

太原盆地土壤微量元素的地球化学特征

李德胜^{1,2}, 杨忠芳¹, 靳职斌²

(1. 中国地质大学, 北京 100083; 2. 山西省地质调查院, 太原 030001)

[摘要] 文章分析了太原盆地土壤微量营养元素 Fe、Mn、Cu、Zn、Mo、B 和有害重金属元素 As、Cd、Cr、Hg、Pb 的含量变化特征。太原盆地土壤中微量营养元素与世界土壤和全国土壤的平均值相比趋于缺乏状态, 而高于全国黄土和山西省土壤的平均含量。有害重金属元素在太原盆地表层土壤的富集已较明显, 原有的地球化学特征已发生较大变化。Hg、Cd、Pb 对环境的危害作用应引起重视。

[关键词] 太原盆地 土壤 地球化学特征 微量营养元素 有害重金属元素

[中图分类号] P632 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 0495-5331(2004)03-0086-04

0 引言

太原盆地是山西省人口集中区, 有人口 1000 多万, 占全省人口的近 1/3; 是重要的农业生产区, 粮食、蔬菜、水果在山西省占据很重要的地位; 也是重要的工业集中区, 平原区冶炼、化工、机械、轻纺等工业企业及城市化建设都有较大规模的发展, 边山区有丰富的煤、铝、铁等矿产资源开发利用。太原盆地也是我国黄土集中分布的典型地带之一, 由边山丘陵与中部平原两大部分构成。边山丘陵以风积厚层亚砂黄土为主, 中部平原以冲洪积亚砂粘土质黄土为主。土壤类型主要有潮土、盐化潮土、石灰性褐土、褐土性土等 4 个大类, 受地形控制, 水平分带很有规律。

以往以太原盆地黄土为研究对象的工作, 侧重于土壤、用地类型的调查, 土壤质量的评价分析元素很少, 而且缺乏区域性、系统性, 从未形成过系统的生态地球化学资料。本次太原盆地的生态地球化学调查工作, 研究区面积为 7000 km², 系统采集了表层土壤 (0~20 cm, 代表第二环境, 采样密度 1 点/km²) 样品和深层土壤 (150~200 cm, 代表第一环境, 采样密度 1 点/4 km²) 样品, 测试了 52 个元素以及有机碳、pH 值 2 个指标。

本文选择与农作物生长关系密切的微量营养元素 Fe、Mn、Cu、Zn、Mo、B 和对环境危害严重的“五毒”重金属元素 As、Cd、Cr、Hg、Pb 为主要因子, 对太

原盆地土壤地球化学特征进行分析。

1 太原盆地地质概况

太原盆地为新生代断陷盆地, 断陷的基底大部分为三叠系, 局部为二叠系、石炭系 (如太原以西、孝义以西)、奥陶系、寒武系、前长城系 (如汾阳以北、介休以南), 个别地段为侏罗系以及燕山期石英二长岩体 (如太谷县胡村、祁县一带)。盆地的沉积层自上新世至全新世, 属边裂、边陷、边沉积型, 其边缘地带曾经有一些短暂的间断, 但凹陷中心基本保持了河湖相的连续沉积。新生代地层北西侧厚、南东侧薄, 清徐西谷、太原以西及南郊一带, 新生界厚度大约为 2570 m, 祁县附近存在一个基岩隆起带, 此带新生界厚度仅 200~300 m, 其它地区 1000 m 以上, 清徐一带最厚约 3800 m。盆地基底表面起伏不平, 其中的新生代沉积具有分布广、厚度大、岩性复杂、岩相及成因类型多等特点。

边山区分布的区域地层走向西部主要为 NW、东部主要为 NE, 倾向 NE 或 NW、SE, 有由四周向中心倾斜趋势, 倾角多在 5°~20°, 由西向东由陡变缓。断裂构造主要发育在东部及西北部, 以走向 NE、NNE 向平行排列的高角度断裂带为主, 次为 NW 向断裂带。盆地区新生代松散沉积物覆盖之下, 分布有隐伏的 NE 以及近 EW 向断裂构造。

边山地区和断陷盆地的沉积环境截然不同, 边

[收稿日期] 2003-12-01; **[修订日期]** 2004-03-26; **[责任编辑]** 曲莉莉。

[基金项目] 中国地质调查局项目 (编号: 200314200020) 资助。

[第一作者简介] 李德胜 (1962 年-), 男, 1983 年毕业于中南矿冶学院, 获学士学位, 在读博士生, 教授级高级工程师, 现主要从事矿床地质、矿产勘查工作。

山地区分别沉积于山间河谷的河床、河漫滩、冲沟、洪积扇等环境,盆地则主要为山前洪积倾斜平原(洪积扇)与平原地区的河流、湖泊等沉积环境,局部尚有扇间洼地及冲、洪积交接洼地等。

盆地边山与平原区为截然的断陷接触关系,这种构造特征控制了盆地内的物质迁移转化规律。在盆地外围的边山丘陵区,是覆盖很厚的风成亚砂黄土(Q_3),土壤发生学分类归为石灰性褐土,基岩出露很少,土质疏松,遭受冲刷严重。在边山与平原的断陷接触带,基岩出露比较充分,从北到南依次出露寒武、奥陶、石炭、二叠、三叠系以及少量古老杂岩(其中石炭系、二叠系为煤系地层),因遭受剥蚀比较强烈,这些基岩成分随洪积作用流迁到山前地带,改变了那里的土壤成分,形成一套亚沙粘土,土壤发

生学分类归为褐土性土。到平原区的地质营力以汾河水系作用为主,造就了一套河流相黄褐色亚砂土、亚粘土冲积平原(Q_4),土壤发生学分类归为潮土。

2 土壤微量营养元素

土壤中的 Fe、Mn、Cu、Zn、Mo、B 是植物正常生长发育必需的微量营养元素,它们多是组成酶、维生素和生长激素的成分,直接参与有机体的代谢过程,对农作物的品质有着重要的影响作用。

太原盆地土壤中微量营养元素 Fe、Mn、Cu、Zn、Mo、B 的平均含量见表 1,表中同时列出了这些元素在山西省土壤^[1]、全国黄土^[1]、全国土壤^[2]、世界土壤^[3]中的平均含量。

表 1 土壤微量营养元素含量对比

$\omega_B/10^{-6}$

元素名称	B	Mn	Fe	Cu	Zn	Mo
太原表层土壤 ¹	17.0 ~ 86.0 47.07	320 ~ 835 580.1	2.13 ~ 4.62 3.09	15.8 ~ 74.5 24.402	56.9 ~ 117 72.029	0.34 ~ 3.52 0.700
太原深层土壤 ¹	21.0 ~ 76.0 45.451	371 ~ 778 567.2	2.43 ~ 4.37 3.025	14.1 ~ 45.4 21.463	44.5 ~ 95.0 61.438	0.30 ~ 1.55 0.581
山西省土壤	40.9	503.3	2.01	18.43	88.62	0.546
全国黄土	60.700	532	2.91	21.700	68.700	0.580
全国土壤	64.01	710	3.01	22.1	100	1.7
世界土壤	60	850	3.8	20	50	2
表层变差系数/%	20.0	10.0	10.4	75.4	22.5	31.6
深层变差系数/%	19.7	9.4	9.5	14.1	11.7	22.0

注:¹,上部为含量范围;下部为平均值。分析方法:B,ES;Mn、Fe、Cu 和 Zn,XRF;ICP-MS;Mo,ICP-MS

分析测试单位:江苏省地调院测试研究所,2003 年。

太原盆地土壤中上述元素都服从正态分布,因此本次计算的平均值使用算术平均值。

通过表 1 的比较分析认为,微量营养元素在深层的平均含量,除 Fe 以外,均低于全国土壤的平均值,其中 Zn、Mo 较为显著。在表层土壤中,Cu、Fe 平均含量略高于全国土壤平均值,而 Mn、Zn、Mo、B 含量则都低于全国土壤平均值。与世界土壤相比,太原盆地土壤中除 Cu、Zn 以外,Fe、Mn、Mo、B 的深层和表层土壤中平均含量都低于世界土壤平均值。太原盆地与山西省土壤微量元素的平均含量相比则出现相反趋势,除 Zn 以外,Fe、Mn、Cu、Mo、B 在太原盆地深层和表层土壤中都较山西省土壤平均值要高。与我国黄土区土壤微量元素平均含量比较,除 B 的含量较低以外,Fe、Mn、Cu、Zn、Mo 在深层、表层土壤中含量都高出全国黄土区的平均值(深层 Cu 略低)。太原盆地表层土壤中微量元素的平均含量均比深层土壤中高。

太原盆地土壤中微量营养元素与全国和世界土壤相比,趋于缺乏状态。这也是黄土高原重要的、普遍性的地球化学特征。它是由黄土的成因决定的,即黄土来源于风成,长距离迁移以轻、浅色矿物为主,所成土壤成分单一,多数元素处于缺乏状态。

与山西省和全国黄土区相比较,太原盆地土壤的微量元素含量又普遍高出,只有 Zn 在深层中的含量略低于山西省土壤的平均含量,这是太原盆地自身地球化学特征的特殊性。这种特性与盆地的构造特征有关:太原盆地是一个断陷盆地,盆地边缘基岩出露比较充分,切割强烈,基岩物质补充较多,加之盆地周围出露石炭系含煤地层,煤系地层中各种丰富的元素会大量被带出和补充到冲积平原中。

太原盆地深层和表层相比,这些微量元素的表层含量普遍高出深层含量,地表因素(包括人为生产活动和自然作用)对太原盆地土壤中微量元素的原始地球化学特征有明显改变,结合含量与变差系

数看,Cu 的改变最为显著,在土壤表层发生较为明显的富集。这种特点仍然与太原盆地周边的煤有因果关系,盆地北、西、南边部煤层的开采、炼焦、发电、运输等,对太原盆地地表的改造作用很大(如 Cu 就是煤系地层中含量相对较高的一个元素),此外来自其他方面的影响如工业污水排放、生活污水、农业施肥等对地表都有影响。

3 有害重金属元素

重金属元素相对较难在土壤中发生迁移,因为土壤条件对它的固定具有普遍性,因此,当重金属输入土壤后,总是停留在表土或亚表土,很少迁入底层。这一现象成为土壤是否受到重金属污染的一种

鉴定特征。

太原盆地土壤中有害重金属元素含量特征见表 2,同时列出了太原盆地基准值和深层表层的变差系数及相关比值。

基准值的计算是对深层(第一环境)值剔除大于和小于平均值加三倍离差之和以后的数值所得的算术平均值,代表原始背景水平^[5]。

$K_1 = \text{表层平均值} / \text{深层平均值}$

$K_2 = \text{表层平均值} / \text{基准值}$

$K_3 = \text{表层变差系数} / \text{深层变差系数}$

太原盆地土壤重金属元素在全域表层的正态分布特征见图 1(原始值正态分布)。

表 2 有害重金属元素含量对比

$\omega_B / 10^{-6}$

元 素	As	Cd	Cr	Hg	Pb
表层平均值 ¹	5.51 ~ 16.3 10.803	0.081 ~ 0.66 0.143	43 ~ 158 68.262	0.010 ~ 7.31 0.092	13.5 ~ 60.2 23.698
深层平均值 ¹	5.3 ~ 14.3 10.143	0.06 ~ 0.36 0.108	39.8 ~ 84.0 64.918	0.012 ~ 0.37 0.029	12.3 ~ 34.9 19.904
基 准 值	10.511	0.105	64.999	0.021	19.758
表深比值(K_1)	1.07	1.32	1.05	3.17	1.19
衬 值(K_2)	1.03	1.36	1.05	4.38	1.20
表层变差系数 $C_{V1} \%$	17.8	27.9	51.5	596.0	24.1
深层变差系数 $C_{V2} \%$	20.0	24.5	9.6	81.6	12.9
变差系数比值(K_3)	0.89	1.12	5.36	7.30	1.86

注: ¹,上部为含量范围;下部为平均值。分析方法:As, HG - AFS; Cd, DF - AAS, ICP - MS; Cr, XRF, ICP - AES; Hg, CV - AFS; Pb, ICP - MS, AAS

分析测试单位:江苏省地调院测试研究所,2003 年。

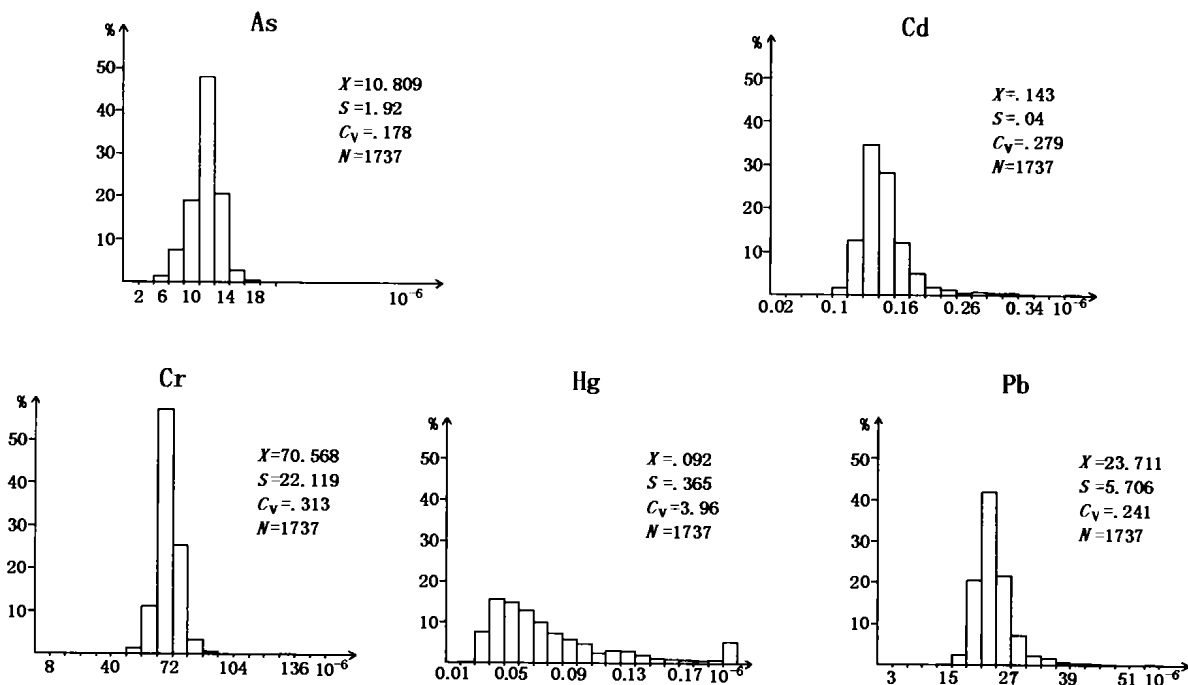


图 1 太原盆地土壤重金属元素正态分布图

通过对表2及图1的分析可认为,五大有害重金属元素在地表的平均含量均高出深部第一环境的平均值,也高出原始背景基准值。其中Hg在地表的富集程度最高,已经高出深部(第一环境)3倍之多,其次为Cd和Pb。

按照地表富集程度(K_1 与 K_2)排序依次为:Hg - Cd - Pb - Cr - As;按照表层变差系数($C_{v1}\%$)大小排序依次为:Hg - Cr - Cd - Pb - As;按照深层变差系数($C_{v2}\%$)大小排序依次为:Hg - Cd - As - Pb - Cr;按照表深变差系数比值(K_3)排序依次为:Hg - Cr - Pb - Cd - As。

除As外,Hg、Cd、Pb、Cr都出现了不同程度的右偏,Hg出现一个右偏主峰和两个小峰,Cd出现一个右小峰,Cr则表现为高度集中。

Hg元素在地表已发生了高度叠加富集,是太原盆地土壤中最为突出的一个有害元素。它在表层土壤中的含量为 $0.010 \times 10^{-6} \sim 7.31 \times 10^{-6}$,平均值为 0.092×10^{-6} ,是深层土壤的3倍。结合分布曲线与变差系数看,属多源且集中程度很高。Hg有可能来自地下,但燃煤仍然是它的一个重要来源,多项资料显示,太原盆地煤系地层中Hg含量显著高出。

Cd与Hg有相似的趋势,地表富集已经很明显,也是多源的,但集中程度低,对盆地地表土壤的影响有一定的普遍性。从太原市环保部门的调查结果显示,汾河中Cd的含量超标现象一直没有明显改变。太原盆地污水灌溉比较普遍,可能是导致Cd相对富集一个不可忽视的原因。

Pb地表叠加程度也较高,从分布图与变差系数看,形成局部小范围的集中。Pb在地表的总体富集程度不高,从深表变差系数之比看,在地表的集中程度已经很高,集中范围有限,汽车尾气可能是一个主要的污染源。

As在太原盆地地表还没有形成明显的富集,它的存在仍以自然形态为主,但在局部磷肥的不合理

施用,仍有可能造成土壤中As的超量。

Cr的来源可能主要与电镀工业有关,在盆地中的太原市、榆次市等地,分布有几个大型电镀厂,由于Cr地表迁移能力不是很高,所以会造成局部高度集中的状况。

4 结 论

1)太原盆地作为黄土高原的一个典型单元,其土壤与全国和世界土壤相比,作物必需的微量营养元素含量处于普遍缺乏状态,其中Zn为显著缺乏。另一方面,太原盆地有其自身特点,即这些微量营养元素含量与全国黄土和山西土壤相比相对较高(除Zn以外)。

2)作物必需微量营养元素和有害重金属元素,在太原盆地表层都有明显的富集趋势,使太原盆地土壤原有的地球化学特征发生了明显的变化。

3)Hg、Cd、Pb对太原盆地土壤的叠加影响已经十分显著,Hg尤为突出。因此,进一步研究Hg、Cd、Pb、Cr局部富集的成因及其对太原盆地土壤环境乃至对汾河、黄河水质的影响作用应是今后工作的重点。

[参考文献]

- [1] 刘耀宗,张经元.山西土壤[M].北京:科学出版社,1992,320~333.
- [2] 熊毅,李庆远.中国土壤(第二版)[M].北京:科学出版社,1987,517~536.
- [3] Davies B N. Applied Soil Trace Elements[M]. New York: John Wiley Sons, 1980.
- [4] [法]H奥贝尔, M潘塔.土壤中的微量元素(刘铮,朱其楚,等译)[M].北京:科学出版社,1982.
- [5] 中国地质调查局.覆盖区多目标地球化学调查暂行规定(DD2002)[R].2002,13~14.
- [6] 陈德兴,邵器行.环境地球化学研究现状与发展[J].地学前缘.1996,3(1-2):119~125.
- [7] 王徽.生态环境地球化学的研究进展[J].地质与勘探,2001,37(5):67~70.

GEOCHEMICAL CHARACTERS OF TRACE ELEMENTS OF SOIL FROM THE TAIYUAN BASIN

LI De-sheng^{1,2}, YANG Zhong-fang¹, JIN Zhi-bin²

(1. China University of Geosciences, Beijing 100083; 2. Geological Survey of Shanxi Province, Taiyuan 030001)

Abstract: Based on analyzing the contents of trace nutritive elements of Fe, Mn, Cu, Zn, Mo and B and harmful heavy metallic elements of As, Cd, Cr, Hg and Pb in soils of the Taiyuan basin, It is pointed out the trace nutritive elements in soils of the Taiyuan basin are in lacking level compared with the average world and China's soils, and higher than the average contents of the Shanxi province's soils and Chinese loess. It has been also found that obvious enrichments of harmful heavy metal elements in top-soils of the Taiyuan basin, which could cause great changes of the original geochemical features of soils. Environmental damaging caused by Hg, Cd, Pb in the Taiyuan basin should be paid more attention.

Key words: geochemical character, trace nutritive element, damaging heavy metallic element, soil, Taiyuan basin