

文章编号 : 0254 - 5357(2007) 04 - 0275 - 06

合肥市土壤重金属元素异常及其生态效应

陈富荣, 陈永宁, 贾十军, 陈兴仁, 王晓莺, 邢润华, 丁相玉

(安徽省地质调查院, 安徽 合肥 230001)

摘要: 通过对合肥市及其周边地区表层土壤重金属元素异常空间分布特征的分析, 查明了生活和工业排污是形成 Hg、Cd、Pb、Zn 异常的主要原因, 相对于深层土壤, 表层土壤具有明显的富集特征, 自地表向下重金属元素含量呈迅速下降趋势。探讨了土壤重金属元素全量与有效量、土壤 pH 值的关系, 土壤重金属元素有效度大小排序为: Cd > Pb > Zn > Hg, Cd、Pb 有效量与全量相关性显著, 且与 pH 值呈负相关, 随着土壤 Cd、Pb 元素全量的增加以及土壤不断酸化, 其生态风险将显著增大。异常区土壤重金属的累积已造成部分蔬菜重金属超标, 进而影响到蔬菜食用安全性, 因此, 加强土壤环境质量保护, 对保证合肥市社会经济可持续发展具有重要意义。

关键词: 土壤; 重金属元素异常; 有效态; 生态效应; 合肥市

中图分类号: P596; S151.9 文献标识码: A

Heavy Metal Element Anomaly in Soils of Hefei City and Their Ecological Impacts

CHEN Fu-rong, CHEN Yong-ning, JIA Shi-jun, CHEN Xing-ren,

WANG Xiao-ying, XING Run-hua, DING Xiang-yu

(Anhui Institute of Geological Survey, Hefei 230001, China)

Abstract: It is identified that civil and industrial contaminations are the main sources of Hg, Cd, Pb and Zn heavy metal pollution in surface soils according to the study on spatial distribution characteristics of heavy metal anomaly in and around Hefei City based on the data from regional eco-geochemical survey. It is found that heavy metals are accumulated in topsoil layer and their contents decrease drastically to the sub-layers. The correlation of total content, available/extractable content of heavy metal elements and pH values of the soils are studied. The results show that the availability degree of heavy metal elements in soils decrease as follows: Cd > Pb > Zn > Hg. And the contents of extractable Cd and Pb have positive correlation with their total contents and have negative correlation with pH value of soils. Therefore, the ecological risk of Cd and Pb in soils will increase as the increase of their total contents and the decrease of soil acidity. Heavy metal contents in some vegetables produced in heavy metal anomaly areas have exceed National Food Safety Standards. Therefore, sufficient attention should be paid on environment protection of soils.

Key words: soil; heavy metal element anomaly; availability; ecological impact; Hefei City

随着城市化、工业化进程的高度发展, 城市生态环境问题已引起人们的广泛关注。城市土壤是城市生态系统的重要组成部分, 强烈的人为活动加

剧了重金属在土壤中的高度累积, 由此产生了一系列生态和环境效应。欧美一些发达国家已十分关注城市土壤重金属的污染程度, 并对许多城市土壤

收稿日期: 2007-03-10; 修订日期: 2007-04-25

基金项目: 中国地质调查局国土资源大调查项目资助(1212010310305)

作者简介: 陈富荣(1971-), 男, 安徽巢湖人, 工程师, 主要从事勘查地球化学、环境地球化学调查与研究。

E-mail: chfur@163.com.

重金属的污染状况进行了调查与填图^[1]。因此,查明城市土壤重金属分布被认为是处于十分重要的生态十字路口^[2],研究城市土壤重金属污染和生态效应显得十分重要。

合肥市位于安徽省中部、巢湖西北岸,是安徽省省会,市区面积596 km²,人口约175万。合肥市有着悠久的历史,近年来随着经济的持续发展,已成为一个新兴的工业城市,但由于城市化进程的加剧,合肥市及其周边地区生态环境正面临着巨大压力,特别是土壤重金属污染。本文通过对合肥市及其周边地区表层土壤重金属调查,研究了土壤重金属异常空间分布和成因,探讨了重金属元素迁移累积及其生态效应,为控制重金属污染提供理论依据,对指导城市布局规划、土地管护和推动经济持续发展具有重要的现实意义。

1 样品的采集与分析

1.1 研究区概况

研究区以合肥市为中心,覆盖面积1365 km²。区内广泛出露第四纪晚更新世下蜀组褐黄色粉质黏土,沿南淝河及巢湖周边分布有全新世南淝河组粉质黏土、淤泥质黏土、淤泥^[3],成土母质主要为晚更新世下蜀黄土及河流冲积物母质,市区土壤类型为黄褐土,周边以水稻土为主^[4]。

1.2 样点布设与取样方法

本项研究是“安徽省江淮流域区域生态地球化学调查”项目的工作内容之一。按照相关规范要求^[5],面积性土壤调查以1点/km²多点采集0~20 cm土壤样,测定54项指标。此外,根据Hg、Cd、Pb、Zn异常分布特征,综合考虑地理地貌、成土母质和土地利用方式,穿越南淝河和工业区布置土壤水平剖面一条,在大兴镇、大圩乡布置土壤垂直剖面17条,覆盖合肥市区开展了面积性降尘及各功能区降尘调查,位于重金属异常区(大兴镇、大圩乡)及背景区(三十岗乡等)采集了蔬菜样品和一定数量的土壤样品。

1.3 样品处理与分析方法^[6]

蔬菜样品先经切碎、打浆后再消化处理,土壤有效态样品经过风干、细磨、过筛(粒径<2 mm)后消化处理。消化液用电感耦合等离子体原子发射光谱法(ICP-AES)测定蔬菜Pb、Zn全量和土壤有效态Cd、Pb、Zn;石墨炉原子吸收光谱法(GFAAS)测定蔬菜Cd全量;原子荧光光谱法(AFS)测定蔬菜Hg全量和土壤有效态Hg;有效态酸性(中性)

土壤用稀HCl浸取,碱性土壤用联合提取法(DTPA)浸取。测定过程中,抽取20%的样品进行平行双样测定。

2 土壤重金属元素异常特征

表层土壤地球化学调查发现了面积约400 km²的Hg、Cd、Pb、Zn异常。采用地球化学统计法求取异常下限($T = X + 2s$),以土壤环境质量二级标准限值作为异常内带值所圈定的异常主体位于合肥市区,呈椭圆形沿南淝河展布,异常特征见表1。各元素异常空间分布显示(图1),Hg、Pb异常中心基本吻合,位于市中心老城区;Cd、Pb、Zn异常中、内带套合较好,分布在城区外围的工业区。

表1 合肥市表层土壤Hg、Cd、Pb、Zn元素异常参数

Table 1 Anomaly parameters of Hg, Cd, Pb and Zn in top soils in Hefei City

元素	面积/km ²	$w_B/10^{-6}$			衬度	pH	富集系数
		异常下限	极值	平均值			
Hg	>400	0.06	1.09	0.126	2.1	5.1~8.4	1.4~24.8
Cd	176	0.15	0.791	0.263	1.75	6.0~8.4	2.0~12.8
Pb	92	34.0	91.0	51.0	1.50	6.4~8.4	1.3~4.6
Zn	92	87.0	421.0	149.0	1.71	6.4~8.4	1.5~7.3

2.1 汞异常

2.1.1 表层土壤异常特征

表层土壤Hg异常位于合肥市区及周边城郊地区,面积>400 km²,沿南淝河呈南东向带状展布(图1)Hg异常分带明显。Hg含量大于 0.12×10^{-6} 的中带异常与合肥市建城区吻合,面积约72 km²;大于 0.24×10^{-6} 的内带异常面积约32 km²,可分成3个浓集中心。位于老城区的中部浓集中心最大,与二环路范围一致,Hg含量最高值为 1.09×10^{-6} ,平均值 0.577×10^{-6} 。北部异常浓集中心位于合肥发电厂附近,异常极值为 0.492×10^{-6} ;东南部浓集中心位于大兴镇附近,围绕氯碱化工厂、合肥钢厂等污染源分布,异常极值 0.294×10^{-6} 。

2.1.2 垂向分布特征

相对于深层土壤,Hg元素具有强烈的表层富集特征。由穿切南淝河土壤剖面Hg分布图可见(图2),虽然耕作层土壤中Hg含量平均值为 0.085×10^{-6} ,尚低于土壤环境质量一级标准限值^[7],但耕作土层中Hg富集趋势明显,除个别点外,由地表向下土壤Hg含量骤然下降。推断与南淝河污灌有关,长期污灌已使表层土壤中的Hg有所累积。

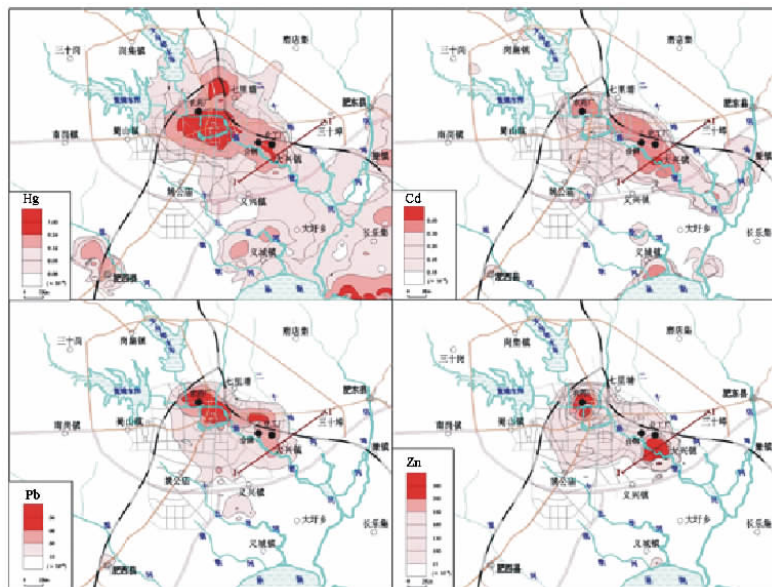


图 1 合肥市土壤 Hg、Cd、Pb、Zn 异常图

Fig. 1 Hg, Cd, Pb and Zn anomalies in top soils in Hefei City

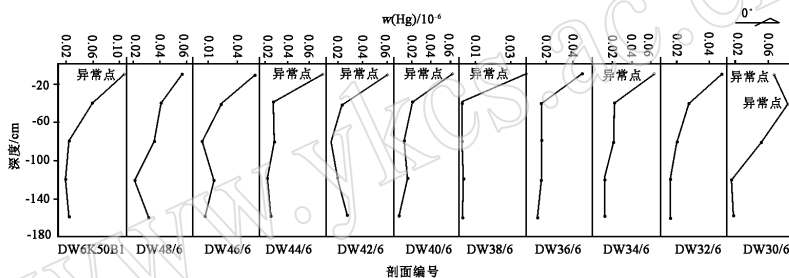


图 2 合肥市异常区大圩乡剖面 Hg 垂向分布

Fig. 2 Mercury distribution along vertical section of soils in Dawei township of Hefei anomalous areas

2.2 镉铅锌异常

2.2.1 表层土壤异常特征

Cd 元素以中、外带异常为主,面积约 176 km² (图 1),异常形态北宽南窄,北部与市区范围相当,南部沿南淝河呈带状展布。中带异常面积约 44 km²,Cd 含量平均值为 0.477×10^{-6} ;内带异常仅 4 km²,Cd 异常极值为 0.791×10^{-6} 。中带异常空间位置与合肥市工业区范围一致,位于市区东部大兴镇-七里塘镇一带,分布有氯碱化工厂、合肥钢厂、焦化厂、造纸厂等企业。

土壤 Pb 异常面积 92 km²,分布范围与合肥市区基本一致(图 1),以外带异常为主,Pb 含量最高值 91.0×10^{-6} ,平均值 51.0×10^{-6} ,高于合肥地区表层土壤平均值一倍。Pb 含量大于 60.0×10^{-6} 的高含量区分为两片:一为农药厂-市区中心-环路以内;二为大兴镇附近,推断与老城区生活排污及

工业污染源有关。

Zn 元素以外带异常为主,异常范围与合肥市区相当(图 1),面积约 92 km²,异常平均值 149.0×10^{-6} ,其中以大兴镇土壤 Zn 最高,达 421.0×10^{-6} 。两个浓集中心分别位于农药厂、合钢二厂,与工业污染源关系密切。

2.2.2 垂向分布特征

区域土壤 Cd、Pb、Zn 具有强烈的表层富集特征。由大兴镇异常区 5 条土壤垂向剖面研究结果表明,表层土壤 Cd、Pb、Zn 平均含量分别为 0.17×10^{-6} 、 62.7×10^{-6} 、 72.3×10^{-6} ,富集系数依次为 2.4~3.2、2.5~3.1、1.4~1.5,以 Cd、Pb 富集强度最大,显著高于下覆土壤(表 2)。总体上自地表向下各元素含量呈迅速下降趋势,20 cm 以下土层中 Cd 含量起伏变化最小,而 Zn 在 -(60~100) cm、-(140~180) cm 的土层中含量有所增高。

表 2 合肥市异常区大兴镇剖面 Cd、Pb、Zn 元素统计参数
Table 2 Statistic parameters of Cd, Pb and Zn distributing along vertical section of soils in Daxing town of Hefei anomalous area

剖面分层 深度/cm	Cd		Pb		Zn	
	w/10 ⁻⁶	富集系数	w/10 ⁻⁶	富集系数	w/10 ⁻⁶	富集系数
0~20	0.170	-	62.7	-	72.3	-
20~60	0.060	2.8	25.5	2.5	47.6	1.5
60~100	0.054	3.2	21.5	2.9	53.0	1.4
100~140	0.061	2.8	22.2	2.8	49.9	1.4
140~180	0.070	2.4	20.5	3.1	53.2	1.4

3 土壤重金属异常成因分析

异常区土壤剖面显示合肥市重金属元素异常仅存在于表层土壤。Hg 异常中心空间上与老城区和现代工业区分布相吻合,表明 Hg 异常与生活及工业污染有关,而 Cd、Pb、Zn 异常中心则与工业区(合钢、氯碱化工等企业)范围一致,反映了该异常与工业污染关系密切。据合肥市《环境质量报告书》^[8]调查结果,2005 年合肥市年均降尘量尤以异常区内农药厂北东的 63 号点及合钢北西的 65 号点最高(图 3),分别为 13.47 t/(km²·月)、13.33 t/(km²·月);其次为市中心的 70 号点[10.09 t/(km²·月)],区域降尘量高值分布区与重金属异常区基本一致。

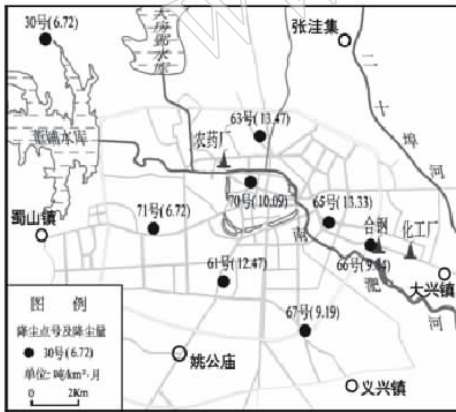


图 3 合肥市降尘量分布

Fig. 3 Distribution of atmospheric dust quantity in Hefei City

合肥市降尘调查表明,降尘中重金属元素含量远高于表层土壤,多为表层土壤的 1.5 倍以上(表 3),Cd 达 10.9 倍,尤其是交通尘中 Cd、Hg、Zn 含量最高。据合肥市环保监测资料统计,“十五”期间合肥市烟尘、工业粉尘排放量分别为 6.93 万吨、1.37 万吨^[8]。按照降尘元素含量计算,每年将有

106.7 kg 的 Cd 和 49.4 kg 的 Hg 带入市区土壤,显然,降尘是合肥市区土壤重金属的主要来源之一。

表 3 合肥市降尘 Hg、Cd、Pb、Zn 元素含量平均值
Table 3 Average contents of Hg, Cd, Pb and Zn in atmospheric dusts in Hefei City

元素	w _B /10 ⁻⁶			w _B /10 ⁻⁶		w _{降尘} w _{土壤}
	燃煤尘	冶金尘	交通尘	面积降尘	面积土壤	
Hg	0.451	0.607	0.779	0.595	0.069	8.6
Cd	0.624	0.371	2.031	1.286	0.118	10.9
Pb	235	74	149	163	28	5.8
Zn	384	203	916	604	64	9.4

市区外异常的延展与排污河流一致,“九五”期间合肥市工业废水排放的 Pb 累计达 17.69 吨/年,“十五”期间累计达 4.22 吨/年,2001 年年排放量 Hg 0.008 吨、Pb 1.01 吨^[8]。土壤剖面显示,重金属高含量区主要分布在二十埠河及工业区(图 4、图 5),而南淝河沿岸发育河流冲积物母质,土壤质地为砂壤或粉砂质黏土,具有较好的通透性,再加上农田污灌,形成了沿排污河流分布的具有一定深度和宽度的异常带。

4 土壤重金属元素存在形态及其影响因素

大兴异常区 117 件土壤样品中,碱性土壤占 52%,中性土壤占 36%,总体呈碱偏中性;大圩异常区 271 件样品中,中性土壤占 72.69%,酸性土壤占 25.09%,总体呈中偏酸性。

由图 6 可见,大圩乡 Hg、Pb 元素有效量与全量线性关系不明显,而在大兴镇则具有较明显的线性关系。背景区的 Cd、Zn 全量与有效量关系不明显,而异常区间则表现出明显的线性相关,反映出不同土壤环境及元素含量影响元素有效量的因素不尽相同。

利用土壤重金属元素的有效量占全量的比率,求取元素的有效度,有效度越高,元素活化能力越强,越易被植物吸收。研究表明^①,异常区与背景区土壤中 Hg、Cd、Pb、Zn 有效度接近(表 4)。以 Cd 有效度最高(>50%)、Pb、Zn 次之(10%~15%)、Hg 最低(<2%)。由全量与有效量的相关系数可以看出,背景区和异常区土壤有效 Hg 与全量均不相关,背景区的 Pb 呈弱相关,而异常区的 Cd、Pb、Zn 及背景区的 Cd、Zn 有效量与全量呈显著相关,表明随着土壤中 Cd、Pb、Zn 元素全量的增加,其有效量也相应增加,危害性将增大。

① 安徽省地质调查院. 合肥市江淮分水岭地区蔬菜基地重金属污染调查评价报告. 2006.

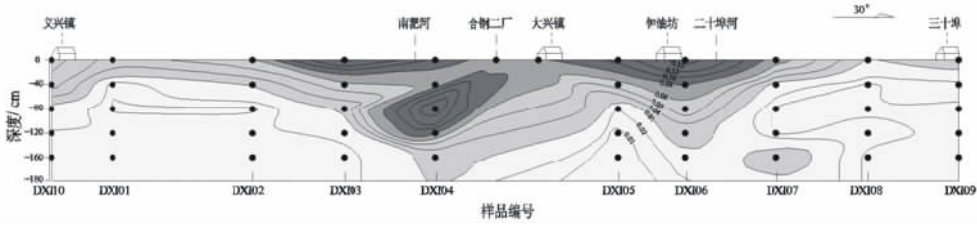


图 4 合肥市土壤剖面汞元素分布图

Fig. 4 Mercury distribution along a profile of soils in Hefei City
等值线含量单位为 10^{-6} 。

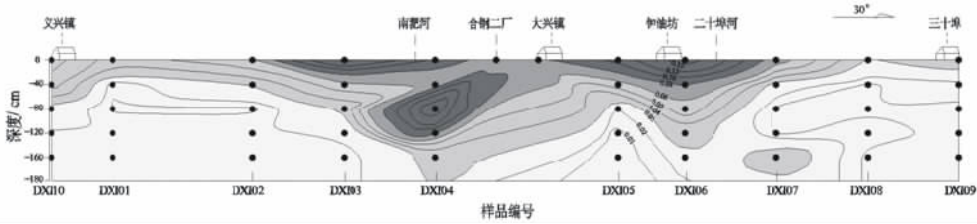


图 5 合肥市土壤剖面镉元素分布图

Fig. 5 Cadmium distribution along a profile of soils in Hefei City
等值线含量单位为 10^{-6} 。

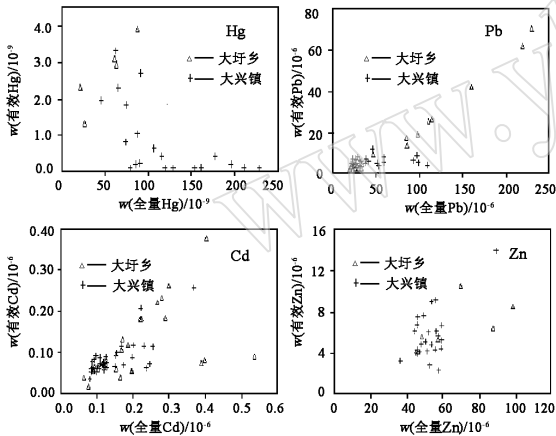


图 6 合肥市异常区土壤元素有效量与全量散点图

Fig. 6 Plots of total and available contents of Hg, Cd, Pb and Zn in top soils in Hefei anomalous area

表 4 土壤 Hg、Cd、Pb、Zn 元素有效量与全量关系

Table 4 Ratios of available species content to total species content of Hg, Cd, Pb and Zn in top soils and their correlation coefficients

元素	背景区			异常区		
	有效量/全量/%	相关系数	样品数/个	有效量/全量/%	相关系数	样品数/个
Hg	1.74	-0.20	99	1.29	-0.08	88
Cd	59.06	0.75	122	58.0	0.91	112
Pb	14.69	0.37	122	15.20	0.96	112
Zn	10.23	0.70	99	12.84	0.78	88

土壤酸碱度对重金属元素有效性也有重要影响。元素有效度与 pH 相关分析表明, Pb、Cd 与 pH 呈负相关(相关系数分别为 -0.46 、 -0.18), Hg 与 pH 呈正相关(0.354), 而 Zn 与 pH 相关性不明显, 说明土壤酸化(pH 下降)会增加 Pb、Cd 元素活度, 增强植物对 Pb、Cd 的吸收积累率, 加剧了该区土壤重金属的生态风险。

5 生态效应评价

在土壤重金属异常区和背景区共采集了 7 类 30 个品种 200 件蔬菜样品。与国标^[9]无公害蔬菜和食品卫生标准中重金属限量对比, 蔬菜超标率为 8%。超标元素主要为 Hg、Cd、Pb、Zn, 以 Cd 超标最多, 超标样品 10 件, Hg 有 4 件, Pb、Zn 各 2 件。18 件超标蔬菜中有 13 件产于土壤重金属异常区, 占超标蔬菜总量的 72.2%。由此可见, 合肥城郊土壤重金属累积已影响到蔬菜食用安全性, 土壤重金属富集是导致蔬菜重金属超标的重要原因。

6 结语

(1) 位于合肥市中心城区及其外围工业区表层土壤中存在 Hg、Cd、Pb、Zn 异常, 并沿着南淝河展布, 异常区内分布有多家大型污染企业。

(2) 表层土壤中的重金属元素含量明显高于深层土壤,呈显著的表层富集特征,自地表向下元素含量多呈迅速下降趋势。由于特定的成土母质、土壤质地以及农田污灌,在城郊区已形成与排污河流一致的具有一定深度和宽度的异常带。

(3) 生活垃圾和企业排污是土壤重金属的重要来源,是形成合肥市土壤重金属异常的主要原因。

(4) 表层土壤重金属元素有效度大小排序为: Cd > Pb > Zn > Hg,土壤 Cd、Pb 的有效量与全量相关性显著,Cd、Pb 与 pH 又呈负相关。显然,随着土壤 Cd、Pb 元素全量的增加和土壤不断酸化,其生态风险将显著增大。

(5) 不断酸化、富集重金属元素的土壤,已造成部分蔬菜重金属含量超标。因此,有效地控制污染物排放,加大土壤环境质量保护力度,对于科学处理城市发展与环境保护、推动地方经济持续发展具有重要意义。

7 参考文献

[1] Manta D S, Angelone M, Bellanca A, et al. Heavy

Metals in Urban Soils: A Case Study from the City of Palermo (Sicily), Italy[J]. *The Science of Total Environment* 2002, 300: 229 - 243.

[2] Thuy H T T, Tobschall H J, An P V, et al. Distribution of Heavy Metals in Urban Soil—A Case Study of Danang-Hoian Area (Vietnam) [J]. *Environmental Geology* 2000, 39(6): 602 - 609.

[3] 安徽省地质矿产局. 安徽省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1987: 192 - 200.

[4] 安徽省土壤普查办公室. 安徽土壤[M]. 北京: 科学出版社, 1996: 70 - 81.

[5] 中国地质调查局. DD 2005—01, 多目标区域地球化学调查规范[S].

[6] 中国地质调查局. DD 2005—03, 生态地球化学评价样品分析技术要求[S].

[7] 国家环境保护局南京环境科学研究所. 土壤环境质量详编[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1996: 23 - 29.

[8] 合肥市环保局. 2001 - 2005 年安徽省合肥市环境质量报告[R]. 2006: 51 - 71.

[9] GB 18406. 1—2001, 农产品安全质量无公害蔬菜安全要求[S].

书讯

中国生态环境地球化学图集

《中国生态环境地球化学图集》是由国土资源部(原地质矿产部)、卫生部、中国科学院三个部门下属 15 个单位联合开展的国家科委科技攻关项目的成果之一,由李家熙、吴功建教授主编。

该图集由 107 幅小比例尺(1:1200 万、1:1800 万和 1:2500 万)图组成,主要图类有元素地球化学图(48 幅)、水文地球化学图(6 幅)、土壤地球化学图(12 幅)、人体生命元素地球化学图(24 幅)、主要癌症图(6 幅)等。它反映了元素通过水载体,从岩石、土壤经农作物到人体的整个迁移转化过程,为广大从事地学、医学、环境科学研究和教学的人员提供了较为完整、翔实的生物环境地球化学方面的信息,既可作为宏观、微观研究及规划的依据,也能以其深邃的内在信息揭示潜在的环境问题。

该图集为 8 开本,由地质出版社出版发行,每册定价 450.0 元,需要者可与国家地质实验测试中心环境地球化学研究室联系订购。

地址:北京西城区百万庄路 26 号 国家地质实验测试中心

邮编:100037

联系人:刘晓端 李奇

电话:010-68320365;010-68999580