

河北平原表层土壤重金属环境质量及污染评价

郭海全 杨志宏 李宏亮 马文静 任久峰

(河北省地质调查院, 河北 石家庄 050081)

摘要:土壤环境质量评价是了解土壤环境质量状况、采取保护措施的重要前提,本文用土壤环境质量标准(GB15618-1995),对河北平原表层土壤重金属环境质量进行了评价,结果表明:河北平原表层土壤环境质量优良,一、二级土壤分别占全区 93.02%和 6.62%。同时又根据重金属元素的环境地球化学行为,采用富集因子,有效地区分了重金属污染的自然影响和人为影响,结果显示,河北平原表层土壤人为污染的面积较大,但以轻微污染为主。

关键词:表层土壤环境质量;富集因子;重金属污染;河北平原

中图分类号:P595 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2011)01-0218-08

土壤环境质量评价是了解土壤环境质量状况、采取保护措施的重要前提,土壤重金属污染是当今环境科学研究的重要内容^[1],土壤中重金属元素主要有自然来源和人为输入两种途径。在自然因素中,成土母质和成土过程对土壤重金属含量的影响很大^[2]。在各种人为因素中,则主要包括工矿业、农业和交通等来源引起的土壤重金属污染^[3]。

河北平原土地平坦,光热充足,引水便利,交通方便,盛产粮棉和果品。平原及周边山区的矿业开发以铁矿、煤矿、石灰石矿为主;工业生产以钢铁冶金、化工等为主。工矿开发和生产建设造成了一定的环境灾害、环境污染和生态破坏^[4,5]。另外受长期施肥、灌溉及交通的影响,含重金属的污染物通过各种途径进入土壤,使土壤中重金属元素含量发生了明显变化。

本文根据土壤环境质量标准(GB15618-1995)对河北平原表层土壤的重金属 Cu、Pb、Zn、As、Cd、Hg、Cr、Ni 的环境质量做出了评价;同时又根据重金属元素的环境地球化学行为,采用富集因子来判别表生过程中重金属元素的人为污染情况。

近年来,人们开始重视自然异常和人为异常的分离和判别研究,并提出了不同的方法,如采用局部

最小二乘分析方法从自然异常中分离出人为异常^[6];通过稳健地质统计学方法分离背景和异常^[7];通过元素的环境行为和地球化学特征判别人为异常^[8,9];通过污染灰色聚类法^[10,11]、地积累指数法^[12]等来判别人为重金属污染。目前国内外此方面的研究大多针对典型市区^[13-17]或矿区^[18-22]等重金属污染较重的地区进行,缺少背景区(无污染区)的数据支撑与对比;或是用稀疏样品控制并参照土壤环境质量标准进行比对研究来确定重金属的人为污染状况^[23],没有考虑本地区的成土母质的区域地球化学背景值。

本文利用河北省农业地质调查的大密度的表层及深取土壤取样成果,对整个河北平原区内的表层土壤进行污染评价。根据重金属元素的环境地球化学行为,以该评价单元(每 4 km² 为 1 个评价单元)所对应的深层土壤样品的分析值为地球化学背景,采用富集因子来判别表生过程中重金属元素的人为污染情况,并探索重金属人为污染的有效评价方法。

1 土壤样品采集与测试

1.1 样品采集

土壤表层样品取样深度 0~20 cm、1 km² 采集 1 个单样,4 km² 组合成 1 个分析样,共分析测试本区

收稿日期:2010-02-23;改回日期:2010-06-07

基金项目:中国地质调查局地质大调查项目(200414200007)资助。

作者简介:郭海全,男,1968年生,硕士,高级工程师,长期从事环境地球化学及矿产勘查工作;E-mail:ghq0310@163.com。

表层土壤样品 20029 件(取样面积 80116 km²);深层样品按照采样深度 150~180cm、4 km² 采集 1 个单样、16 km² 分析 1 个组合样的工作网度,共分析测试 5056 个样品。上述表、深层样品的采样时间为 2005 年 4 月—2006 年 5 月,由河北省地质调查院组织,多家地勘单位配合完成。

1.2 样品分析

样品分析测试由河北省地矿中心实验室承担。Cu、Pb、Zn、Ni、Cr 用 X 荧光光谱法 (XRF);Cd 用 KI-MIBK 萃取-火焰原子吸收法 (AAS);Hg、As 用氢化物发生-原子荧光法 (AF)。以国家一级土壤标准物质 (GBW 系列) 进行准确度 and 精密度监控,按比例随机检查和异常点抽查进行样品分析质量监控,以重复采样、重复分析来评定采样和分析误差是否对区域地球化学变化有显著影响。

2 土壤重金属环境质量评价

2.1 评价指标

以中国土壤环境质量标准 (GB15618-1995) 所列的 8 个重金属元素,即 Cd、Hg、As、Cu、Pb、Cr、Zn、Ni 作为评价指标。

2.2 评价标准

采用中国土壤环境质量标准 (GB/T15618-1995) 中的重金属含量限定值作为评价标准,具体标准的选择需考虑不同的 pH 值分区以及水田、旱地、果园等不同的用地类型。具体评价标准见表 1。

2.3 单指标评价指数及等级划分

按如下公式计算评价指数:

$$P_i = C_i / S_1 \quad C_i \leq S_1$$

$$P_i = 1 + (C_i - S_1) / (S_2 - S_1) \quad S_1 < C_i \leq S_2$$

$$P_i = 2 + (C_i - S_2) / (S_3 - S_2) \quad S_2 < C_i \leq S_3$$

$$P_i = 3 + (C_i - S_3) / S_3 \quad C_i > S_3$$

式中, P_i 为元素 i 的评价指数; C_i 为元素 i 在土壤或沉积物中的含量,即多目标调查中表层土壤组合样的含量; S_1 、 S_2 、 S_3 分别为元素 i 的土壤一级、二级、三级环境质量标准值。在不同的 pH 值区间、不同的用地类型内,分别采用表 1 中的不同标准值。

土壤环境质量反映了土壤降低污染物和病菌损害的能力。在环境质量评价的基础上,对评价区内的土壤功能进行界定。因此,环境质量采用四等级划分,前三级分别对应于相应的环境质量标准。具体分

级标准见表 2。

2.4 单指标评价结果

8 个重金属元素各等级面积所占百分比 (表 3) 显示:各元素的一级土壤面积在 93.32%~99.02%,在整个河北平原区,一级土壤面积占绝对多数,广泛分布于整个河北平原区,故以下只讨论各元素二、三、超三级土壤的分布特征。

镉:二、三级的土壤面积百分比分别达到 5.26% 和 0.34%。河北平原区内 Cd 二级土壤总面积达 4216 km², 276 km² 的面积已达 3 级,有 144 km² 的区域超过了 3 级土壤环境质量标准,是 8 个重金属元素中超 3 级土壤分布面积最大的元素。

Cd 的土壤环境质量下降的区域除分布于大中城镇外(主要出现在石家庄市和邯郸市),其余绝大部分位于存在污染源的农田,二、三级土壤连续分布面积最大的区域有 3 处:①唐山市南 55 km 的丰南县至唐海县的水稻田;②石家庄市洺河两岸;③白洋淀洼内的臧村镇至铜口镇以及雄县的史各庄镇至霸州市的信安镇。另外,在衡水市至青县的沧县台拱内土壤下降趋势也较明显,二级土壤分布区域虽不连续,但累计面积较大。

汞: Hg 的二级土壤质量累计面积为 752 km², 占河北平原总面积的 0.94%,均分布于大中城镇,尤

表 1 土壤环境质量评价标准 (mg/kg)
Table 1 Environmental quality assessment standard for soils

级别		一级	二级			三级
pH 值		自然背景	<6.5	6.5~7.5	>7.5	>6.5
镉 ≤		0.2	0.3	0.3	0.6	1
汞 ≤		0.15	0.3	0.5	1	1.5
砷 ≤	水田	15	30	25	20	30
	旱地	15	40	30	25	40
铜 ≤	农田等	35	50	100	100	400
	果园	—	150	200	200	400
铅 ≤		35	250	300	350	500
铬 ≤	水田	90	250	300	350	400
	旱地	90	150	200	250	300
锌 ≤		100	200	250	300	500
镍 ≤		40	40	50	60	200

表 2 土壤环境质量评价分级表(据 GB15618-1995)
Table 2 Grades of environmental quality assessment (according to GB15618-1995)

级别	一	二	三	超三
P_1 (或 P)	P_1 (或 P) ≤ 1	$1 < P_1$ (或 P) ≤ 2	$2 < P_1$ (或 P) ≤ 3	P_1 (或 P) > 3
分级标准	为保护区域自然生态,维持自然背景土壤环境质量的限制值	为保障农业生产,维护健康的土壤限制值	为保障农林业生产和植物正常生长的土壤临界值	
土壤功能	土壤质量基本上保持自然背景水平,可用于国家规定的自然保护区(原有背景重金属含量高的除外)、集中式生活饮用水源地、茶园、牧场等	土壤质量基本上对植物和环境不造成危害和污染,主要适用于一般农田蔬菜地、茶园、果园、牧场等	土壤质量基本上对植物和环境不造成危害和污染。主要适用于林地土壤及污染物容量较大的高背景值土壤和矿产附近等地的农田土壤等	超过农林业生产和植物正常生长的土壤临界值,不适用于农林业生产

表 3 河北平原土壤重金属环境质量各等级面积百分比(%)

Table 3 Chart of each grade area percentage of heavy metal environment quality in topsoil of Hebei plain (%)

级别	一	二	三	超三
Cd	94.21	5.26	0.34	0.18
Hg	99.02	0.94	0.02	0.02
As	97.65	2.31	0.02	0.01
Cu	95.83	4.02	0.15	
Pb	98.98	1.02		
Cr	97.84	2.06	0.08	0.01
Zn	97.71	2.19	0.07	0.03
Ni	93.32	6.08	0.6	0.005

其是保定市和邢台市,其次是石家庄市、正定县及藁县,其他地区的二级土壤均呈星点状分布。全区达到三级和超三级土壤的面积各有 12 km²,但均呈单点状分布。

砷:As 二级土壤质量的面积为 2.31%, 全区有 20 km² 达到三级, 仅有 8 km² 超过三级土壤质量标准。As 的二级土壤分布区域明显受地貌控制, 几乎均分布在粘土质的平原区洼地内, 主要出现在以下 3 个区域:①衡水市的武强县至沧州青县的河道带, 该区面积较大, 但二级土壤分布面积不连续;②白洋淀洼内的臧村镇至铜口镇、雄县的史各庄镇以及霸州市的信安镇;③唐山玉田县的杨家板桥镇。此外, 在邯郸、邢台东部地区, 亦零散分布有二级土壤。

铜:Cu 的二级土壤质量区域主要出现在 3 个区域:①平原区的低洼地及潟湖沉积相的土壤中, 如白

洋淀洼地、宁晋洼、大陆泽、永年洼及唐山与天津接壤部位潟湖沉积相的砂姜黑土中;②山区与平原区接壤部位的铁矿集区, 如邯郸的武安铁矿区、遵化及迁安北部的铁矿集区;③葡萄园区, 如昌黎县北至抚宁县一带的葡萄种植区。其中在白洋淀洼地的清苑县与安新县交界处的臧村镇—铜口镇、昌黎县北部至卢龙县的葡萄园种植区内的土壤质量已降至 3 级, 但累计面积仅 120 km², 只占平原区土壤面积的 0.15%。

铅:全区未出现三级土壤。Pb 的二级土壤质量区域内具有明显的人为踪迹, 主要分布在 4 个区域:①大中城镇, 如石家庄市、保定市、邢台市、邯郸市、唐山市、辛集市、遵化市、高碑店市、青县、赵县等;②存在强烈 Pb 污染源的区域, 如保定市臧村镇至铜口镇一带的铅锌小冶炼厂密集分布的区域;③开滦煤矿集区的古冶镇;④昌黎县北部的葡萄园区。除保定市臧村镇至铜口镇及石家庄市的二级土壤面积较大之外, 其余二级土壤质量区域的面积均较小, 或呈单点状分布。因此, 河北平原区内 Pb 元素的土壤环境质量具有两大特征:一是土壤环境质量较好, 二是受人为活动影响特征显著。

铬:Cr 的各级别土壤质量分布特征明显不同于以上各元素, 二级土壤质量的面积百分比为 2.06%。二、三级土壤主要出现在唐山遵化市以及迁安至卢龙一带的铁矿山及铁选厂密集区, 整个遵化盆地几乎均为二级土壤。除此之外, 在保定北部定兴县的北河镇、保定东部的高阳县北部及新安县、石家庄市南部洮河两岸、宁晋洼及大陆泽洼地内也有二级土壤分布。三级土壤集中分布在唐山市的铁矿集区, 累计面积为 68 km²。

锌:Zn 的二级土壤分布面积较大的区域出现在

保定市及其东部的臧村镇—铜口镇、石家庄市、邯郸市、衡水市,白洋淀洼地中的史各庄镇、胜芳镇、唐山与天津接壤部位的砂姜黑土中二级土壤面积之和也较大,但连续性不好。其他区域的二级土壤面积较小或呈单点状分布。三级土壤主要出现在大中城市及存在 Pb 污染源的区域,其中,保定市臧村镇至铜口镇一带的铅锌小冶炼厂密集分布区内三级土壤面积达 52 km²,其中有 28 km² 超过了三级土壤质量标准。

镍: Ni 的二、三级土壤质量面积分别为全区的 6.08% 和 0.6%。Ni 的二级土壤分布区域较为集中,绝大部分分布于唐山地区,尤其是在遵化市以及迁安至卢龙一带的铁矿山及铁选厂密集区内,几乎均为二级土壤,在绝大多数微量元素缺乏的滦河古河道内,却有较大面积的 Ni 二级土壤分布。在京津南平原区,二级土壤主要分布于低洼地,如白洋淀洼地内的臧村镇至铜口镇、雄县的史各庄镇以及霸州市的信安镇;宁晋洼及大陆泽洼地。Ni 的三级土壤面积高达 480 km²,主要分布于唐山的铁矿集区,特别是遵化盆地几乎均为三级土壤。然而,Ni 三级土壤的出现并非是由其含量特别高所致,而是由于该区偏低的 pH 值 (<6.5),根据表 1 的分级标准,在此种 pH 值条件下,Ni 含量超过 40 mg/kg 即达到三级。作为铁族元素之一的 Ni 元素,在铁矿产区环境中

的含量较高,在 pH 值偏低条件下出现较大面积的三级土壤。

2.5 内梅罗综合指数评价

内梅罗指数是一种兼顾极值或称突出最大值的计权型多因子环境质量指数。内梅罗指数特别考虑了污染最严重的因子,内梅罗环境质量指数在加权过程中避免了权系数中主观因素的影响,是目前仍然应用较多的一种环境质量指数。

采用内梅罗综合指数法,其计算公式为:

$$P_i = \sqrt{\frac{(P_i)^2 + (P_{i\max})^2}{2}}$$

P_i 为综合评价指数, P_i 为元素 i 的单指标评价指数, $P_{i\max}$ 为同一样品中参评元素单指标指数最大值。土壤环境质量反映了土壤降低污染物和病菌损害的能力。在环境质量评价的基础上,对评价区内的土壤功能进行界定。根据 P 值的大小,按表 2 中的级别划分原则进行土壤等级划分和功能界定。

根据上述 8 个元素的内梅罗综合评价指数,河北省平原区一、二、三、超三级土壤面积分别占全区的 93.02%、6.62%、0.31% 和 0.05%,各级土壤质量分布见河北平原土壤环境质量分布图(图 1)。

二级土壤主要分布在冀东北部地区,尤以唐山

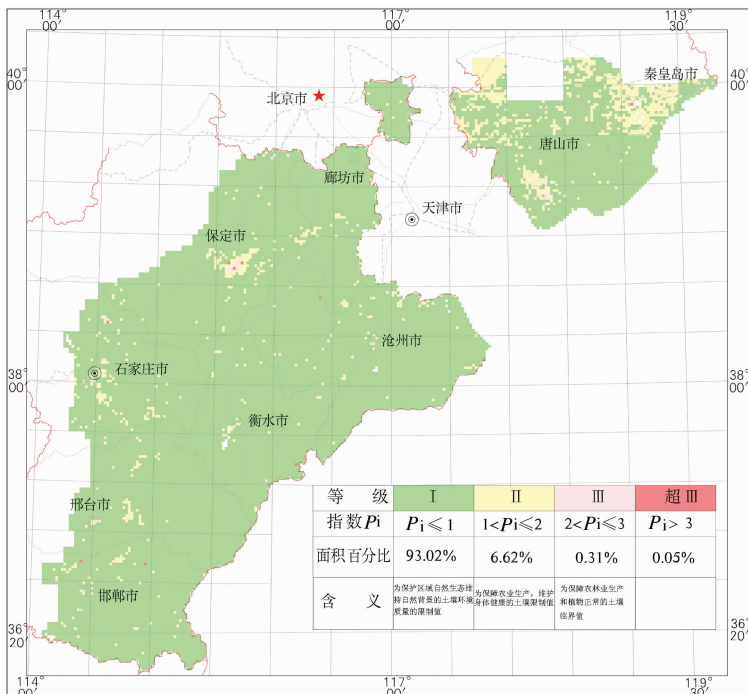


图 1 河北平原表层土壤环境质量分布图

Fig.1 Distribution of environmental quality in topsoil of Hebei plain

铁矿集区、秦皇岛西部(昌黎县、卢龙县抚宁县)及唐海县最为突出,二级土壤面积大,且连续分布。京津南平原区,二级土壤主要分布在平原区低洼地、大中城镇及存在污染源的区域,如白洋淀洼地内的臧村镇至铜口镇、雄县的史各庄镇以及霸州市的信安镇;宁晋洼及大陆泽等地,石家庄市及其南部的洺河两岸、衡水市、邢台市、行唐县等,其他区域多呈零星的散点状分布。

三级土壤总面积为 252 km²,集中分布在唐山地区的唐海县及保定市东部白洋淀洼地内的臧村镇至铜口镇。

超三级土壤面积总计仅为 40 km²,全区只有 10 个样点超过了三级土壤环境质量标准,且呈孤点状分布。

3 基于富集因子的人为污染评价

3.1 富集因子的概念

富集因子(Enrichment Factor)是评价人类活动对土壤及沉积物中重金属富集程度影响的重要参数^[24],据此可以区分土壤及沉积物中重金属富集的自然和人为的环境影响。不同学者赋予富集因子不同的名称,如富集系数^[25]、富集因子^[26]和富集比率^[27,28]等。富集因子的基本含义是将研究区研究对象样品中元素的浓度与几乎未受人类活动影响的土壤中元素的浓度进行对比,以此来判断表生环境介质中元素的人为污染状况,为了减小环境介质以及采样制样过程对元素浓度的影响,富集因子的计算常引入参比元素进行标准化,用作标准化的参比元素常选择表生过程中地球化学性质稳定的元素,如 Al、Ti、Sc、Zr 等。富集因子的计算公式可表示为^[29,30]:

$$EF = \left[\frac{(C_i/C_n)_{sample}}{(C_i/C_n)_{baseline}} \right]$$

表 4 富集因子分级表^[31]

Table 4 Grades of enrichment factors

EF	级别	污染程度
<2	1	EF<1 为无污染, 1<EF<2 为轻微污染
2~5	2	中度污染
5~20	3	显著污染
20~40	4	强烈污染
>40	5	极强污染

C_i 为元素 i 的浓度; C_n 为标准化元素的浓度; sample 和 baseline 分别表示样品和背景。

根据富集因子的大小, Sutherland(2000)将元素的污染程度分为 5 个级别^[31](表 4)。

3.2 富集因子的改进

富集因子的计算还可以采用表层样品的测定值与深层样品的比来评价土壤及沉积物中重金属的污染状况^[32],即对富集因子(EF)加以修正,采用 CEF (Cultural Enrichment Factor), CEF 可表示为^[33]:

$$CEF = \left[\frac{(C_i/C_n)_{surface}}{(C_i/C_n)_{deep}} \right]$$

C_i 为元素 i 的浓度; C_n 为标准化元素的浓度。

surface 和 deep 分别表示表层样品和深层样品。CEF 值是表征表层土壤受扰动程度的重要指标, CEF>1 表明表层物质受到了人为影响,并且 CEF 值越大,受到的影响越大; CEF<1 表明表层物质没有受到人为影响。

以每 4 km² 有 1 个表层土壤元素含量,将该含量作为该范围内表层土壤的元素含量,以其所对应的 16 km² 内深层土壤元素含量作为其深部土壤元素含量值,1 个深层数据一般重复使用 4 次。以 Zr 作为标准化元素,共得到研究区土壤每个元素的 20029 个富集因子值,计算得到的各 CEF 数值段的样品数见表 5。

3.3 人为污染分级

由根据表 4 中给定的富集因子及污染级别,计

表 5 河北平原表层土壤重金属元素的富集因子
Table 5 Enrichment factors of heavy metals in topsoil of Hebei plain

样品数	1 级	2 级	3 级	4 级	5 级	
	CEF≤1	1<CEF<2	2<CEF<5	5<CEF<20	20<CEF<40	CEF>40
	无污染	轻微污染	中度污染	显著污染	强烈污染	极强污染
As	11426	8091	510	2		
Cd	3758	13213	2932	124	1	1
Hg	1825	6711	9863	1593	26	11
Cr	11592	8272	163	2		
Cu	9633	9563	804	29		
Ni	12487	7293	248	1		
Pb	7718	11910	392	8	1	
Zn	8312	11152	551	13	1	

算得出的河北平原表层土壤重金属污染数据及级别见表 5。As、Cd、Hg、Cr、Cu、Ni、Pb、Zn 等 8 个元素没有受到人为污染 ($CEF < 1$) 的样点个数分别为 11462、3758、1825、11592、9633、12487、7718、8312; 受到 1 级轻微污染 ($1 < CEF < 2$) 的样点个数分别为 8091、13213、6711、8272、9563、7293、11910、11152; 受到 2 级中度污染 ($2 < CEF < 5$) 的样点分别为 510、2932、9863、163、804、248、392、551; 受到 3 级显著污染 ($5 < CEF < 20$) 的样点分别为 2、124、1593、2、29、1、8、13; 受到 4 级强烈污染 ($20 < CEF < 40$) 及 5 级极强污染 ($CEF > 40$) 的点数极少。

3.4 重金属人为污染现状分析

从以上分析可见,该区表层土壤中 As、Cd、Co、Cr、Cu、Ni、Pb、Zn 等 8 个元素未发生污染 ($CEF < 1$) 的分别占全部样品的 57.0%、18.8%、9.1%、57.9%、48.1%、62.3%、38.5%、41.5%。

该区表层土壤中发生了 1 级轻微的重金属污染 (按 $1 < CEF < 2$ 统计) 的面积较大, 占总面积的 33.5% (Hg) ~66.0% (Cd); As、Cr、Cu、Ni、Pb、Zn 有 1%~5% 的少部分区域发生了 2 级中度以上重金属污染; Cd、Hg 达到中度污染的面积分别为河北平原总面积的 14.7% 和 49.6%, 达到 3 级显著污染级别以上分别为 1.1% (880 km²) 和 12.6% (10080 km²), 河北平原表层土壤重金属主要污染区见图 2。

重金属污染主要是由矿业开采 (如:冀东北部的铁矿集区)、工业生产 (如:白洋淀及周边的小冶炼厂集中区)、污水灌溉 (如:唐海县的 Cd 异常、石家庄及其南部的洮河两岸的多金属异常) 以及燃煤和冶金烟尘 (如:大中城镇的 Hg 异常) 等引起的。这与采用其他方法得到的污染特征一致^[34-38]。

4 结论

按土壤环境质量标准 (GB15618-1995): 河北平原重金属环境质量优良, 一、二、三级土壤面积分别占全区的 93.02%、6.62%、0.31%, 即 93.02% 的土地面积基本上保持自然背景水平, 可用于国家规定的自然保护区 (原有土壤重金属含量高的地区除外)、集中式生活饮用水源地、茶园、牧场等; 99.64% 的土地优于及达到二级土壤质量标准, 适用于一般农田蔬菜地、茶园、果园、牧场等。

河北平原表层土壤的 CEF 的计算表明, 河北平原已有相当大的区域发生了轻微重金属污染; Cd、

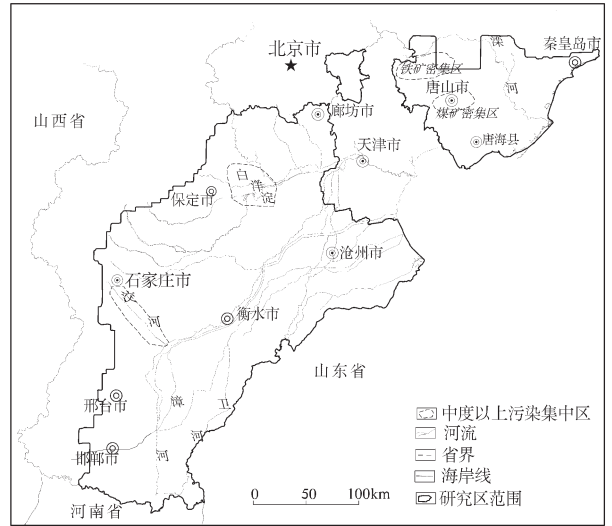


图 2 河北平原表层土壤重金属主要污染区示意图

Fig.2 Schematic diagram of main heavy metal pollution in topsoil of Hebei plain

Hg 发生中度污染以上的区域也较大, 分别为 12232 km² 和 45972 km², 其他重金属元素中度以上污染的面积很小 (660~3332 km²); 污染主要分布在工矿区等人为影响比较强烈的地区。

由于河北平原表层土壤中重金属含量较低, 多数元素明显低于全国土壤均值, 因此按全国土壤环境质量标准 (GB15618-1995) 来评价时, 土壤环境质量很好。但其表层土壤依其对应的深层 (似背景值) 作为参照系来评价时, 还是有相当大的区域发生了不同程度的重金属人为污染, 因此今后要重视土壤重金属人为污染问题, 采取积极的恢复治理措施, 以防止土壤质量进一步退化。

参考文献 (References):

- [1] 王学松, 秦勇. 徐州城市表层土壤中重金属元素的富积特征与来源识别[J]. 中国矿业大学学报, 2006, 1(35):84-87.
Wang Xuesong, Qin Yong. Accumulation and identification of heavy metals in Xuzhou urban topsoil [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2006, 1(35):84-87 (in Chinese with English abstract).
- [2] 郑喜坤, 鲁安怀, 高翔. 土壤中重金属污染现状与防治方法[J]. 土壤与环境, 2002, 11(1):83-88.
Zheng Xikun, Lu Anhuai, Gao Xiang. Contamination of heavy metals in soil present situation and method[J]. Soil and Environmental Sciences, 2002, 11 (1):83-88 (in Chinese with English abstract).
- [3] Facchinelli A, Sacchi E, Mallen L. Multivariate statistical and

- GIS based approach to identify heavy metal sources in soils [J]. Environmental Pollution, 2001, 114:313-324.
- [4] Taylor M D. Accumulation of cadmium derived from fertilizers in New Zealand soil[J]. Sci. Total Environ., 1997, 208(1/2):123-126.
- [5] Lidia. Giuffre De Lopez Came. Heavy metals input with phosphate fertilizers used in Argentina [J]. Sci. Total Environ., 1997, 204(3): 245-250.
- [6] Selinus O S, Esbensen K. Separating anthropogenic from natural anomalies in environmental geochemistry [J]. J. Geochemical Exploration, 1995, 55(1):55-66.
- [7] Matschullat J, Ottenstein R, Reimann C. Geochemical background—can we calculate it [J]. Environmental Geology, 2000, 39(9):990-1000.
- [8] Covelli S, Fontolan G. Application of a normalization procedure in determining regional geochemical baselines [J]. Environmental Geology, 1997, 30(1/2):34- 45.
- [9] Förstner U, Ahlf W, Calmano W, et al. Sediment criteria development—contributions from environmental geochemistry to water quality management [C]//Heling D, Rothe, Förstner U, et al (eds). Sediments and environmental geochemistry: selected aspects and case histories. Berlin, Heidelberg:Springer-Verlag, 1990:311- 338.
- [10] 彭景, 李泽琴, 侯家渝. 地积累指数法及生态危害指数评价法在土壤重金属污染中的应用及探讨 [J]. 广东微量元素科学, 2007, 14(8):13-17.
- Pen Jing, Li Zeqin, Hou Jiayu. Application of the index of geo-accumulation index and ecological risk index to assess heavy metal pollution in soils [J]. Guangdong Trace Elements Science, 2007, 14(8): 13-17(in Chinese with English abstract).
- [11] 周秀艳, 王恩德. 辽东湾潮间带底质重金属污染地累积指数评价[J]. 安全与环境学报, 2004, 4(2):22-24.
- Zhou Xiuyan, Wang Ende. Method on how to apply index of geoaccumulation to evaluate heavy metal pollution as result of inter-tidal sediments in Liaodong bay [J]. Journal of Safety and Environment, 2004, 4(2):22-24(in Chinese with English abstract).
- [12] 袁媛, 马建华. 土壤重金属污染灰色聚类法评价[J]. 洛阳理工学院学报(自然科学版), 2009, 19(2):9-12.
- Yuan Yuan, Ma Jianhua. Pollution assessment of heavy metals with gray cluster method [J]. Journal of Luoyang Institute of Science and Technology, 2009, 19(2):9-12(in Chinese with English abstract).
- [13] 郭平, 谢忠雷, 李军, 等. 长春市土壤重金属污染特征及其潜在生态风险评价[J]. 地理科学, 2005, 25(1):108-112.
- Guo Ping, Xie Zhonglei, Li Jun, et al. Specificity of heavy metal pollution and the ecological hazard in urban soils of Changchun City [J]. Scientia Geographica Sinica, 2005, 25 (1):108-112(in Chinese with English abstract).
- [14] 马建华, 张丽, 李亚丽. 开封市城区土壤性质与污染的初步研究 [J]. 土壤通报, 1999, 30(2):93-95.
- Ma Jianhua, Zhang li, Li Yali. Soil properties and pollution in Kaifeng city area [J]. Chinese Journal of Soil Science, 1999, 30(2): 93- 95(in Chinese with English abstract).
- [15] 武永锋, 刘丛强, 涂成龙. 贵阳市土壤重金属污染及其潜在生态风险评价[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2007, 26(3):254-257.
- Wu Yongfeng, Liu Cong-qiang, Tu Chenglong. The heavy metal pollution in urban soils of Guiyang City and their potential ecological hazard assessment [J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2007, 26(3): 254-257(in Chinese with English abstract).
- [16] 傅晓明, 戴塔根, 息朝庄, 等. 湘潭市土壤重金属地球化学特征的分析[J]. 广东微量元素科学, 2009, 169(3):32-38.
- Fu Xiaoming, Dai Tagen, Xi Chaozhuang, et al. Statistical analysis of heavy metals geochemistry characters in soils of Xiangtan City [J]. Guangdong Trace Elements Science, 2009, 169 (3): 32-38(in Chinese with English abstract).
- [17] 马成玲, 周健民, 王火焰, 等. 农田土壤重金属污染评价方法研究——以长江三角洲典型县级市常熟市为例 [J]. 生态与农村环境学报, 2006, 22(1):48-53.
- Ma Chengling, Zhou Jianmin, Wang Huoyan, et al. Methods for assessment of heavy metal pollution in cropland soils—A case study of Changshu [J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2006, 22 (1):48-53(in Chinese with English abstract).
- [18] 滕彦国, 庾先国, 倪师军, 等. 攀枝花工矿区土壤重金属人为污染的富集因子分析[J]. 土壤与环境, 2002, 11(1):13- 16.
- Teng Yanguo, Tuo Xianguo, Ni Shijun, et al. Application of an enrichment factor in determining anthropogenic pollution of heavy metal in topsoil [J]. Soil and Environmental Sciences, 2002, 11(1): 13- 16(in Chinese with English abstract).
- [19] Dinelli E, Tateo F. Factors controlling heavy metals associated with natural weathering of coal mine spoils [J]. Environment Pollution, 2003:1138-1150.
- [20] 曲蛟, 袁星, 王莉莉, 等. 钼矿区土壤中重金属污染状况的分析与评价[J]. 环境保护科学, 2007, 33(2):36-38.
- Qu Jiao, Yuan Xing, Wang Lili, et al. Analysis and assessment on the pollution condition of heavy metals in the soil of molybdenum mine [J]. Environmental Protection Science, 2007, 33(2):36-38(in Chinese with English abstract).
- [21] 李泽琴, 侯佳渝, 王奖臻. 矿山环境土壤重金属污染潜在生态风险评价模型探讨[J]. 地球科学进展, 2008, 23(5):409-516.
- Li Zeqin, Hou Jiayu, Wang Jiangzhen. Potential ecological risk assessment model for heavy metal contamination of agricultural soils in mining areas [J]. Advances in Earth Science, 2008, 23(5): 409- 516(in Chinese with English abstract).
- [22] 周建民, 党志, 司徒粤, 等. 大宝山矿区周围土壤重金属污染分布特征研究[J]. 农业环境科学学报, 2004, 23(6):1172-1176.
- Zhou Jianmin, Dang Zhi, Si Tuyue, et al. Distribution and characteristics of heavy metals contaminations in soils from Dabaoshan mine area [J]. Journal of Agro-Environment Science. 2004, 23(6): 1172-1176(in Chinese with English abstract).
- [23] 苏年华, 张金彪. 福建省土壤重金属污染及其评价[J]. 福建农业大学学报, 1994, 23(4):434-439.
- Su Nianhua, Zhang Jinbiao. Pollution of soil heavy metals and its evaluation of Fujian province [J]. Journal of Fujian Agricultural University, 1994, 23(4):434-439(in Chinese with English abstract).
- [24] Ansari A A, Singh I B, Tobschall H J. Importance of geomorphology and sedimentation processes for metal dispersion in sediments and soils of the Ganga Plain; identification of geochemical domains[J]. Chemical Geology, 2000, 162:245-266.
- [25] 夏增禄, 李森照, 李廷芳, 等. 土壤元素背景值及其研究方法[M]. 北京:气象出版社, 1987:92-94.

- Xia Zenglu, Li Senzhao, Li Tingfang, et al. Soil Element Background Value and its Research Methods [M]. Beijing:China Meteorological Press, 1987:92-94(in Chinese).
- [26] Middleton R, Grant A. Heavy metals in the Humber estuary: Scrobicularia clay as a preindustrial datum[J]. Proc., Yorkshire Geol. Soc.,1990, 48:75-80.
- [27] Lee D S, Garland J A, Fox A A. Atmospheric concentrations of trace metal in urban areas of the United Kingdom [J]. Atmos Environ,1994, 28:2691-2713.
- [28] Lee P-K, Touray J-C, Baillif P, et al. Heavy metal contamination of settling particles in a retention pond along the A-71 motorway in Sologne, France[J]. Sci. Total Environ, 1997, 201:1-15.
- [29] Forstner U, Wittmann G T W. Metal pollution in the aquatic environment[M]. Berlin, Heidelberg, New York:Springer, 1981:486.
- [30] Li Y H. Geochemical cycles of elements and human perturbation [J]. Geochim. Cosmochim. Acta, 1981, 45:2073-2084.
- [31] Sutherland R A. Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii [J]. Environmental Geology, 2000, 39 (6): 611-627.
- [32] Rognerud S, Hongue D, Fjeld E, et al. Trace metal concentrations in lake and overbank sediments in southern Norway [J]. Environmental Geology, 2000, 39(7):723-732.
- [33] Ferguson J E. The Hheavy Elements;Chemistry, Environmental Impact and Health Effects[M]. New York:Pergamon Press, 1990,412.
- [34] 郭海全, 马忠社, 郝俊杰, 等. 冀东土壤地球化学基准值特征及研究意义[J]. 岩矿测试, 2007, 26(4):281-286.
- Guo Haiquan, Ma Zhongshe, Hao Junjie, et al. Characteristics and significance of reference values of the geochemical elements in soil samples from eastern Hebei Province [J]. Rock and Mineral Analysis, 2007, 26(4):281-286(in Chinese with English abstract).
- [35] 栾文楼, 温小亚, 崔邢涛, 等. 冀东表层土壤中重金属富集特征与污染评价[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(26)11363-11366.
- Luan Wenlou, Wen Xiaoya, Cui Xingtao, et al. Enrichment characteristics and pollution assessment of heavy metals in topsoil of eastern Hebei [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2008, 36 (26)11363-11366 (in Chinese with English abstract).
- [36] 张秀芝, 郭海全, 李宏亮, 等. 河北省白洋淀洼地环境地球化学物源判断[J]. 地学前缘, 2008, 15(5) 90:96.
- Zhang Xiuzhi, Guo Haiquan, Li Hongliang, et al. Distinguishing origins of elements in environmental geochemistry of Baiyangdian billabong of Hebei province, north China [J]. Earth Science Frontiers, 2008, 15(5) 90:96(in Chinese with English abstract).
- [37] 张秀芝, 王三民, 李建华. 冀东沿海地区镉的富集程度及成因分析[J]. 地球与环境, 2007, 35(4) 321:326.
- Zhang Xiuzhi, Wang Sanmin, Li Jianhua. Research on the enrichment and origin of cadmium in soils in a coastal area of east Hebei Province [J]. Earth and Environment, 2007, 35(4) 321:326 (in Chinese with English abstract).
- [38] 成杭新, 庄广民, 赵传冬. 北京市土壤 Hg 污染的区域生态地球化学评价[J]. 地学前缘, 2008, 15(5):126-145.
- Cheng Hangxin, Zhuang Guangmin, Zhao chuangdong. Regional eco-geochemical assessment of mercury in soils in Beijing [J]. Earth Science Frontiers, 2008,15 (5):126-145 (in Chinese with English abstract).

Environmental quality and anthropogenic pollution assessment of heavy metals in topsoil of Hebei plain

GUO Hai-quan, YANG Zhi-hong, LI Hong-liang, MA Wen-jing, REN Jiu-feng

(Hebei Institute of Geological Survey, Shijiazhuang 050081, Hebei, China)

Abstract: Soil environmental quality assessment is an important prerequisite for understanding its current status and carrying out environmental protection. The authors made an evaluation of environmental quality of heavy metals in topsoil of Hebei plain based on Environmental Quality Standard for Soils (GB15618-1995), and the results show that the quality is excellent, with the area that comes up to the first grade standard being 93.02% and up to the second being 6.62%. Making use of environmental geochemical behaviors of heavy metals, the authors applied enrichment factors to distinguish anthropogenic pollutions of heavy metals from natural anomalies in topsoil of Hebei Plain. It is concluded that the application of the enrichment factors to determining anthropogenic contamination of heavy metals in topsoil is practical. The anthropogenic pollution area of heavy metals is rather larger, but the pollution is mainly insignificant.

Key words: environment quality of topsoil; enrichment factor; heavy metal pollution; Hebei plain

About the first author: GUO Hai-quan, male, born in 1968, senior engineer, long engages in the work of environmental geochemistry and mineral exploration; E-mail: ghq0310@163.com.