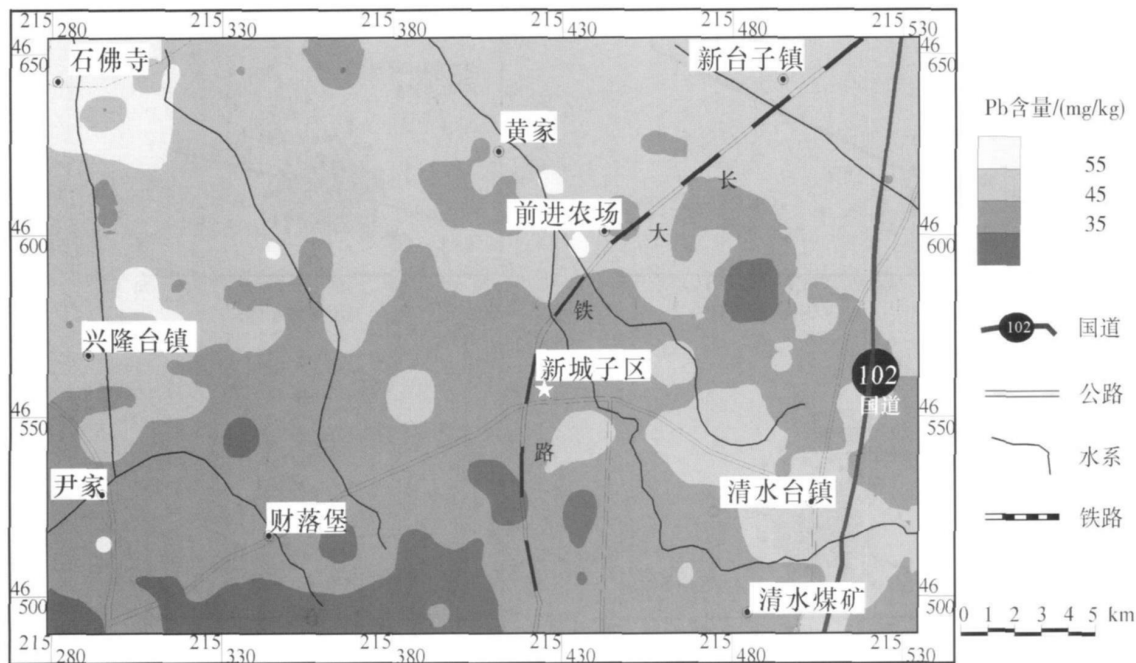


图 5 表层土壤 Pb 含量地球化学图  
Fig. 5 The geochemical plot of topsoil lead content

系图,和Pb、Cd一样,土壤中Hg元素也和磁化率显著正相关,其相关系数为 $R=0.303$ 。同样,土壤中Cu和Zn也和磁化率较显著正相关(图3(d)和图3(e))。有研究表明,通过沉积物中重金属的化学分析,可以得出磁化率与Pb、Zn、Cu高度相关的结论<sup>[27]</sup>。图3(f)为土壤磁化率和pH的关系图,从图中可以看出磁化率和pH负相关,相关系数 $r=-0.43$ 。土壤酸度对土壤磁化率值有重要影响,它溶解了铁氧化物,造成磁化率的明显降低。一般认为,随着pH下降,土壤酸化,会加速土壤中含铝的原生和次生矿物风化而释放大量铝离子,土壤酸化还会造成Cd、Pb等重金属元素活动态含量增加。土壤酸度增加,则磁化率增加。因此,磁化率在一定程度上可以作为土壤酸化的指示指标。

### 2.3 磁化率对重金属元素污染的指示性

图4和图5依次为表层土壤Cd、Pb含量地球化学图,重金属元素含量的增高主要与当地城镇生活垃圾随意堆放、垃圾施肥、工业粉尘、工业废气、废物和污水排放、污水灌溉、农药和化肥的过量使用等有关,人为活动区Cd、Pb等重金属元素含量明显偏高。将重金属元素含量地球化学图与磁化率分布图(图2)进行对比,可见Cd、Pb元素高值分布和磁化率高值具有很好的对应性,在新城子城区空间重叠性非常好。因此,通过分析磁化率的高、低值分布,能很好地指示出重金属污染的区域;而通过分析磁化率和土壤pH的负相关关系,能了解土壤酸化的状况。磁化率测试方法简便易行,经济快捷,并具连续性好、分辨率高、对样品无破损的优点,因此,在工农业发达地区评价区域土壤环境质量或对区域土壤环境进行监测时,可以先用磁化率方法进行前期扫面摸底调查,而后再根据磁化率结果进行有针对性、有重点选择异常点或面做详细研究工作,将磁化率作为快速划分污染区的指标具有重要的意义。

## 3 结论

本文以沈阳新城子区为例,研究了区域内土壤磁化率特征、磁化率与土壤中重金属元素及pH的相关性分析,并对Cd、Pb元素分布区域和磁化率分布进行空间对比,得出如下结论:

(1)不同土壤类型中磁化率差异较大,研究区棕壤为主要耕作土壤,受人为作用影响较大,因此,其均值最高;不同堆积类型中磁化率差别较

大,洪积物和残坡积物中平均值最高,冲积物中最低。不同农作物对元素的需求不一样导致磁化率的含量变化范围存在着区别。

(2)土壤的磁化率与土壤中Cd、Pb、Hg、Cu、Zn等重金属元素含量呈显著正相关,且与土壤pH呈显著负相关关系,通过研究这些关系基本能了解土壤酸化的状况,对土壤污染程度也有较好的指示性。

(3)磁化率测试方法简便易行,经济快捷,适合在工农业发达地区评价区域土壤环境质量或对区域土壤环境进行监测时,根据磁化率结果进行有针对性、有重点选择异常点或面做详细研究工作,将磁化率作为快速划分污染区的指标具有重要的意义。

### 参考文献:

- [1] Thompson R, Oldfield F. Environmental Magnetism [M]. London: Allen & Unwin, 1986.
- [2] 姜月华, 殷鸿福, 王润华. 环境磁学理论、方法和研究进展 [J]. 地球学报, 2004, 25(3): 357-362.
- [3] 卢升高. 中国土壤磁性与环境 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2003: 105-106.
- [4] 旺罗, 刘东生, 吕厚远. 污染土壤的磁化率特征 [J]. 科学通报, 2000, 45(10): 1091-1094.
- [5] 俞立中. 环境磁学在城市污染研究中的应用 [J]. 上海环境科学, 1999, 18(4): 175-178.
- [6] Hay K L, Dearing J A, Baban S M J, et al. A Preliminary attempt to identify atmospherically derived pollution particles in English topsoils from magnetic susceptibility measurements [J]. Physics and Chemistry of the Earth, 1997, 22: 207-210.
- [7] Denting J A, Lees J A, White C. Mineral magnetic properties of acid gleayed soils under oak and Corsican Pine [J]. Geoderma, 1995, 68: 309-319.
- [8] 卢瑛, 龚子同, 张甘霖, 等. 南京城市土壤重金属含量及其影响因素 [J]. 应用生态学报, 2004, 15(1): 123-126.
- [9] 卢瑛, 龚子同, 张甘霖. 城市土壤磁化率特征及其环境意义 [J]. 华南农业大学学报, 2001, 22(4): 26-28.
- [10] Lu S G, Bai S Q. Study on the correlation of magnetic properties and heavy metals content in urban soils of Hangzhou City, China [J]. Journal of Applied Geophysics, 2006, 60: 1-12.
- [11] 张艳彬, 王玉, 杨忠芳, 等. 成都经济区土壤磁化率特征及其环境意义 [J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2007, 37(3): 597-604.
- [12] 杨志斌, 杨忠芳, 冯海艳. 山西太原盆地土壤磁化率与元素Cd、Pb相关性分析研究 [J]. 矿物岩石地球化学通报, 2007, 26: 481-482.
- [13] 杨萍果, 毛任钊, 赵建林, 等. 不同水质灌溉土壤磁化率空间变异性研究 [J]. 农业工程学报, 2007, 23(6): 12-16.
- [14] Magiera T, Suzydzisz Z, Kapicka A, et al. Discrimination of

- lithogenic and anthropogenic influences on topsoil magnetic susceptibility in Central Europe [ J ]. *Geoderma*, 2006, 130: 299—311.
- [ 15] 谢先军, 王焰新, 苏春利, 等. 大同盆地高砷地下水系统沉积物环境磁学特征 [ J ]. *地球科学*, 2008, 33(1): 117—123.
- [ 16] Klump S, Kpfer R, Cifka O A et al. Groundwater dynamics and arsenic mobilization in Bangladesh assessed using noble gases and tritium [ J ]. *Environmental Science and Technology*, 2006, 40: 243—250.
- [ 17] Berg M, Tran H C, Nguyen T C et al. Arsenic contamination of groundwater and drinking water in Vietnam: A human health threat [ J ]. *Environmental Science and Technology*, 2001, 35: 2621—2626.
- [ 18] 饶志国, 朱照宇, 吴翼, 等. 华南地区发育于不同母岩之上的表土磁化率特征及其意义 [ J ]. *第四纪研究*, 2007, 27(4): 651—652.
- [ 19] 卢升高, 张子玉, 俞劲炎, 等. 玄武岩发育土壤的磁化率及其机理解析 [ J ]. *土壤学报*, 1999, 36(4): 544—550.
- [ 20] 邓成龙, 刘青松, 潘永信, 等. 中国黄土环境磁学 [ J ]. *第四纪研究*, 2007, 27(2): 193—209.
- [ 21] 杨小强, 张轶男, 张澄博, 等. 矿山重金属污染土壤的磁化率特征及其意义——以广东大宝山多金属矿床为例 [ J ]. *中山大学学报: 自然科学版*, 2006, 45(4): 98—102.
- [ 22] 蔡美芳, 党志, 文震, 等. 矿区周围土壤中重金属危害性评估研究 [ J ]. *生态环境*, 2004, 13(1): 6—8.
- [ 23] 角媛梅, 周鸿斌, 史正涛, 等. 铅锌矿区河谷沉积物的磁学特征与重金属污染的关系 [ J ]. *生态环境*, 2008, 17(1): 201—205.
- [ 24] 牛红义, 吴群河, 陈新庚. 珠江(广州河段)表层沉积物中重金属的分布特征及相关性研究 [ J ]. *生态环境*, 2006, 15(5): 954—959.
- [ 25] 张卫国, 俞立中. 长江口潮滩沉积物的磁学性质及其与粒度的关系 [ J ]. *中国科学: D辑*, 2002, 32(9): 783—792.
- [ 26] Hansen L D, Silberman D, Fisher G L. Crystalline components of stack-collected size-fractionated coal fly-ash [ J ]. *Environmental Science and Technology*, 1981, 15: 1057—1062.
- [ 27] Williams T M. A sedimentary record of the deposition heavy metals and magnetic oxides in the Loch Dee basin, Galloway, Scotland since ca. AD 1500 [ J ]. *The Holocene*, 1991, 1: 142—150.