

河北平原土壤重金属人为污染的富集因子分析

郭海全¹, 郝俊杰², 李天刚¹, 赖燕玲², 孔凡合², 刘树兴¹

1. 河北省地质调查院, 河北 石家庄 050081; 2. 河北省地矿局第十一地质大队, 河北 邢台 054000

摘要: 在环境地球化学研究中, 自然异常与人为异常往往同时存在, 因此要判断环境污染状况, 从自然异常中分离人为异常是十分重要的。文章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河北平原表层土壤中重金属的人为污染情况。以 4 km² 为一个评价单元, 选择 Zr 为标准化元素, 分别以河北太行山区岩石平均值及该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, 计算得到了河北平原表层土壤中重金属元素的两组富集因子值, 分别用 EF 和 CEF 表示。结果表明, 除 As、Ni 外, 其它重金属元素的 EF 和 CEF 分布特征基本一致。按 CEF 计算结果, 该区表层土壤约有 50% 的区域(约 40 000 km²) 发生了 1 级轻微的重金属污染; As、Cr、Cu、Ni、Pb、Zn 约有 1%~5% 的少部分地区发生了 2 级中度以上重金属污染; Cd、Hg 达到 2 级中度污染的面积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% (10 080 km²)。重金属污染主要分布在工矿区(如冀东北部地区的铁矿集区、白洋淀及周边的小冶炼厂集中区)、污灌区(如唐海县的 Cd 异常、石家庄及其南部的洺河两岸的多金属异常)、大中城镇(Hg 异常)。河北平原的实例研究表明, 应用富集因子可有效区分重金属污染的自然影响和人为影响。

关键词: 富集因子; 人为污染; 重金属; 环境影响评价; 河北平原

中图分类号: X53

文献标识码: A

文章编号: 1674-5906 (2010) 04-0786-06

土壤中重金属元素主要有自然来源和人为干扰输入两种途径。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^[1]。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^[2]。

上述两种重金属来源途径往往形成两种异常, 一种是自然异常, 即由于该区的区域地球化学背景引起的, 该异常反映的是元素的富集信息, 并可能成为资源勘查的有利地区。另外一类异常则是由人类活动引起的^[3], 该类异常反映的是环境污染信息。在一些人类活动强烈的区域尤其是工矿业开发区, 自然异常与人为异常往往同时存在, 因此要判断环境污染状况, 从自然异常中分离人为异常是十分重要的^[4,5]。

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]等来判别人为金属污染。目前国内外此方面的研究大都针对典型市区^[13-17]或矿区^[18-22]等重金属污染较重的地区进行研究, 缺少背景区(无污染区)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。

河北平原土地平坦、光热充足、引水便利。该地交通方便, 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^[24,25]。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人为污染评价。根据重金属元素的环境地球化学行为, 分别以河北太行山区岩石平均值及该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 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^[26], 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^[27]、富集因子^[28]和富集比率^[29,30]等。富集因子的基本含义是将样品中元素

基金项目: 中国地质调查局地质大调查项目“河北省农业地质调查”(200414200007)

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

收稿日期: 2010-01-29

的浓度与基线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^[31,32]：

$$EF = \left[\frac{(C_i / C_n)_{\text{sample}}}{(C_i / C_n)_{\text{baseline}}} \right] \quad (1)$$

C_i ——元素 i 的浓度；

C_n ——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^[33] (表 1)。

表 1 富集因子分级表^[33]

Table. 1 The grades of enrichment factor

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

2 样品采集、分析与测试

2.1 样品采集

表层样品取样深度 0~20 cm、1 km² 采集 1 个单样、4 km² 分析 1 个组合样的工作网度共分析测试本区表层土壤样品 19 890 件，深层样品按照采样深度 150~180 cm、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 5 011 个样品。

2.2 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) 进行准确度和精密度监控，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。

3 富集因子的计算及改进

3.1 富集因子的计算

由于 Zr 在表生过程中性质稳定，因此选择该元素作为计算富集因子时的标准化元素。选择河北太行山区岩石背景值作为计算富集因子的地球化学背景，根据 (1) 式计算得到的河北平原表层土壤中重金属元素的富集因子见表 2。

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^[34]，即对富集因子 (EF) 加以修正，采用 CEF (Cultural Enrichment Factor)，CEF 可表示为^[35]：

$$CEF = \left[\frac{(C_i / C_n)_{\text{surface}}}{(C_i / C_n)_{\text{deep}}} \right] \quad (2)$$

C_i ——元素 i 的浓度；

C_n ——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。

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，一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 19 890 个富集因子值，计算得到的部分样品的表层土壤重金属的 CEF 值见表 2。

3.3 人为污染分级

由表 2 中的各元素的 EF 值和 CEF 值可见，同一样品各元素的 EF 值和 CEF 值基本一致，表明 EF 和 CEF 均可用来评价表层土壤中重金属的人为污染情况。根据表 1 中给定的富集因子及污染级别，河北平原表层土壤的污染级别见表 3。

根据 EF 的计算结果 (表 3)，As、Cd、Hg、Cr、Cu、Ni、Pb、Zn 等 8 个元素没有受到人为污染 (EF < 1) 的样点个数分别为 236, 6 348, 1 014, 7 895, 18 574, 19 401, 14 864, 16 666；受到 1 级轻微污染 (1 < EF < 2) 的样点个数分别为 4 571, 12 755, 7 544, 11 678, 1 248, 487, 4 924, 3 150，受到 2 级中度污染 (2 < EF < 5) 的样点数分别为 14 610, 695, 10 452, 314, 63, 1, 94, 74。受到 3 级显著污染 (5 < EF < 20) 的样点数分别为 472, 89, 840, 2, 5, 1, 7, 0。受到 4 级强烈污染 (20 < EF < 40) 及 5 级极强污染 (EF > 40) 的点数极少。

根据 CEF 的计算结果 (表 3)，As、Cd、Co、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 11 287, 3 619, 1 686, 11 453, 9 494, 12 348, 7 579, 8 173；受到 1 级轻微污染 (1 < CEF < 2) 的样点个数分别为 8 091, 13 213, 6 711, 8 272, 9 563, 7 293, 11 910, 11 152；受到 2 级中度污染 (2 < CEF < 5) 的样点分别为 510、

表 2 河北平原表层土壤重金元素的富集因子
Table. 2 Enrichment factors of heavy metals in topsoil in Hebei Plain

样号编号	Cu		Pb		Zn		Ni		Cr		Cd		As		Hg	
	EF	CEF	EF	CEF	EF	CEF	EF	CEF	EF	CEF	EF	CEF	EF	CEF	EF	CEF
JQ274	0.40	1.07	0.66	1.17	0.58	1.03	0.39	0.94	0.83	0.94	0.80	1.55	1.62	1.47	1.82	4.64
JQ275	0.56	1.50	0.85	1.50	0.71	1.25	0.50	1.19	1.02	1.16	1.04	2.02	2.10	1.91	3.85	9.81
JQ276	0.49	1.16	0.80	1.26	0.60	1.12	0.45	1.05	0.95	1.15	0.93	1.80	1.77	1.23	1.64	3.11
JQ277	0.52	0.72	0.77	0.82	0.67	0.76	0.49	0.71	0.98	0.73	0.78	0.85	1.81	0.67	2.88	3.04
JQ278	0.62	0.86	0.93	1.00	0.80	0.91	0.56	0.80	1.06	0.79	1.11	1.21	2.60	0.96	2.75	2.90
JQ279	0.58	1.08	0.80	1.00	0.69	0.98	0.51	0.96	1.03	1.01	0.95	1.33	2.14	1.15	2.22	3.52
JQ280	0.56	0.91	0.81	0.99	0.70	0.93	0.56	0.99	1.09	1.03	0.96	0.94	2.32	0.61	2.07	2.35
JQ281	0.54	0.88	0.85	1.04	0.65	0.87	0.51	0.91	1.00	0.94	0.97	0.95	2.26	0.60	2.26	2.58
JQ282	0.51	0.88	0.83	1.03	0.66	0.97	0.50	0.88	0.95	0.85	1.09	1.71	1.82	0.94	2.71	2.26
JQ283	0.50	0.79	0.74	0.82	0.61	0.78	0.47	0.74	0.92	0.80	0.77	0.79	2.13	0.33	1.49	1.63
JQ284	0.52	0.82	0.80	0.88	0.69	0.88	0.49	0.78	0.97	0.85	0.98	1.01	2.10	0.33	1.96	2.14
JQ285	0.72	1.17	1.04	1.27	0.87	1.15	0.62	1.10	1.18	1.11	1.18	1.16	2.79	0.74	2.43	2.77
JQ286	0.76	1.23	1.15	1.41	0.89	1.18	0.65	1.15	1.25	1.18	1.42	1.40	2.67	0.70	2.04	2.33
JQ28777	0.60	0.74	0.93	0.97	0.78	0.88	0.55	0.80	1.10	0.88	1.07	1.24	2.55	1.09	3.22	3.76
JQ288	0.68	1.02	0.86	1.03	0.79	1.01	0.57	0.89	1.16	1.01	0.98	1.31	2.34	1.09	2.90	2.79
JQ289	0.62	0.93	0.93	1.11	0.77	0.98	0.55	0.85	1.09	0.95	1.10	1.47	2.19	1.02	3.08	2.96
JQ290	0.63	0.81	0.92	0.95	0.82	0.93	0.60	0.88	1.16	0.94	1.02	1.00	2.34	0.84	2.83	2.43
JQ291	0.66	0.84	0.94	0.97	0.83	0.94	0.58	0.85	1.17	0.95	1.06	1.05	2.39	0.86	2.36	2.03
JQ292	0.75	1.33	0.97	1.11	0.81	1.00	0.59	0.99	1.11	1.01	1.13	1.39	2.47	1.14	3.39	4.15
JQ293	0.53	0.66	0.75	0.79	0.66	0.75	0.48	0.70	1.01	0.81	1.07	1.24	1.68	0.72	2.10	2.45
JQ294	0.86	1.30	0.88	1.05	0.79	1.01	0.56	0.88	1.16	1.01	1.08	1.45	2.38	1.11	2.46	2.37
JQ295	0.72	1.09	0.93	1.11	0.87	1.11	0.63	0.99	1.24	1.08	1.23	1.65	2.55	1.19	3.57	3.43
JQ296	0.65	0.83	0.96	0.99	0.84	0.95	0.61	0.89	1.24	1.01	1.04	1.02	2.02	0.72	3.14	2.70
JQ297	0.51	0.66	0.79	0.82	0.71	0.80	0.49	0.72	1.02	0.83	1.16	1.14	2.30	0.82	4.34	3.74
JQ298	0.41	0.73	0.67	0.77	0.56	0.69	0.41	0.68	0.85	0.77	0.88	1.09	1.93	0.89	2.46	3.00
JQ299	0.42	0.67	0.77	0.98	0.62	0.81	0.43	0.68	0.94	0.80	0.82	1.03	1.59	0.92	1.82	1.53
JQ300	0.43	0.93	0.79	0.93	0.61	0.92	0.47	0.96	1.01	0.92	0.83	1.17	1.68	1.31	1.34	1.88
JQ301	0.48	1.04	0.72	0.85	0.63	0.95	0.48	0.98	0.98	0.89	0.92	1.29	1.82	1.42	1.88	2.62
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

表 3 河北平原表层土壤的 EF 和 CEF 值及污染的分级
Table. 3 The EF and the CEF of topsoil and pollution degree in Hebei plain

样品数	1 级污染				2 级污染		3 级污染		4 级污染		5 级污染	
	EF<1	CEF<1	1<EF<2	1<CEF<2	2<EF<5	2<CEF<5	5<EF<20	5<CEF<20	<20EF<40	20<CEF<40	EF>40	CEF>40
As	236	11287	4571	8091	14610	510	472	2			1	
Cd	6348	3619	12755	13213	695	2932	89	124	3	1	0	1
Hg	1014	1686	7544	6711	10452	9863	840	1593	30	26	10	11
Cr	7895	11453	11678	8272	314	163	2	2	1			
Cu	18574	9494	1248	9563	63	804	5	29				
Ni	19401	12348	487	7293	1	248	1	1				
Pb	14864	7579	4924	11910	94	392	7	8	1	1		
Zn	16666	8173	3150	11152	74	551		13		1		

2 932、9 863、163、804、248、392、551；受到 3 级显著污染（5<CEF<20）的样点分别为 2、124、1 593、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。

从 EF 和 CEF 得到的污染的分类结果（见表 3）看，除 As、Ni 外，其它元素的 EF 和 CEF 分布特征基本一致。

从以上分析可见，该区表层土壤约有 50%的区域（约 40 000 km²）发生了 1 级轻微的重金属污染（按 1<CEF<2 统计）；As、Cr、Cu、Ni、Pb、Zn 约有 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%(10 080 km²)。重金属污染主要分布在工矿区（如冀东北部地区的

铁矿集区、白洋淀及周边的小冶炼厂集中区)、污灌区(如唐海县的Cd异常、石家庄及其南部的滦河两岸的多金属异常)、大中城镇(Hg异常)。这与采用其它方法得到的污染特征一致^[36-39]。

4 讨论与结论

在区分自然的和人为的环境影响时,与其它数据处理方法和统计分析方法相比,富集因子主要依据元素的环境地球化学行为来分析环境污染问题。富集因子的计算过程是标准化处理过程,所谓的标准化是指在计算时采用了表生作用中稳定的元素作为标准元素,这样处理的目的是将表生作用中重金属元素的自然来源进行归一化处理,从而建立判别重金属人为来源的指标(富集因子),并通过该指标反映人为影响的大小。

EF和CEF的计算公式接近,所揭示的环境意义基本相同,所不同的是对环境背景选择的不同。EF选择的是该区岩石背景值,而CEF是以研究区的深层样品作为背景,因此CEF更能反映研究区人为活动对环境的扰动。河北平原区表层土壤Cd、Hg、Cr、Cu、Pb、Zn的EF与CEF的计算结果基本一致,而As、Ni的EF和CEF存在着较大的差异,这是因为河北平原的冀中南平原与冀东平原成土母质分别来自太行山区原岩和燕山山区原岩,两原岩区的平均化学成分相差较大^[40],而本次只用太行山区原岩成分做背景,造成As、Ni背景值与研究区的土壤背景值存在较大差异的缘故。因此,在计算EF和CEF时,必须重视背景值的选择^[41,42]。

河北平原表层土壤的EF和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、Hg发生中度污染以上的区域也较大,其它重金属元素中度以上污染的面积很小;污染主要分布在工矿区等人为影响比较强烈的地区。按土壤环境质量标准(GB 15618-1995),河北平原一、二、三级土壤面积分别占全区的93.02%、6.62%、0.31%^[43],由此说明尽管目前河北平原土壤总体质量良好,但已有相当大的区域发生了不同程度的重金属人为污染,今后要重视土壤重金属人为污染问题,防止土壤质量进一步退化。

参考文献:

- [1] 郑喜瑞, 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): 7984.
ZHENG Xikung, LU Anhuan, GAO Xiang. Contamination of heavy metals in soil present situation and method[J]. Soil and Environmental Sciences, 2002, 11(1): 7984.
- [2] FACCHINELLI A, SACCHI E, MALLIN L. Multivariate statistical and GISbased approach to identify heavy metal sources in soils[J]. Environmental Pollution, 2001, 114: 313324.
- [3] 张秀芝, 杨志宏, 马忠社, 等. 地球化学背景与地球化学基准[J].

- 地质通报, 2006, 25(5): 626-629.
ZHANG Xiuzhi, YANG Zhihong, MA Zhongshe, et al. Geochemical background and geochemical baseline[J]. Geological Bulletin of China, 2006, 25(5): 626-629.
- [4] CHAFFEE M A, HOFFMAN J D, TIDBALL R R, et al. Discriminating between natural and anthropogenic anomalies in the surficial environment in Yellowstone National Park, Idaho, Montana, and Wyoming[R]. US Geological Survey Open-File Report, 1997, 16: 106.
- [5] CHAFFEE M A, CARLSON R R. Environmental geochemistry in Yellowstone National Park: Distinguishing natural and anthropogenic anomalies[J]. Yellowstone Science, 1998, 6(2): 29.
- [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): 990-1 000.
- [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 P, FÖRSTNER U, et al. 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.
- [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): 2224.
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): 2224.
- [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.
- [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.
- [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.
- [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 Congqiang, TU Chenglong. The heavy metal pollution in urban soils of Guiyang city and their potential ecological hazard assessment[J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geo-

- chemistry, 2007, 26(3): 254-257.
- [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统计分析[J]. 广东微量元素科学, 2009, 169(3): 32-38.
FU Xiaoming, DAI Tegen, XI Chaozhuang, et al. Statistical analysis of heavy metals geochemistry characters in soils of Xiangtan city[J]. Trace Elements Science, 2009, 169(3): 32-38.
- [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.
- [18] 滕彦国, 虞先国, 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 Shihui, 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.
- [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.
- [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[journal of agro-environment science[J]. Advances in Earth Science, 2008, 23(5): 409-516.
- [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.
- [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.
- [24] TAYLOR M D. Accumulation of cadmium derived from fertilizers in New Zealand soil[J]. Sci. Total Environ, 1997, 208(1/2): 123-126.
- [25] LIDIA. GIUFFRÉ DE LÓPEZ CAME. Heavy metals input with phosphate fertilizers used in Argentina[J]. Sci Total Environ, 1997, 204(3): 245-250.
- [26] 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.
- [27] 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.
- [28] 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.
- [29] 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: 2 691-2 713.
- [30] 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.
- [31] FORSTNER U, WITTMANN G T W. Metal Pollution in the Aquatic Environment[M]. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 1981: 486.
- [32] LI Y H. Geochemical cycles of elements and human perturbation[J]. Geochim Cosmochim Acta, 1981, 45: 2 073-2 084.
- [33] SUTHERLAND R A. Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii[J]. Environmental Geology, 2000, 39(6): 611-627.
- [34] ROGNERUD S, HONGVE D, FJELD E, et al. Trace metal concentrations in lake and overbank sediments in southern Norway[J]. Environmental Geology, 2000, 39(7): 723-732.
- [35] FERGUSON J E. The Heavy Elements: Chemistry, Environmental Impact And Health Effects[M]. New York: Pergamon Press, 1990: 412.
- [36] 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.
- [37] 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.
- [38] 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[J]. Earth Science Frontiers, 2008, 15(5): 90-96.
- [39] 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.
- [40] 宫进忠, 李玉堂, 史新民, 等. 河北省区域化探岩石测量报告[R]. 廊坊: 河北地勘局物探大队, 1997.
GONG Jinzhong, LI Yutang, SHI Xinmin, et al. Region geochemistry Rock survey in Hebei province[R]. Langfang: Geophysical Exploration Unit of Hebei Bureau of Geological Survey, 1997.
- [41] SINEX S A, HELZ G R. Regional geochemistry of trace elements in Chesapeake Bay sediments[J]. Environmental Geology, 1981, 3: 315-323.
- [42] SINEX S A, WRIGHT D A. Distribution of trace metals in the sediments and biota of Chesapeake Bay[J]. Mar Pollut Bull, 1981, 19: 425-431.
- [43] 张秀芝, 马忠社, 郭海全, 等. 河北省平原区及近岸海域多目标区域地球化学调查报告[R]. 石家庄: 河北省地质调查院, 2009.
ZHANG Xiuzhi, MA Zhongshe, GUO Haiquan, et al. Region geochemistry survey in Hebei plain and inshore area[R]. Shijiazhuang: Hebei Institute of Geological Survey, 2009.

Application of an enrichment factor in determining anthropogenic pollution of heavy metal in topsoil in Hebei plain

GUO Haiquan¹, HAO Junjie², LI Tiangang¹, LAI Yanling², KONG Fanhe², LIU Shuxing¹

1. Hebei Institute of Geological Survey, Shijiazhuang 050081, China;

2. Geology Eleventh unit, Hebei Bureau of Geological Survey, Xingtai 054000, China

Abstract: Natural and anthropogenic anomaly coexist commonly in environmental geochemical research, so it is important to separate anthropogenic anomaly from natural anomaly in environmental impact assessment. Making use of environmental geochemical behavior of heavy metal, the authors apply Enrichment Factor to distinguish anthropogenic pollution of heavy metal from natural anomaly in topsoil in Hebei Plain. Using 4 km² as an evaluation unit, selecting the element Zr as the standard, taking the average of the rock from Taihang Mountain Area and the values of deep soil samples that the evaluation unit samples corresponding to as the geochemical background, we obtained two Groups of enrichment factor values of heavy metals in surface soils from Hebei Plain. And we show them by EF and CEF respectively. The results show that besides As and Ni, the distribution characteristics of EF and CEF for other elements are almost the same. According to CEF results, about 50% of the surface area (about 40 000 km²) occurred in slightly heavy metal pollution (I level pollution);For the elements of As、Cr、Cu、Ni、Pb and Zn, about 1%~5% of the region occurred in moderate heavy metal pollution(II level pollution);For Cd and Hg, the area to achieve the moderate heavy metal pollution(II level pollution), accounting for the whole area of Hebei plain are 14.7% and 49.6%, the area to achieve the significant pollution (III level or above) are 1.1% (880 km²) and 12.6% (10 080 km²). Heavy metal pollution mainly distributed in industrial and mining areas (such as iron ore areas in northeast of Hebei, Baiyangdian Lake and the surrounding area of the small smelter), irrigation area (such as the abnormal Cd in Tanghai County, Shijiazhuang and the two sides of the xiao river which is located in southern Shijiazhuang) and the large and middle city (Hg anomaly).The results show that it is feasible of application of an enrichment factor to determine anthropogenic contamination of heavy metal in topsoil.

Key words: enrichment factor; anthropogenic pollution; heavy metal; EIA; Hebei Plain