

# 河北省南部平原区大气降尘来源及分布特征

李随民 栾文楼 宋泽峰 崔邢涛 吴兴国

(石家庄经济学院资源学院, 河北 石家庄 050031)

**提要:**从 2007 年 11 月到 2008 年 11 月,采用被动方式在河北省南部平原区域采集了 48 个点的大气沉降样品,分析了 Al、K、Ca、Cr、Cd、Pb、Se、Mo、I、F、S 等 21 种元素的含量。在计算了各元素之间相关性和富集因子的基础上,得出河北南部平原区大气降尘的物质来源以土壤颗粒物为主,在此基础上叠加了燃煤污染。大气降尘输入通量的结果表明,河北省南部平原区的大气质量明显低于北京平原区。省内对比表明,沧州地区绝大多数元素输入通量最大,而邯郸地区最低,省会石家庄以燃煤元素(Cd、Hg、Mo、Se)的输入通量最大为特征。

**关键词:**大气降尘;来源;输入通量;河北省南部平原

**中图分类号:**X51 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2010)06-1769-06

大气降尘是指在空气环境下,靠重力自然沉降在集尘缸中的颗粒物。大气干湿沉降是农田生态系统中异常元素的重要来源。据 Kloke(1984)研究发现<sup>[1]</sup>,工业发达国家大气降尘对土壤系统中重金属累积贡献率在各种外源输入因子中排在首位。杨忠芳等<sup>[2]</sup>对成都经济区的研究也表明,大气干湿沉降物输入是农田生态系统中重金属的主要来源。因此农田生态系统中大气降尘的沉降量、元素组成及含量研究,对分析污染物的地球化学循环过程和污染防治具有重要的意义<sup>[3-12]</sup>。

河北省南部平原包括廊坊、保定、沧州、衡水、石家庄、邢台和邯郸 6 个地市,是中国重要的农产品生产区域。目前河北南部平原区域在大气干湿降尘方面的研究很少。本次研究采用被动式方式收集了该区域内全年的大气降尘,对降尘中重金属元素和部分土壤有益元素的来源、输入通量及分布特征进行了分析。

## 1 样品采集和分析

### 1.1 样品采集

2007 年 11 月—2008 年 11 月在河北省南部平原

区设置了 48 个采样点(图 1)。采集大气降尘的桶放置在附近无遮挡的民房屋顶上,固定好,避开烟囱、交通道路等污染源。接收时间为 1 年,桶直径为 29.5 cm。

### 1.2 样品前处理及分析

大气干湿沉降样品一般处理为可溶部分(湿沉降)和不溶部分(干沉降)。由于收集时大部分采集桶中无水或水很少,因此本次大气干湿沉降样品的前处理方法统一为将从各地收回的采样桶放置在房屋中自然晾干或风干,然后将采样桶中的沉淀物称重,按照土壤样品的分析方法进行元素分析。样品分析在河北省岩矿测试中心进行,采用国家标准样、室内外重复样和密码样等检验控制分析精密度和准确度。所有大气降尘样品分析技术要求符合《生态地球化学评价样品分析技术要求》。

## 2 大气降尘物质来源

### 2.1 元素相关性分析

元素之间的相关性可以有效指示大气降尘的相同物质来源或迁移途径。根据相关系数大小,河北省南部平原区大气降尘中元素含量相关系数可明显地分为两类:

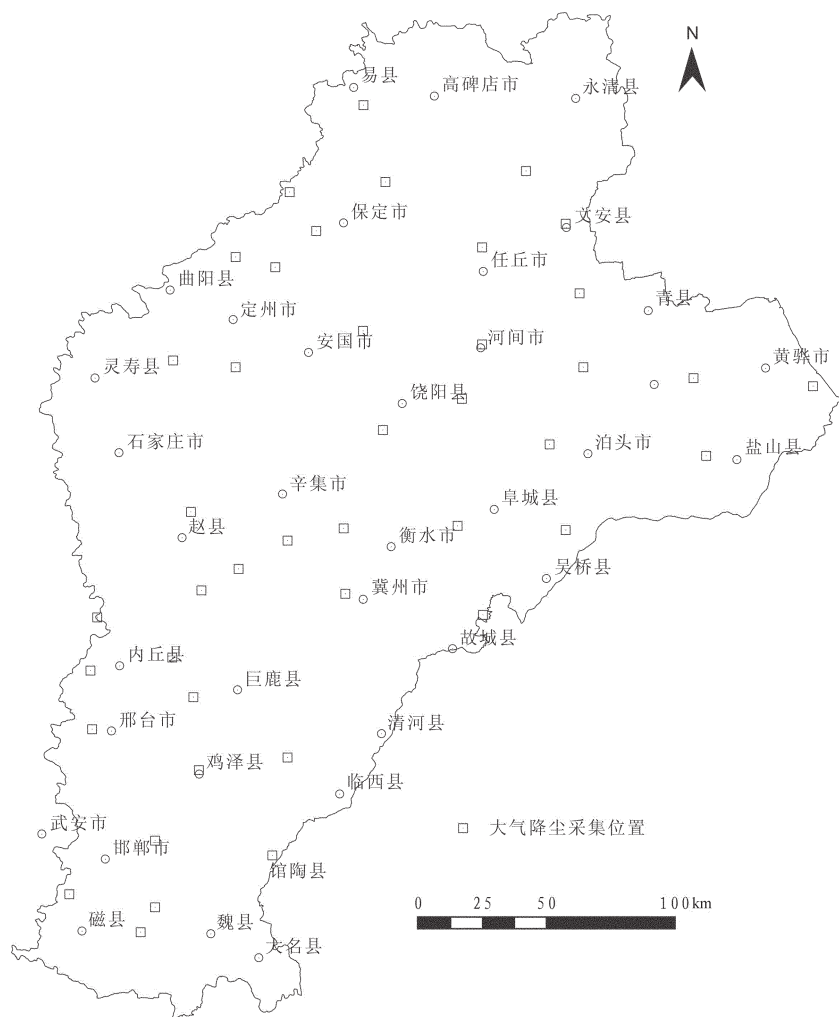


图1 河北省南部平原区大气干湿沉降采集位置

Fig.1 Sampling locations of atmospheric dustfalls in southern plain of Hebei Province

一是 Se、Mo、I、F、S、As 元素之间相关性较高(表1)。Se 元素在 0.01 的显著性水平下, 与 F ( $r=0.611$ )、S( $r=0.530$ )、I( $r=0.468$ )、Mo( $r=0.465$ )等元素显著性相关。Se、S 元素属典型的燃煤元素, 而与燃煤关系密切的 Hg 元素, 却与上述诸元素之间没有显著的相关性。降尘中 Hg 元素不仅含量最低, 且与上述元素间相关性亦差, 其原因可能是由于 Hg 在常温下呈液态且易挥发。

土壤风沙尘特征元素 Al 与上述元素之间的相关性较差, 表明上述元素的形成与风沙的关系不密切, 主要为燃煤作用的结果。

第二类相关性较高的元素组合为 Al、K、Ca、Mg、Cr、Mn、N、P 等元素(表2)。

在显著性水平为 0.01 水平下, 大气降尘中 Al、K、Ca、Mg、Cr、Mn、N、P 等元素之间存在较强的相

关性。元素组合表明上述物质主要来自土壤颗粒物。

对土壤质量影响较大的 Cr、Cd、Pb、Zn、As、Hg、Cu、Ni 重金属元素, 除 Cu 和 Ni 元素之间相关性(0.796)较大外, 其余重金属元素之间相关系数均很低。

元素相关性分析表明, 河北省南部平原区大气降尘的物质来源, 除与燃煤作用关系密切外, 主要来源于土壤风沙颗粒物。

## 2.2 富集因子分析

富集因子(Enrichment Factors)是一个反映人类活动对自然环境扰动程度的重要指标。它通过样品中元素的实测值与元素的背景值含量进行对比来判断表生环境介质中元素的人为影响状况。富集因子的计算引入了参比元素进行标准化。其中参比元素的选取应遵从以下原则: 所选元素含量应有一定稳定性, 所应用的方法对该元素有足够高的灵敏度, 测

表 1 大气降尘部分元素相关系数

Table 1 Correlation matrix of some elements in atmospheric dustfalls

	I	S	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Se	Mo	Hg	As	F
I	1	.502(**)	-0.317	.468(**)	.414(**)	0.167	-0.087	.439(**)
S		1	-.357(*)	.530(**)	.548(**)	0.074	0.114	.653(**)
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			1	0.100	0.127	-0.045	0.040	-0.083
Se				1	.465(**)	0.202	0.066	.611(**)
Mo					1	0.185	0.163	.477(**)
Hg						1	0.029	0.204
As							1	.519(**)
F								1

注: \*\* 表示显著性水平为 0.01, \* 表示显著性水平 0.05。

表 2 大气降尘部分元素相关系数

Table 2 Correlation matrix of some elements in atmospheric dustfalls

	K <sub>2</sub> O	P	MgO	Cr	Mn	N	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
K <sub>2</sub> O	1	-0.064	-0.231	-0.022	-0.272	-0.295	-.332(*)	.549(**)
P		1	-.412(**)	-0.163	-0.154	.635(**)	-.462(**)	-0.338
MgO			1	0.272	.499(**)	-.462(**)	.540(**)	-0.166
Cr				1	.792(**)	-.569(**)	0.183	0.154
Mn					1	-.552(**)	.388(**)	-0.102
N						1	-.508(**)	-.522(**)
CaO							1	-0.298
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>								1

注: \*\* 表示显著性水平为 0.01。

定结果足够准确,该元素最好为参比体系中的主要组成元素,该元素又在样品中普遍存在。据以上原则,较多的选择 Fe、Ti、Al 等元素<sup>[13-16]</sup>。本次选取 Al 作为参比元素计算了部分重金属元素的富集因子。

富集因子计算公式如下:

$$EF = \frac{(C_x / C_{Al})_{\text{降尘}}}{(C_x / C_{Al})_{\text{地壳}}}$$

式中:  $C_x$ —元素 X 的含量,  $C_{Al}$ —Al 元素的含量。降尘和地壳分别表示元素在大气降尘含量和地壳中的丰度。

由于降尘中元素的富集与否是相对于本地土壤或地壳而言的,如元素富集因子接近于 1,可以认为该元素相对于土壤或地壳来源基本没有富集,主要由土壤颗粒物所组成;因此参考介质最好为当地土壤或地壳,而不是全球地壳均值。本次各元素富集因

子的计算即以河北省表层土壤元素平均值为基础<sup>①</sup>,计算结论明显优于以地壳元素为均值的参照系统,主要表现在 Pb、S、Se、Cd、Zn 等元素如果以地壳均值为参考,绝大部分样品中上述元素富集因子较小,与实际情况差别较大。而以河北省表层土壤样品均值为参考,各元素富集因子能较好地反映降尘的污染叠加情况。

根据富集因子大小可以将元素大体上分为两类,如果元素富集因子接近于 1,可以认为该元素相对于土壤来源基本没有富集,主要由土壤颗粒物所组成;如果元素富集因子大于 10,则表明元素除土壤来源外还受人类活动的影响。

河北南部平原区大气降尘中元素的富集因子计算表明,Cd、Hg、Se、大部分 S、Zn 和少部分 Pb 元素受人类活动影响较大,受到了较为明显的污染。其余

①河北省地质调查院,河北省多目标地球化学调查报告,2010。

Cr、Cu、Ni、F、As、I 等元素主要来源于土壤颗粒 (图 2~3),基本未受到人为活动影响。

上述元素之外的其余元素的富集因子均小于 10,表明降尘中这部分元素主要来源于土壤颗粒物。

元素富集因子分析结果与相关性结论相吻合,即河北南部平原区大气降尘中的 Cr、Cu、Ni、As 和大部分 Pb 等重金属元素主要来自土壤颗粒,人为污染源对上述元素的影响较小。而降尘中 Cd、Hg、Se、S 和部分 Zn 元素除土壤来源外,还受到较明显的人类活动的影响,元素组合表明受燃煤影响。

### 3 大气降尘输入通量

#### 3.1 中国不同区域大气干湿沉降输入通量

农田区大气降尘的输入通量可通过接受降尘桶内沉降物的各元素质量及采样桶口面积计算得出。

计算公式为:

$$D=CM/100S$$

其中: $D$ 为重金属一年内的沉降通量( $g/hm^2.a$ ), $C$ 为重金属元素在沉降物中的含量( $mg/kg$ ), $M$ 为一年内某点位沉降总质量( $g/a$ ), $S$ 为接尘面积,即桶口面积( $0.07065 m^2$ )。

从 1999 年开始启动中国多目标地球化学调查项目以来,已完成了太原盆地、北京市平原区和成都经济区等多处农田生态系统的大气干湿沉降研究工作。河北省南部平原与上述区域的大气干湿沉降相比(表 3),K、Mg、Mn、Zn 元素的沉降通量较高,Mo 元素的沉降通量较低。其中 Cr、Pb、Zn、Mn、As、Cd、Hg 等重金属元素均高于相邻的北京市平原区,尤其是 Cd、Zn 和 Hg 元素分别高出北京平原区大气降尘量的 3.6、3.1 和 2.9 倍多,但 Cu、B、Mo 等土壤营

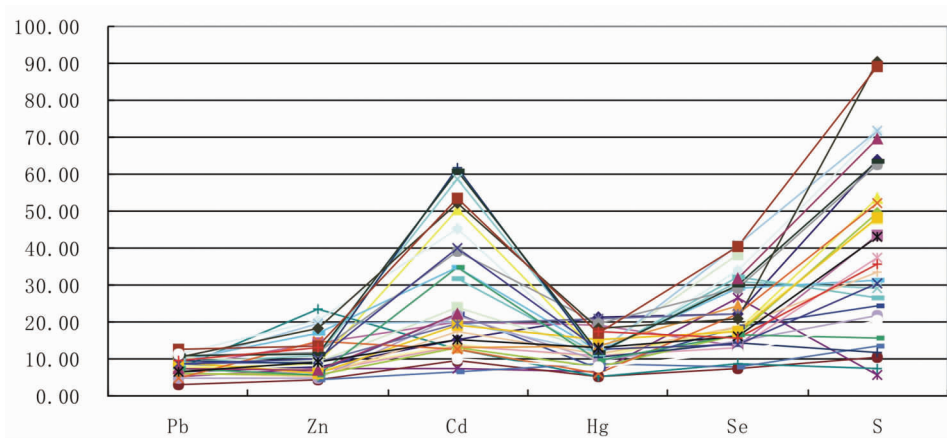


图 2 与燃煤有关的大气降尘元素的富集因子  
Fig.2 Enrichment factors plotted against coal burning elements

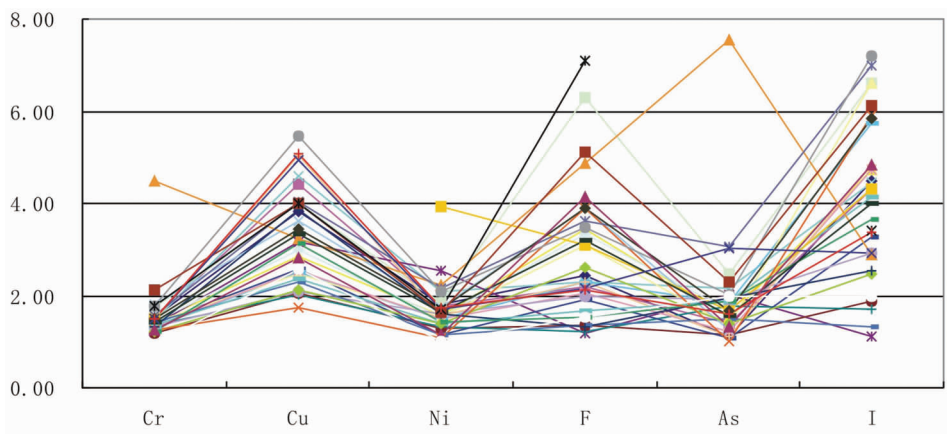


图 3 大气降尘中部分元素的富集因子  
Fig.3 Enrichment factors plotted against studied elements

表 3 不同地区大气中元素沉降通量比较

Table 3 Comparison of atmospheric deposition fluxes in different areas

地区	K 输入通量	Mg 输入通量	Cr 输入通量	Pb 输入通量	Zn 输入通量	Cu 输入通量	Ni 输入通量
河北省南部平原区	43302.816	49361.39	156.52	304.88	1689.72	137.11	72.41
太原盆地				309.7			
北京市平原区	33284.5	32362.61	118.55	219.95	544.92	141.95	66.01
成都经济区	20087.3	10163.1		459.5	1478.3		
地区	Mn 输入通量	Ca 输入通量	B 输入通量	As 输入通量	Cd 输入通量	Hg 输入通量	Mo 输入通量
河北省南部平原区	1269.47	119820.97	107.47	31.69	8.55	0.70	6.21
太原盆地				55.4	4.33	0.48	
北京市平原区	1111.56	92640.09	120.71	29.00	2.36	0.24	6.61
成都经济区	649.6	180736.2	57.3	27.7	17.7	1	9.2

注:输入通量单位为  $g/hm^2 \cdot a$ 。

养元素的沉降通量却低于北京平原区域。说明河北省南部平原区大气环境质量明显不如北京市平原区,但 Cd、Hg、Pb 等重金属有害元素输入通量远低于成都经济区。

### 3.2 南部平原不同区域大气干湿沉降输入通量

河北省南部平原不同地市之间在大气沉降通量及元素组合上均存在较大差异,其中:

1) 沧州大气干湿沉降中,K、P、Mg、Cr、Ni、Mn、N、B、Al 等元素是南部平原区域内输入通量最大者,上述元素的对应标准差亦最大。说明沧州地区大气干湿沉降量分布极不均匀,如沧州市内最高沉降量是最低沉降量的 49 倍。

2) K、P、Mg、Cr、Pb、Zn、Cu、Ni、Mn、N、B、F、As、Cd、Hg、Mo 等众多元素在邯郸地区的大气沉降中输入通量最低,且变化范围小,表明上述各元素的沉降量在邯郸地区分布较为均匀,大气质量在省内最好。

3) Cd、Hg、Mo、Se 元素输入通量最大的区域是省会石家庄,除 Hg 元素的标准差较大外,其余元素的标准差中等,说明石家庄地区上述燃煤元素组合均为高含量沉降,表明石家庄范围内的大气是受燃煤影响最重的区域。

## 4 结论

(1) 大气降尘元素相关性和富集因子分析表明,河北省南部平原区域大气降尘主要来源于土壤风沙尘,而 Cd、Hg、Se、S 元素受到燃煤污染叠加。

(2) 不同农田生态系统中大气降尘的元素输入通量对比表明,河北省南部平原区大气环境质量明显不如北京市平原区,但 Cd、Hg、Pb 等重金属元素输入通量远低于成都经济区。

(3) 在河北省南部平原区,沧州地区大气沉降中绝大多数元素输入通量最大,邯郸地区大气沉降中大多数元素输入通量最低,省会石家庄以燃煤元素(Cd、Hg、Mo、Se)的输入通量最大为特征。

### 参考文献(references):

- [1] Kloke A Saverbeck. Changing metal cycles and human health [M]. Berlin: Springer-verlag, 1984: 113-141.
- [2] 杨忠芳,侯青叶,余涛,等. 农田生态系统区域生态地球化学评价的示范研究:以成都经济区土壤 Cd 为例[J]. 地学前缘, 2008, 15(5): 23-35.  
Yang Zhongfang, Hou Qingye, Yu Tao, et al. An example of eco-geochemical assessment for agroecosystems: a study of Cd in Chengdu economic region [J]. Earth Science Frontiers, 2008, 15(5): 23-35(in Chinese with English abstract).
- [3] Garnaud S, Mouchel J M, Chebbo G, et al. Heavy metal concentrations in dry and wet atmospheric deposits in Paris district: comparison with urban runoff [J]. Sci.Total Environ., 1999, 235: 235-245.
- [4] Migon C, Journel B, Nicolas E. Measurement of trace metal wet, dry and total atmospheric fluxes over the Ligurian Sea [J]. Atmos. Environ., 1997, 31: 889-896.
- [5] 赖木收,杨忠芳,王洪翠,等. 太原盆地农田区大气降尘对土壤重金属元素累积的影响及其来源探讨 [J]. 地质通报, 2008, 27(2): 240-245.  
Lai Mushou, Yang Zhongfang, Wang Hongcui, et al. Effects of



- atmospheric fallouts on heavy metal elements accumulation in soils in farmland areas in the Taiyuan basin [J]. Geological Bulletin of China, 2008, 27(2):240-245(in Chinese with English abstract).
- [6] 丛源, 陈岳龙, 杨忠芳, 等. 北京平原区元素的大气干湿沉降通量 [J]. 地质通报, 2008, 27(2):257-264.  
Cong Yuan, Chen Yuelong, Yang Zhongfang, et al. Dry and wet atmospheric deposition fluxes of elements in the plain area of Beijing Municipality, China [J]. Geological Bulletin of China, 2008, 27(2):257-264(in Chinese with English abstract).
- [7] 汤奇峰, 杨忠芳, 张本仁, 等. 成都经济区农业生态系统土壤镉通量研究 [J]. 地质通报, 2007, 26(7):869-877.  
Tang Qifeng, Yang Zhongfang, Zhang Benren, et al. Cadmium flux in soils of the agroecosystem in the Chengdu economic region, Sichuan, China [J]. Geological Bulletin of China, 2007, 26(7):869-877(in Chinese with English abstract).
- [8] 汤奇峰, 杨忠芳, 张本仁, 等. 成都经济区 As 等元素大气干湿沉降通量及来源研究 [J]. 地学前缘, 2007, 14(3):213-222.  
Tang Qifeng, Yang Zhongfang, Zhang Benren, et al. A study of elements flux and sources from atmospheric bulk deposition in the Chengdu Economic Region [J]. Earth Science Frontiers, 2007, 14(3):213-222(in Chinese with English abstract).
- [9] 方凤满, 王起超, 李东侠, 等. 长春市大气颗粒汞及其干沉降通量 [J]. 环境科学, 2001, 22(2):60-63.  
Fang Fengman, Wang Qichao, Li Dongxia, et al. Atmospheric particulate mercury concentration in Changchun City and its dry deposition flux [J]. Environmental Science, 2001, 22(2):60-63(in Chinese with English abstract).
- [10] 杨丽萍, 陈发虎. 兰州市大气降尘污染物来源研究 [J]. 环境科学学报, 2002, 22(4):499-502.  
Yang Liping, Chen Fahu. Study on the source apportionment of atmospheric dust pollutants in Lanzhou [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2002, 22(4):499-502 (in Chinese with English abstract).
- [11] 姚德, 孙梅, 杨富贵, 等. 青岛城区土壤重金属环境地球化学研究 [J]. 中国地质, 2008, 35(3):539-550.  
Yao De, Sun Mei, Yang Fugui, et al. Environmental geochemistry of heavy metals in urban soils of Qingdao City [J]. Geology in China, 2008, 35(3):539-550(in Chinese with English abstract).
- [12] 息朝庄, 戴塔根, 黄丹艳. 湖南株洲市土壤重金属分布特征及污染评价 [J]. 中国地质, 2008, 35(3):524-530.  
Xi Chaozhuang, Dai Tagen, Huang Danyan. Distribution and pollution assessments of heavy metals in soils in Zhuzhou, Hunan [J]. Geology in China, 2008, 35(3):524-530 (in Chinese with English abstract).
- [13] Zoller W H, Galdney E S, Duce R A. Atmospheric concentrations and sources of trace metals at the South Pole [J]. Science, 1974, 183:199-201.
- [14] Hernandez L, Probst A, Probst J L, et al. Heavy metal distribution in some French forest soils: evidence for atmospheric contamination [J]. The Science of the Total Environment, 2003, 312:195-219.
- [15] Schiff K C, Weisberg S B. Iron as a reference element for determining trace metal enrichment in Southern California coastal shelf sediments [J]. Marine Environmental Research, 1999, 48:161-176.
- [16] Buat-Menard P, Chesselet P. Variable influence of the atmospheric flux on the trace metal chemistry of oceanic suspended matter [J]. Earth and Planetary Science Letters, 1979, 42:398-411.

## The distribution and source of atmospheric dustfall in the southern plain of Hebei Province

LI Sui-min, LUAN Wen-lou, SONG Ze-feng, CUI Xing-tao, WU Xing-guo

(Shijiazhuang College of Economy, Shiliaozhuang 050031, Hebei, China)

**Abstract:** From November 2007 to November 2008, the authors collected 48 samples of atmospheric dustfall in the southern plain of Hebei Province. All dustfall samples were analyzed for concentrations of Al, K, Ca, Cr, Cd, Pb, Se, Mo, I, F and S. The calculation of related coefficients and enrichment factors indicates that the primary source of the atmospheric dustfall is soil in the southern farmland, and some elements may be polluted by coal burning. The calculation of annual fluxes of elements show that the atmosphere quality of southern plain is obviously lower than that of the plain area of Beijing. The multi-elements annual fluxes are maximum in Changzhou City, and minimum in Handan City. The elements assemblage in Shijiazhuang City is characterized by Cd, Hg, Mo and Se, with the elements annual fluxes being maximum.

**Key words:** atmospheric dustfall; source; input flux; southern plain of Hebei Province

**About the first author:** LI Sui-min, male, born in 1971, doctor, associate professor, mainly engages in teaching and study of geochemistry and geoscience information processing; E-mail: smli71@163.com.