

DOI:10.16788/j.hddz.32-1865/P.2022.03.009

引用格式:邢润华,吴正,杜国强.安徽省宣州区土壤重金属污染风险评估及来源分析[J].华东地质,2022,43(3):336-344.
(XING R H, WU Z, DU G Q. Risk assessment and source analysis of soil heavy metal pollution in Xuanzhou District, Anhui Province[J]. East China Geology, 2022, 43(3):336-344.)

安徽省宣州区土壤重金属污染风险评估及来源分析

邢润华,吴正,杜国强

(安徽省地质调查院(安徽省地质科学研究所),安徽 合肥 230001)

摘要:利用1:25万土地质量地球化学调查数据,对安徽省宣州区土壤重金属污染风险进行评估,并开展土壤重金属来源解析。结果表明:研究区土壤重金属污染风险总体较低,低污染风险的土壤占74.64%;污染风险可控的土壤占25.04%,主要影响指标为Cd、As以及Cu、Hg、Pb、Zn;污染风险较高的土壤占0.32%,主要影响指标为Cd。重金属形态分析结果显示:土壤Cd、Pb生态风险高于As、Hg,其中As、Hg残渣态占比最高,Cd离子交换态占比最高,Pb残渣态和铁锰氧化物结合态占比较高。通过表层土壤、深层土壤元素含量相关性分析,推断区内土壤重金属主要来源于成土母质,局部地区土壤(Hg、Cd、Cu、Zn、As、Pb等高含量)主要受矿山开采、畜牧业养殖等人为活动影响。

关键词:土壤;重金属;污染风险评估;来源分析;安徽省宣州区

中图分类号:X53

文献标识码:A

文章编号:2096-1871(2022)03-336-09

土壤是地球上大部分生命活动不可缺少的重要资源,是陆地生态系统的组成部分,也是人类生存和农业发展的物质基础。土壤环境质量的好坏对于维护生态平衡、合理利用土地、保护人类身体健康、提高生活质量具有重要意义。随着工业化进程的不断加快,矿产资源的不合理开采及其冶炼排放、对土壤进行污水灌溉和污泥施用、人为活动引起的大气沉降、化肥和农药的施用等,均导致土壤污染愈加严重^[1-4]。而土壤污染具有隐蔽性、滞后性、累积性和不均匀性,尤其是重金属具有降解周期长、生物毒性强等特点,导致重金属对土壤的污染修复难度大,基本上是一个不可完全逆转的过程^[5-7]。环保部2014年全国土壤污染状况调查公报显示:我国土壤环境状况总体不容乐观,部分地区土壤污染较重,耕地土壤环境质量堪忧,全国土壤总超标率16.1%,污染类型以无机型为主,无机污染物超标点位占全部超标点位的82.8%,无机污染物含量增加较显著,镉、汞、砷、铅等无机污染物含量分布呈现由西北到东南、由东北到西南方向

逐渐升高的态势^[8]。

土壤中的元素含量是由自然背景和人为作用两部分叠加组成,成土母质(自然因素)较大程度决定了土壤的原始元素含量,人为因素(矿山开采^[9]、金属加工冶炼、化工生产^[10]、污水灌溉^[11]以及化肥农药施用^[12]等)导致重金属在土壤中不断富集。国内外学者对人为因素引起的土壤重金属污染进行了大量研究,但对地质高背景引起的土壤污染研究相对较少。一些研究者^[13-14]认为由地质高背景(自然因素)引起的土壤重金属含量高,其生态危害相对较小;另一些研究者^[1,15-16]研究认为土壤中重金属生物有效性与其成因来源关系密切。宣州区是安徽省重要粮食主产区,其土壤环境质量是保障农产品安全的前提。以往该区没有完整的土壤重金属含量及污染风险的相关资料,本文利用1:25万土地质量地球化学调查成果^[17-18],研究该区域土壤重金属的富集特征和存在形态,并对土壤重金属的成因来源进行分析,为宣州区土壤重金属污染风险等级评估及生物有效性研究提供有价值的信息。

* 收稿日期:2021-10-22 修订日期:2022-03-16 责任编辑:谭桂丽

基金项目:中国地质调查局“淮河流域经济区土地质量地球化学调查(编号:DD20160322)”项目资助。

第一作者简介:邢润华,1973年生,女,副高级工程师,大学本科,主要从事生态地球化学调查及地质矿产勘查工作。Email:785146117@qq.com。

1 研究区概况

研究区位于安徽省东南部,长江以南,隶属宣城市,地处皖南山区与长江中下游平原交接地带,属亚热带湿润季风气候,光热水气候条件优越,年均日照 2 072.5 小时,年均降雨量 1 324.8 mm,水资源丰富,是安徽省优质粮油产区。区内地势南高北低,南部低山高丘交错,中部丘陵岗地,北部以沿江平原和内河圩畈为主;土地资源以林地和水田为

主,其次为旱地和园地,土壤类型以水稻土和红壤为主,其次为黄褐土、石灰岩土、潮土以及紫色土等,红壤分布区是区内林、茶、桑、果的主要种植基地。成土母质以河流冲积物母质、红色碎屑岩类风化物母质、浅色碎屑岩类风化物母质、蠕虫状网纹红土母质、碳酸盐类风化物母质、晚更新世黄土母质为主。该区属扬子地层区,志留系—第四系均有出露,岩浆岩分布较少,断裂发育,多呈 NE 向展布(图 1),区内铜、钼等矿产资源较丰富。

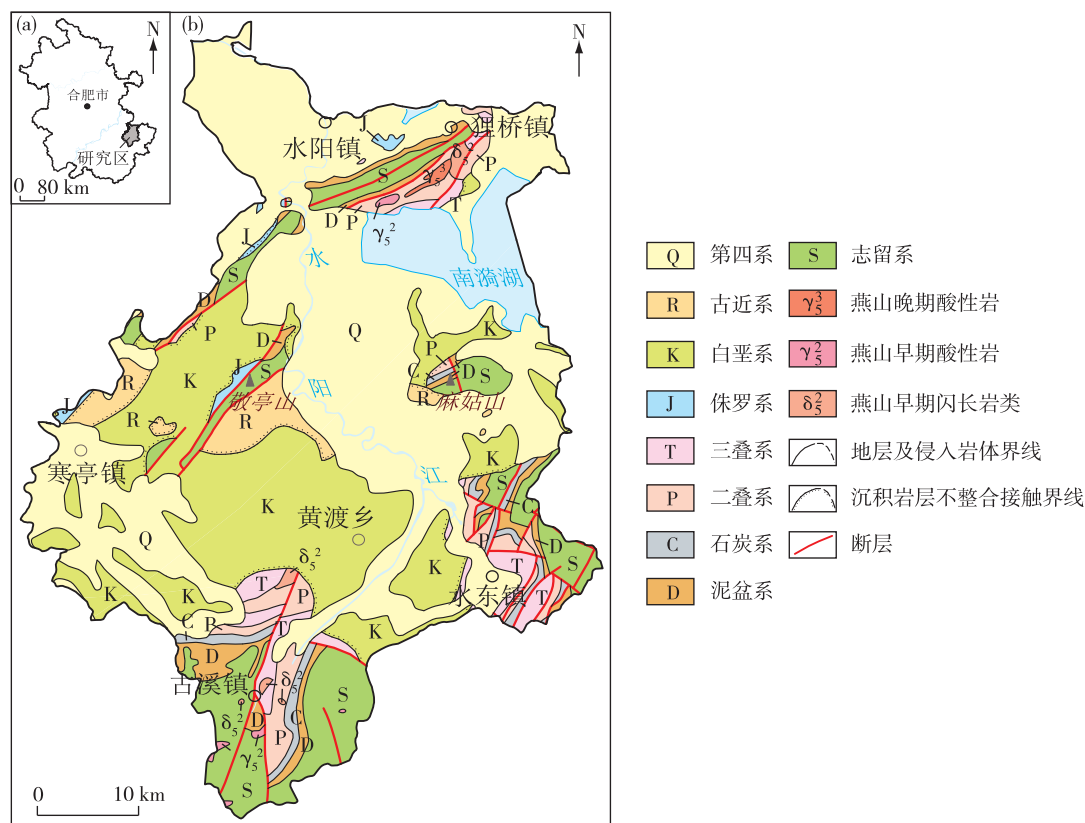


图 1 研究区位置(a)及地质简图(b)

Fig. 1 The location(a) and geology(b) map of the study area

2 样品采集及分析测试

2.1 样品采集

安徽省地质调查院在 2017 年承担的 1:25 万土地质量地球化学调查项目在研究区获取了高精度、高密度的土壤数据,共采集了表层土壤样 627 件(采样深度 0~20 cm,采样密度 1 个点/ km^2),深层土壤样 165 件(采样深度 150~200 cm,采样密度 1 个点/ 4 km^2),土壤经自然干燥,过 20 目尼龙筛,表层土壤以 4 km^2 为

组合单元、深层土壤以 16 km^2 为组合单元形成组合样品送分析测试。样品采集、加工、组合全程防污染。

2.2 分析测试

土壤样品分析测试在安徽省地质实验研究所(自然资源部合肥矿产资源监督检测中心)完成,测试指标包括 As、Cd、Cr、Cu、Hg、Ni、Pb、Zn、pH 等 54 项。样品分析采用的配套方案及分析方法检出限如表 1、表 2 所示,均达到或优于《DZ/T0258—2014 多目标区域地球化学调查规范(1:250 000)》^[19]及《DZ/T0295—2016 土地质量地球化学评价规

范》^[20]要求,实验室内部和外部质量控制方法及各项质量参数均满足规范要求。

表 1 土壤样品 8 项重金属元素分析方法及分析检出限

Table 1 The analytic methods and detection limits of 8 heavy metals in soil samples

分析项目	样重/g	样品处理方法	分析方法	要求检出限/ 10^{-6}	配套方法检出限/ 10^{-6}
Cr	5	粉末压片法	X 射线荧光光谱法(XRF)	5	3
Pb				2	2
Zn				4	2
Cu	0.2	HCl-HNO ₃ -HF-HClO ₄ 溶样	电感耦合等离子体光谱法(ICP-AES)	1	0.8
Ni				2	1
Cd				0.03	0.02
As	0.5	王水溶样	原子荧光光谱法(AFS)	1	0.2
Hg				0.000 5	0.000 5

表 2 土壤样品重金属元素形态分析方法

Table 2 The morphological analytic methods of heavy metals in soil samples

序号	相态	提取方法(超声提取)
1	水溶态	2.500 0 g 样 25 ml 水提取
2	离子交换态	残渣用 25 mL MgCl 溶液提取
3	碳酸盐结合态	残渣用 25 mL NaAc 溶液提取
4	腐殖酸结合态	残渣用 50 mL Na ₄ P ₂ O ₇ 溶液提取
5	铁锰氧化物结合态	残渣用 25 mL HONH ₃ Cl 溶液提取
6	强有机结合态	残渣用 8 mL H ₂ O ₂ -HNO ₃ 溶液 恒温水浴提取
7	残渣态	0.200 0 g 残渣, 四酸溶矿或 王水溶矿

3 土壤重金属元素地球化学特征

3.1 表层土壤重金属元素含量

研究区表层土壤重金属元素含量及地球化学参数统计结果见表 3。与皖江经济带土壤背景值^[21]相比,区内表层土壤 Hg、Cd、As 含量相对高(k_1 值分别为 1.58、1.54 和 1.33),其他元素含量相当(k_1 值为 0.86~1.09);与中国土壤背景值^[22]相比,本区表层土壤 Cd、Hg 含量相对高(k_2 值分别为 2.50 和 1.44),其他元素含量相当(k_2 值为 0.82~1.17)。变异系数可反映重金属元素受人为活动影响的程度,变异系数越大,表明其受人为干扰越强烈^[23-24]。区内 Cu 元素变异系数最大(CV=2.48),Hg、Cd、As、Zn 元素变异系数为 0.46~0.89,推测表层土壤 Cu、Hg、Cd、As、Zn 元素含量可能受人为因素影响较大。

表 3 研究区表层土壤 8 项重金属元素含量及地球化学参数统计结果

Table 3 The statistics of 8 geochemical parameters of heavy metals in topsoil of the study area

元素	极小值/ 10^{-6}	极大值/ 10^{-6}	中值/ 10^{-6}	均值/ 10^{-6}	标准差/ 10^{-6}	变异系数(CV)	皖江土壤背景值/ 10^{-6}	中国土壤背景值/ 10^{-6}	k_1	k_2
As	4.65	94.5	10.2	11.7	7.6	0.65	8.81	11	1.33	1.06
Cd	0.066	3.133	0.187	0.243	0.205	0.85	0.157	0.097	1.54	2.5
Cr	38.6	96.5	62.2	62.7	9.3	0.15	64.7	61	0.97	1.03
Cu	12.2	1493.6	19.9	25.4	63	2.48	24.9	23	1.02	1.1
Hg	0.022	1.327	0.078	0.093	0.083	0.89	0.059	0.065	1.58	1.44
Ni	10.1	42.9	20.7	22.1	5.9	0.27	25.7	27	0.86	0.82
Pb	20.4	146.5	28.9	30.5	8.8	0.29	28.1	26	1.09	1.17
Zn	33	418.8	56.1	65.2	29.7	0.46	71.1	74	0.92	0.88

注:变异系数(CV)=标准差/均值; k_1 为研究区表层土壤元素含量均值/皖江经济带土壤背景值; k_2 为研究区表层土壤含量均值/中国土壤背景值(中国环境监测总站 1990 年数据^[22])。

3.2 土壤重金属元素表生富集程度

深层土壤元素含量代表未经过人类明显作用、更接近自然丰度的土壤元素本底含量^[25-26];表层土壤元素含量代表经过现代工农业活动、受人为和自然因素共同作用的土壤元素含量。用表层土壤元素含量与同一采样单元内深层土壤元素含量的比值($k_{表深比}$)来判断表层土壤元素含量相对背景元素含量的富集或贫化^[27-28](表 4)。结果显示,研究区表层土壤 Cd、Hg 元素以相对富集和富集为主,Cr、Cu、Pb、Zn 元素以相对富集和含量相当为主,As、Ni 元素以含量相当和相对贫乏为主(图 2)。Cd、Hg 元素的表生富集除了与其自身的地球化学性质(土壤胶体、黏土矿物以及有机质等均对 Cd、Hg 元素有强烈的吸附作用^[29])有关,人类活动影响应该也是主要原因。

表 4 表层土壤元素富集程度分级

Table 4 The classification of element enrichment in topsoil					
$k_{表深比}$	≤ 0.5	$0.5 \sim 0.8$	$0.8 \sim 1.2$	$1.2 \sim 2.0$	> 2.0
富集程度	贫乏	相对贫乏	含量相当	相对富集	富集

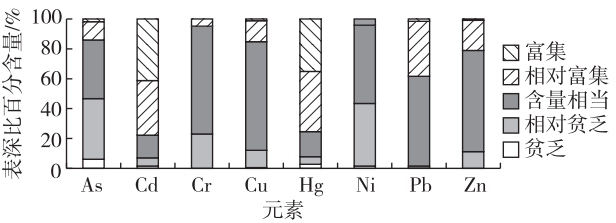


图 2 土壤重金属元素表深比统计柱状图

Fig. 2 The statistical histogram of the content ratio of heavy metals in topsoil to those in deep soil

3.3 土壤重金属元素污染风险分级

依据《GB15618—2018 土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准(试行)》^[30]中 8 项重金属元素污染风险筛选值及管制值标准,对研究区土壤重金

属元素污染风险等级进行划分。因区内耕作方式多为水旱轮作,筛选值采用较严格标准(As、Hg 取水田标准,Cd、Pb、Cr、Cu 取其他标准),统计结果(表 5)表明,研究区土壤污染风险总体较低,627 件土壤样中 468 件重金属含量低于筛选值,低污染风险土壤面积占全区总面积的 74.64%;污染风险可控(重金属含量介于筛选值和管制值之间)土壤样 157 件,主要分布在水阳江沿岸以及研究区南部古溪—新田镇一带,在水东镇和狸桥镇也有少量分布,主要影响指标为 Cd 元素(样品数 153 件),其次为 As 元素(样品数 16 件),Cu、Hg、Pb、Zn 元素污染风险可控土壤样品数为 2~6 件;超过风险管制值土壤样仅有 2 件,在狸桥镇和水东镇呈点状分布,具有较高污染风险,影响指标为 Cd 元素。因此,研究区土壤重金属污染风险等级由高到低为 $Cd > As > Cu、Hg、Pb、Zn > Ni、Cr$,其中 Ni、Cr 含量均低于筛选值,污染风险最低。

3.4 土壤重金属元素生态效应评价

在污染风险可控土壤及较高污染风险土壤区采集了 16 件水稻样,参照《GB2762—2017 食品安全国家标准 食品中污染物限量》^[31],分析发现有 3 件水稻籽实重金属含量超标(2 件 Cd 超标、1 件 Pb 超标),对应根系土样品有 1 件重金属含量超过管制值,2 件重金属元素含量介于筛选值与管制值之间。进一步对根系土重金属元素形态进行分析,发现土壤中 Cd 元素离子交换态比例最高(占比 46.9%~75.4%),说明土壤 Cd 活性较强,易从土壤中释放进入植物体。土壤 Pb 元素以残渣态和铁锰氧化物结合态为主,残渣态占比 39.6%~48.3%,铁锰氧化物结合态占比 31.4%~35.9%,较高比例的铁锰氧化物结合态 Pb 在土壤氧化条件下活性增加,易进入植物体。As、Hg 元素均以残渣态占比最高,As 残渣态占比 62.6%~80.0%,Hg 残渣态占比 79.7%~93.8%,说明土壤中 As、Hg 多滞留在土

表 5 研究区土壤污染风险等级统计结果

Table 5 The statistics of soil pollution risk levels in the study area

土壤污染风险等级	样品数量/件							
	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
低污染风险土壤	611	472	627	621	623	627	625	625
污染风险可控土壤	16	153	0	6	4	0	2	2
较高污染风险土壤	0	2	0	0	0	0	0	0

壤中,不易进入植物体。根系土形态分析结果显示,土壤重金属 Cd、Pb 活性高于 As、Hg,说明其生态风险高于 As、Hg,高含量的 Cd、Pb 可能引起水稻籽实中 Cd、Pb 超标。

4 土壤重金属元素来源分析

土壤中重金属元素主要有自然来源和人为输入两种途径。自然因素中成土母质对土壤重金属元素含量的影响较大,而人为因素中以工业、农业和交通等输入占比较高^[32-33]。本文通过对比表层土壤和深层土壤元素含量来解析土壤中重金属元素的来源。

4.1 成土母质对表层土壤重金属元素含量的影响

因表层土壤重金属元素含量是自然因素叠加人为因素共同作用的结果,而深层土壤重金属元素未受人类活动影响,更接近土壤本底(即成土母质)含量,因此,可以通过分析表层土壤与深层土壤重金属元素含量的相关性来判断表层土壤对成土母质的继承性^[34-35]。本文采用两种统计方法:一是对研究区全部土壤数据进行统计,二是剔除高异常值

后再进行统计。两种方法的表层土壤、深层土壤重金属元素的相关系数见表 6。研究区全部土壤数据(627 件)相关性统计结果显示:表层土壤、深层土壤 As、Cd、Cr、Hg、Ni、Pb、Zn 元素含量均显著相关,相关系数为 0.107~0.516,相关性从高到低为 Ni、Zn>As、Pb、Cr、Cd>Hg,而 Cu 元素在表层土壤和深层土壤的相关性不明显。剔除高异常值后,数据相关性统计结果显示:表层土壤、深层土壤 8 项重金属元素均显著相关,相关系数为 0.397~0.780,且相比于全部土壤数据统计结果,剔除高异常值后所有元素的相关性均明显增加,尤其是 Cu、Cd、Hg、As。其中,Cu 元素在剔除高异常值后,表层土壤、深层土壤 Cu 由原来的相关性不明显转为显著相关,相关系数达 0.631;表层土壤、深层土壤相关性从高到低为 Zn、As、Cd、Cu>Pb、Ni>Hg、Cr(表 6,图 3)。上述显著相关性反映了表层土壤对成土母质的继承性,表明表层土壤中的重金属元素主要来源于成土母质,剔除高异常值后相关性明显增加的 Cu、Cd、Hg、As 元素反映高异常土壤可能受到后期人类活动的影响。

表 6 研究区表层土壤、深层土壤重金属元素相关系数

Table 6 The correlation coefficients of heavy metals in top and deep soil of the study area

Pearson 相关系数	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
原始数据(n=627)	0.432 **	0.300 **	0.394 **	0.04	0.107 **	0.525 **	0.407 **	0.516 **
剔除高异常值数据	0.712 **	0.673 **	0.397 **	0.631 **	0.407 **	0.525 **	0.565 **	0.780 **
	n=613	n=611	n=624	n=619	n=616	n=627	n=622	n=620

注: ** 表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关。

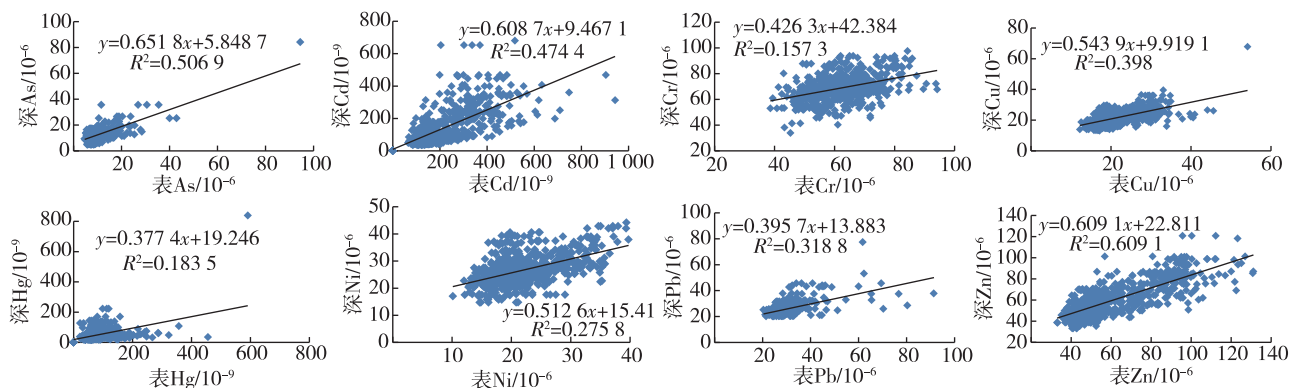


图 3 表层、深层土壤重金属元素相关性分析

Fig. 3 Relationships between the contents of heavy metals in top soils and that in deep soils

4.2 人类活动对表层土壤重金属元素含量的影响

表层土壤、深层土壤的相关性分析不仅能反映表层土壤重金属元素含量受成土母质的影响程度,同时剔除的高异常值也反映了表层土壤在部分地区受到人类后期活动的影响,因此可以通过表深比值($k_{表深比}$)推测表层土壤受人类后期活动的影响程度,表深比值越高,受人类活动影响越大。研究区土壤重金属元素表深比值统计结果见表 7,对比各元素表深比最高值,Cu、Cd、Hg 元素最高表深比分别为 69.07、33.65 和 27.94,说明这 3 个元素在表层土壤中存在高异常,推测这些地段受人类活动影响较大;Pb、As、Zn 表深比最高值分别为 4.67、5.50 和 8.20,这些较高异常值反映所在区域土壤可能受

人类活动影响较大;而 Ni、Cr 表深比最高值都不到 2,说明表层土壤 Ni、Cr 元素受人类活动影响较小。以表深比的平均值+3 倍标准偏差为异常下限作土壤重金属元素高值异常图(图 4),结合研究区矿床(点)以及采矿用地分布可知,在狸桥镇、古溪镇以及水东镇一带的土壤重金属高值异常主要分布在矿山及周边地区,多为铜、锰、铅锌、萤石和煤等采矿用地,矿山开采及选冶活动都可能将 As、Cd、Hg 等污染元素以及 Cu、Pb、Zn 等矿物元素带入土壤中,从而增加土壤中这些元素的含量。敬亭山北部的高值异常经实地调查发现该地曾有过规模化畜牧业养殖,这可能是造成表层土壤中重金属元素高含量的主要原因。

表 7 研究区土壤重金属元素表深比值统计结果

Table 7 The statistics of the content ratio of heavy metals in top soils to that in deep soils in the study area

$k_{表深比}$	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
平均值	0.91	2.11	0.92	1.17	2.07	0.84	1.18	1.07
最大值	5.50	33.65	1.57	69.07	27.94	1.66	4.67	8.20
异常下限	2.33	8.29	1.37	9.94	7.53	1.43	2.03	2.45

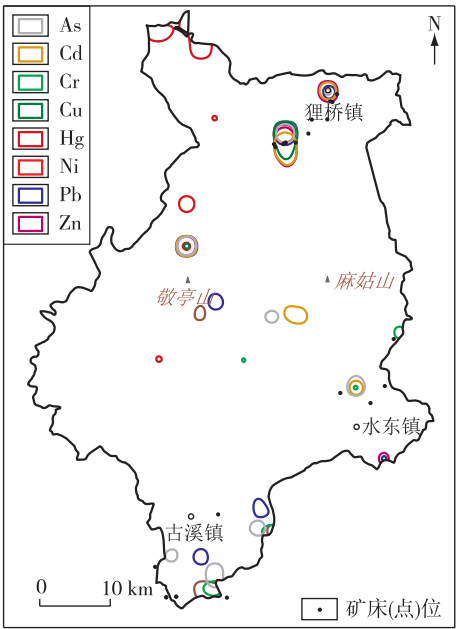


图 4 土壤重金属元素高值异常图

Fig. 4 The high-content anomaly of heavy metal in soils

5 结论

(1)安徽省宣州区土壤重金属污染风险总体较

低,468 件土壤样低于风险筛选值,157 件土壤样介于筛选值与管制值之间(影响元素以 Cd、As 为主),2 件土壤样高于管制值(影响元素为 Cd)。

(2)安徽省宣州区土壤 Cd 离子交换态占比高、Pb 铁锰氧化物结合态占比较高,As、Hg 残渣态占比高,反映研究区土壤 Cd、Pb 的生态风险高于 As、Hg,在土壤污染风险较高区种植的水稻可能存在 Cd、Pb 超标的风险。

(3)通过表层土壤、深层土壤元素含量相关性分析以及表深比值法,发现研究区表层土壤重金属元素含量主要受自然因素影响,主要来源于成土母质,局部地区 Hg、Cd、Cu、Zn、As、Pb 等高含量受矿山开采、畜牧业养殖等外源因素的叠加作用影响。

参考文献

[1] 骆永明,滕应.我国土壤污染的区域差异与分区治理修复策略[J].中国科学院院刊,2018,33 (2):145-152.
LUO Y M, TENG Y. Regional Difference in Soil Pollution and Strategy of Soil Zonal Governance and Remediation in China[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2018, 33 (2): 145-152.

- [2] 庄国泰.我国土壤污染现状与防控策略[J].中国科学院院刊,2015,30(4):477-483.
ZHUANG G T. Current Situation of National Soil Pollution and Strategies on Prevention and Control[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2015, 30(4): 477-483.
- [3] 张亚婕,王瑞玲,陈志强.农田土壤环境质量预警研究[J].河南科技,2007(3):10-11.
ZHANG Y J, WANG R L, CHEN Z Q. Early warning research of farmland soil environmental quality[J]. Henan Science and Technology, 2007(3): 10-11.
- [4] 周建军,周桔,冯仁国,等.我国土壤重金属污染现状及治理战略[J].中国科学院院刊,2014,29(3):315-320.
ZHOU J J, ZHOU J, FENG R G, et al. Status of China's heavy metal contamination in soil and its remediation strategy[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2014, 29(3): 315-320.
- [5] 王玉军,吴同亮,周东美,等.农田土壤重金属污染评价研究进展[J].农业环境科学学报,2017,36(12):2365-2378.
WANG Y J, WU T L, ZHOU D M, et al. Advances in soil heavy metal pollution evaluation based on bibliometrics analysis[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2017, 36(12): 2365-2378.
- [6] 金艳,何德文,柴立元.重金属污染评价研究进展[J].有色金属,2017,59(2):100-104.
JIN Y, HE D W, CHAI L Y. Review on Pollution Assessment of Heavy Metals[J]. Nonferrous Metals, 2017, 59(2): 100-104.
- [7] 郑喜坤,鲁安怀,高翔,等.土壤中重金属污染现状与防治方法[J].土壤与环境,2002,11(1):79-84.
ZHENG X S, LU A H, GAO X, et al. Contamination of heavy metals in Soil present situation and method[J]. Soil and Environmental Sciences, 2002, 11(1): 79-84.
- [8] 环境保护部,国土资源部.全国土壤污染状况调查公报[EB/OL]. (2014-04-17). http://www.zhb.gov.cn/gkml/hbb/qt/201404/t20140417_270670.htm.
Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China, Ministry of land and Resources of the People's Republic of China. Report on the national general survey of soil contamination[EB/OL]. (2014-04-17). http://www.zhb.gov.cn/gkml/hbb/qt/201404/t20140417_270670.htm.
- [9] 金昭贵,周明忠.遵义松林 Ni-Mo 矿区耕地土壤的镉污染及潜在生态风险评价[J].农业环境科学学报,2012,31(12):2367-2373.
JIN Z G, ZHOU M Z. An assessment on contamination and potential ecological risk of cadmium and arsenic in the cultivated soils around the Ni-Mo mining area in Songlin, Zunyi, China [J]. Journal of Agro-Environment Science, 2012, 31(12): 2367-2373.
- [10] 李军辉,卢瑛,张朝,等.广州石化工业区周边农业土壤重金属污染现状与潜在生态风险评价[J].土壤通报,2011,42(5):1242-1246.
LI J H, LU Y, ZHANG C, et al. The status quo and potential ecological risks' assesment of heavy metals in agricultural soils near a petrochemical complex in Guangzhou[J]. Journal of Soil Science, 2011, 42(5): 1242-1246.
- [11] 陈涛,常庆瑞,刘京,等.长期污灌农田土壤重金属污染及潜在环境风险评价[J].农业环境科学学报,2012,31(11):2152-2159.
CHEN T, CHANG Q R, LIU J, et al. Pollution and potential environment risk assessment of soil Heavy metals in sewage irrigation Area[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2012, 31(11): 2152-2159.
- [12] 郭海全,郝俊杰,李天刚,等.河北平原土壤重金属人为污染的富集因子分析[J].生态环境学报,2010,19(4):786-791.
GUO H Q, HAO J J, LI T G, et al. Application of an enrichment factor in determining anthropogenic pollution of heavy metal in topsoil in Hebei plain[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2010, 19(4): 786-791.
- [13] 周国华.土壤重金属生物有效性研究进展[J].物探与化探,2014,38(6):1097-1106.
ZHOU G H. Recent progress in the study of heavy metal bioavailability in soil[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2014, 38(6): 1097-1106.
- [14] 刘意章,肖唐付,熊燕,等.西南高锡地质背景区农田土壤与农作物的重金属富集特征[J].环境科学,2019,40(6):2877-2884.
LIU Y Z, XIAO T F, XIONG Y, et al. Accumulation of heavy metals in agricultural soils and crops from an area with high geochemical background of cadmium, southwestern China[J]. Environmental Science, 2019, 40(6): 2877-2884.
- [15] WEN Y, LI W, YANG Z, et al. Evaluation of various approaches to predict cadmium bioavailability to rice grown in soils with high geochemical background in the karst region, Southwestern China [J]. Environmental Pollution, 2020, 258: 113645.
- [16] 彭敏.西南典型地质高背景区土壤-作物系统重金属迁移富集特征与控制因素[D].北京:中国地质大学(北

- 京),2020.
- PENG M. Heavy metals in soil-crop system from typical high geological background areas, Southwest China: transfer characteristics and controlling factors [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing),2020.
- [17] 邢润华,吴正,李朋飞,等.皖南岳西—宁国(旌德—宁国片)1:25万土地质量地球化学调查[R].合肥:安徽省地质调查院,2019:181-182.
- XING R H, WU Z, LI P F, et al. Geochemical survey of 1:250 000 land quality in Yuexi-Ningguo (Jingde-Ningguo area), southern Anhui Province [R]. Hefei: Geological Survey of Anhui Province, 2019:181-182.
- [18] 贾十军,陶春军,史春鸿,等.安徽省宣州—广德盆地多目标区域地球化学调查[R].合肥:安徽省地质调查院,2013:173-174.
- JIA S J, TAO C J, SHI C H, et al. Multi-objective regional geochemical survey of Xuanzhou-Guangde basin, Anhui Province [R]. Hefei: Geological Survey of Anhui Province, 2013:173-174.
- [19] 国土资源部.DZ/T0258—2014 多目标区域地球化学调查规范(1:250 000)[S].北京:中国标准出版社,2014:3-22.
- Ministry of land and Resources of the People's Republic of China. DZ/T0258—2014 Specification of multi-purpose regional geochemical survey(1:250 000) [S]. Beijing: Standards Press of China, 2014: 3-22.
- [20] 国土资源部.DZ/T0295—2016 土地质量地球化学评价规范[S].北京:地质出版社,2016:8-22.
- Ministry of land and Resources of the People's Republic of China. DZ/T0295—2016 Specification of land quality geochemical assessment [S]. Beijing: Geological Publishing House, 2016: 8-22.
- [21] 陈富荣,邢润华,李明辉,等.皖江经济带土地质量区域地球化学调查评价综合研究[R].合肥:安徽省地质调查院,2020:62-63.
- CHEN F R, XING R H, LI M H, et al. Comprehensive study on regional geochemical investigation and evaluation of land quality in the Wan-jiang economic zone [R]. Hefei: Geological Survey of Anhui Province, 2020:62-63.
- [22] 迟清华,鄢明才.应用地球化学元素丰度数据手册[M].北京:地质出版社,2007:80-88.
- CHI Q H, YAN M C. Handbook of Elemental Abundance for Applied Geochemistry [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2007:80-88.
- [23] 吕建树,张祖陆,刘洋,等.日照市土壤重金属来源解析及环境风险评价[J].地理学报,2012,67(7):109-122.
- LV J S, ZHANG Z L, LIU Y, et al. Sources identification and hazardous risk delineation of heavy metals contamination in Rizhao City [J]. Acta Geographica Sinica, 2012, 67(7):109-122.
- [24] 李卫平,王非,杨文焕,等.包头市南海湿地土壤重金属污染评价及来源解析[J].生态环境学报,2017,26(11):1977-1984.
- LI W P, WANG F, YANG W H, et al. Pollution assessment and source apportionment of heavy metals in Nan Hai wetland soil of Baotou City [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2017, 26(11):1977-1984.
- [25] 周国华,马生明,喻劲松,等.土壤剖面元素分布及其地质环境意义[J].地质与勘探,2002,38(6):70-75.
- ZHOU G H, MA S M, YU J S, et al. Vertical distribution of elements in soil profiles and their significance for geological and environmental [J]. Geology and Exploration, 2002, 38(6):70-75.
- [26] 陈国光,梁晓红,周国华,等.土壤元素污染等级划分方法及其应用[J].中国地质,2011,38(6):1631-1639.
- CHEN G G, LIANG X H, ZHOU G H, et al. Grade division method for soil geochemical contamination and its application [J]. Geology in China, 2011, 38(6):1631-1639.
- [27] 张明,杨忠芳,陈岳龙,等.湖南洞庭湖地区土壤Hg的来源[J].地质通报,2007,26(11):1464-1469.
- ZHANG M, YANG Z F, CHEN Y L, et al. Sources of Hg in soils of the Dongting Lake area, Hunan, China, [J]. Geological Bulletin of China, 2007, 26(11):1464-1469.
- [28] 张明,陈国光,刘红樱,等.长江三角洲地区土壤重金属含量及其分异特征[J].土壤通报,2012,43(5):1098-1103.
- ZHANG M, CHEN G G, LIU H Y, et al. Spatial distribution characteristics of heavy metal in soils of Yangtze River Delta [J]. Journal of Soil Science, 2012, 43(5):1098-1103.
- [29] 尹国庆,江宏,王强,等.安徽省典型区农用地土壤重金属污染成因及特征分析[J].农业环境科学学报,2018,37(1):96-104.
- YIN G Q, JIANG H, WANG Q, et al. Analysis of the sources and characteristics of heavy metals in farmland soil from a typical district in Anhui Province [J]. Journal of Agro-Environment Science, 2018, 37(1):96-104.
- [30] 中华人民共和国生态环境部.GB15618—2018 土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准(试行)[S].北

- 京:中国环境出版集团,2019:2-3.
- Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China. GB15618—2018 Soil environmental quality Risk control standard for soil contamination of agricultural land[S]. Beijing: China Environment Publishing Group,2019:2-3.
- [31] 中华人民共和国卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局. GB2762—2017 食品安全国家标准食品中污染物限量[S].北京:中国标准出版社,2017:2-8.
- The National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, China Food and Drug Administration. GB2762—2017 National food safety standard Contamination Limit in Food [S]. Beijing: Standards Press of China,2017:2-8.
- [32] 谢小进,康建成,李卫江,等.上海宝山区农用地土壤重金属分布与来源分析[J].环境科学,2010,31(3):768-774.
- XIE X J, KANG J C, LI W J, et al. Analysis on heavy metal concentrations in agricultural soils of Baoshan, Shanghai[J]. Environmental Science, 2010, 31(3):768-774.
- [33] 赖斯颖,曹容浩,谭桂丽.福建省龙海市南部表层土壤重金属元素累积特征研究[J].华东地质,2021,42(1):29-36.
- LAI S Y, CAO R H, TAN G L. Study on accumulation characteristics of heavy metal elements in topsoil of southern Longhai City, Fujian province[J]. East China Geology, 2021, 42(1):29-36.
- [34] 代杰瑞,庞绪贵,喻超,等.山东省东部地区土壤地球化学基准值与背景值及元素富集特征研究[J].地球化学,2011,40(6):577-586.
- DAI J R, PANG X G, YU C, et al. Geochemical baseline and background values and element enrichment characteristics in soils in eastern Shandong Province [J]. Geochimica, 2011, 40(6):577-586.
- [35] 成杭新,李括,李敏,等.中国城市土壤化学元素的背景值与基准值[J].地学前缘,2014,21(3):265-306.
- CHENG H X, LI K, LI M, et al. Geochemical background and baseline value of chemical elements in urban soil in China[J]. Earth Science Frontiers, 2014, 21(3):265-306.

Risk assessment and source analysis of soil heavy metal pollution in Xuanzhou District, Anhui Province

XING Runhua, WU Zheng, DU Guoqiang

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

Abstract: Based on 1:250 000 geochemical survey data of land quality in Xuancheng City of Anhui Province, the authors assessed the risk of soil contamination by heavy metals and analyzed the source of heavy metals. The overall risk of heavy metal contamination was relatively low: the soils with low and controllable risks of contamination account for 74.64% and 25.04% respectively, and their major concern contaminants are Cd and As, followed by Cu, Hg, Pb and Zn. The soils with higher risk of contamination account for 0.32%, and the major concern is Cd. Form analysis of the heavy metals indicated that the ecological risk of Cd and Pb was higher than that of As and Hg in the soils, and As and Hg were the highest in residual form, Cd is the highest in the form of ion exchange, and Pb is higher in residual form and Fe-Mn oxide. Through the correlation analysis between the contents of a heavy metal in the top soil and that in deep soil, it is suggested that the heavy metals in the soils mainly came from the parent materials of the soils, and the high contents of Hg, Cd, Cu, Zn, As and Pb in some local areas mainly migrated from mining, animal husbandry and other human activities.

Key words: soil; heavy metals; pollution risk assessment; source analysis; Xuanzhou District of Anhui Province