

大冶市农田土壤中镉的空间分布特征及污染评价^①

杜平¹, 赵欢欢¹, 王世杰², 张兆君³, 李慧颖²,
韩春媚⁴, 伍斌¹, 李发生¹

(1 中国环境科学研究院环境基准与风险评估重点实验室, 北京 100012; 2 北京市环境保护科学研究院, 北京 100037;

3 大冶市环境保护监测站, 湖北大冶 435100; 4 北京建工环境修复有限责任公司, 北京 100045)

摘要: 矿山开采和冶炼是造成土壤重金属 Cd 污染的主要原因, 了解典型区域土壤中 Cd 的空间分布特征及其污染现状, 可为区域土壤污染防治与安全利用提供重要信息。本研究针对湖北省大冶市所有农田采集 92 个表层土壤样品和 3 个土壤剖面, 利用 GIS 方法对土壤重金属 Cd 空间分布特征及污染状况进行了研究。结果表明大冶市土壤中 Cd 的含量范围为 0.6~4.6 mg/kg, 平均值为 1.41 mg/kg, Cd 迁移深度可达 40 cm。区域内土壤 Cd 污染范围较广, 空间变异较大, 还地桥镇、罗桥街办、陈贵镇等地农田土壤 Cd 含量较高。地积累指数评价结果显示大冶市大部分农田土壤为轻度、中度污染程度, 在合理调整种植结构等方式下仍可保障农田安全利用。

关键词: 农田土壤; 重金属; 镉; 空间分布; 污染评价

中图分类号: X53

近来,“镉大米”问题再一次摆到公众面前,在社会上引起了广泛关注,土壤 Cd 污染问题也再一次为社会各界所关注和热议。矿石开采、冶炼加工等是导致环境中重金属 Cd 污染的主要原因^[1],也是农田土壤及农作物中 Cd 累积的主要来源^[2-3]。随着 Cd 污染事件频繁发生,针对土壤 Cd 污染的调查与研究也日益广泛,包括对全国各地矿区及冶炼影响区土壤环境质量状况和污染来源的调查与分析、空间分布特征的相关研究以及对土壤重金属污染的风险评估等^[4-6]。针对湖北省大冶市土壤重金属污染的相关调查和研究中,主要是对大冶市采矿区和大冶市有色金属冶炼厂等的局部调查^[7-8],而对大冶市整个区域内农田土壤的空间分布及污染状况仍未有系统调查和研究。国家相关政策中明确提出下一阶段对被污染耕地土壤实施分级分区风险管控的对策,如对已被污染的耕地实施分类管理,采取农艺调控、种植结构调整、土壤污染治理与修复等措施,对污染严重且难以修复的,划定为农产品禁止生产区域等。在这种背景下,对重金属污染区域典型案例进行全面、系统的调查和分析尤为重要,可为相关部门针对不同污染程度的农田采取合理管控措施、保障农田安全利用提供资料。

大冶市是以采矿、冶炼为主导产业的城市,是大

冶有色金属公司、武汉钢铁集团等大型国有企业的重要矿石采选和冶炼基地,也是我国重要的原材料工业基地之一。作为典型的矿山资源型城市,长期的高强度开采、冶炼所带来的土壤污染问题日益严峻。本研究将大冶市作为典型开采、冶炼造成的土壤重金属污染区域,对其区域内农田通过网格法进行高密度采样,运用 GIS 空间分析方法研究大冶市农田土壤中重金属 Cd 的污染分布,并对不同区域的土壤污染程度进行评价,阐明大冶市整个区域范围内农田土壤中 Cd 的污染分布及积累特征,为大冶市将来采取合理的农田土壤环境管控对策提供研究资料。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

大冶市位于湖北省东南部,长江中游南岸,地处武汉、鄂州、黄石、九江城市带之间和湖北“冶金走廊”腹地,年均降雨量 1 385.9 mm,历年最多风向为 E/ESE,东风为年主导风向,平均风速 2.7 m/s。全市总面积 1 566.3 km²,耕地面积约 4.801 万 hm²,主要土壤类型为红壤和黄棕壤,农作物以水稻、小麦、棉花为主。大冶市的矿山开采和冶炼已经有 2 000 多年历史,以铜铁矿开采为主,全市有多家大中型企业,

①基金项目:中国环境科学研究院中央级公益性科研院所基本科研业务专项(2012YSKY19)资助。

作者简介:杜平(1982—),女,山东聊城人,博士,助理研究员,主要研究领域为土壤中污染物质的迁移及转化特征。E-mail:duping@craes.org.cn

包括有色铜绿山矿、铜山口矿，武钢金山店铁矿、灵乡铁矿等。

1.2 采样与分析

1.2.1 样品采集与处理 针对大冶市农田土壤进行网格法布点采样，样品点位分布如图1所示，在冶炼和采矿活动集中区域和农田集中区域按照 $3\text{ km} \times 3\text{ km}$ 网格布点，在南部丘陵地区及无冶炼及采矿活动区域则按照 $5\text{ km} \times 5\text{ km}$ 网格布点。共采集到92个表层

土壤样品，每个网格点位按照S型采样方法由5点混合而成。在采矿和冶炼主要影响区罗桥街办选取两个典型剖面，背景剖面定位在周边无冶炼采矿活动且海拔相对较高的金牛镇。剖面采集0~100 cm深度的各层土壤样品：0~2、2~4、4~6、6~8、8~10、10~15、15~20、20~30、30~40、40~60、60~100 cm。全部样品自然风干后，去除植物残根和石渣，研磨过100目尼龙筛后，编号登记，以棕色瓶保存。

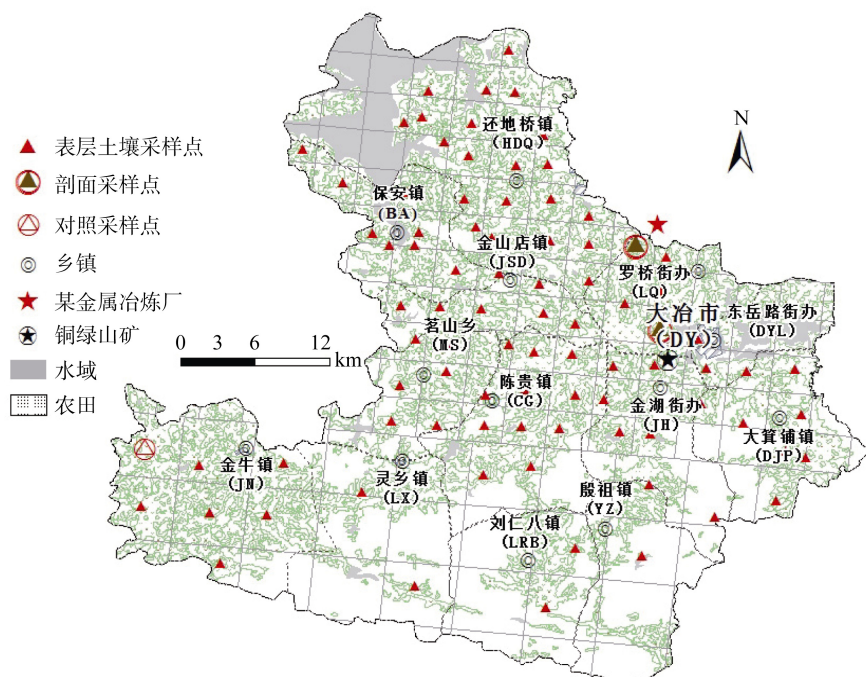


图1 采样布点图

Fig. 1 Distribution of soil sampling sites

1.2.2 样品分析 土壤样品重金属总量采用强酸消解法，准确称取0.1 g土壤样品于60 ml聚四氟乙烯消解管中，依次加入优级纯 HNO_3 5 ml、HF 2 ml、 HClO_4 1 ml，使用石墨炉消解系统(DigiPREP, SCP公司，加拿大)设置控温程序，消解、赶酸、定容过滤后，利用ICP-MS(G3272B, 安捷伦，德国)进行检测^[9]。同时，委托第三方专业检测机构采用同样方法对所有样品进行检测，与本实验室检测结果对比后显示，平均误差在合理范围内，确保了数据的准确性和可用性。

1.3 数据处理

数据统计与分析由SPSS18.0、Origin8.0等软件完成；图件利用ArcGIS 10.1进行绘制。

2 结果与讨论

2.1 土壤中镉含量分布特征及来源分析

对覆盖大冶市整个农田区域的92个土壤样品进行分析后，利用反距离加权插值法绘制了土壤中Cd

浓度空间分布图，如图2所示。大冶市农田土壤Cd污染范围较广，局部区域污染程度较重，浓度分布空间变异较大。整个农田土壤中Cd的浓度都在0.6 mg/kg以上，大部分区域土壤中Cd浓度在1.0 mg/kg以上，即大部分区域土壤Cd含量超出土壤环境质量标准(GB15618-1995)三级标准(1.0 mg/kg)。污染高值区主要出现在罗桥街办、金湖街办、陈贵镇和还地桥镇，南部海拔较高的刘仁八镇、殷祖镇等土壤中Cd含量较低。王学军等^[10]的研究表明对于长期耕作的农业土壤来说，灌溉方式、土壤质地、地形等因素仅会形成较小尺度的空间分异，而引起大尺度空间分异的主导因素是高强度的人类活动。大冶市农田土壤质地相对均一，土壤母质差异较小，长期的开采、冶炼活动是造成局部区域浓度较高、空间分异较大的原因。而在Cd浓度较低区域，土壤中Cd含量也远远超出土壤环境质量标准的背景值(0.2 mg/kg)和二级标准(0.3 mg/kg)，说明大冶市土壤本底值较高。本研究通过对大冶市土壤剖面的研究调查了当地土壤Cd背景值。

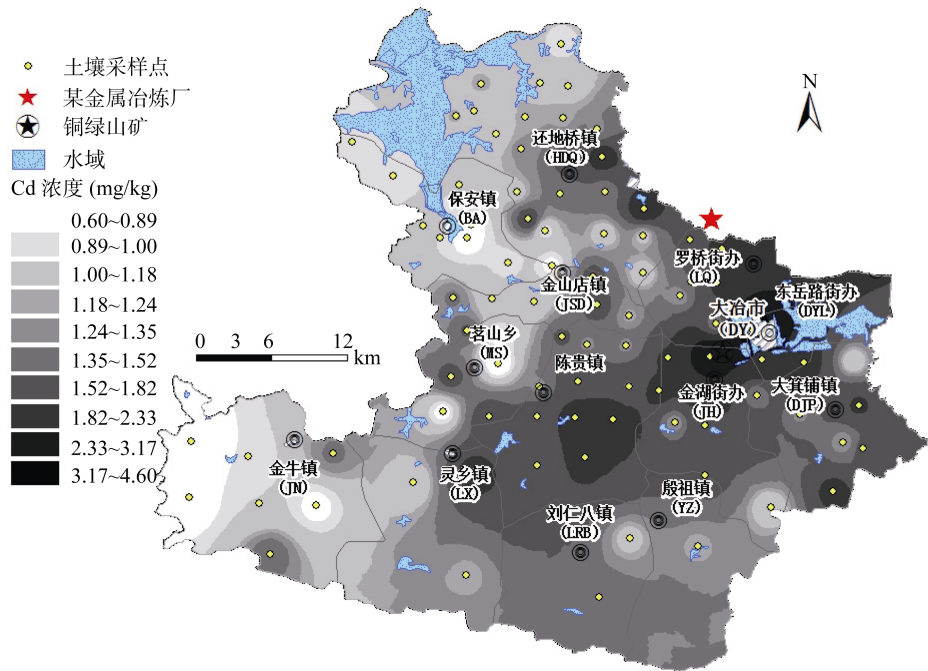


图 2 大冶市农田土壤重金属 Cd 浓度空间分布图
Fig. 2 Spatial distribution of Cd concentrations in farmland soil

由于大冶市农田土壤中 Cd 分布表现出较强的区域分化性，以下通过对大冶市各个乡镇农田土壤 Cd 含量的统计分析说明 Cd 污染状况，并结合大冶市开采及冶炼企业的分布分析污染来源。表 1 列出了大冶市整体及各个乡镇农田土壤 Cd 含量统计数据及超标状况。如表 1 所示，大冶市农田土壤重金属 Cd 的含量范围是 0.6~4.6 mg/kg，平均值为 1.41 mg/kg，说明整个调查区域土壤存在普遍的 Cd 累积现象。依据土壤环境质量标准计算得出的超标情况显示，以自然背景值、二级标准为评价标准，92 个

土壤样品均超标；而以三级标准为评价标准，超标率为 70.5%。样品含量较高即农田较为集中的乡镇为陈贵镇、还地桥镇、金湖街办，土壤中 Cd 平均值分别为 1.68、1.30 和 1.84 mg/kg，按三级标准的超标率分别为 100%、72.7% 和 90.9%。其次，大箕铺镇、罗桥街办、金山店镇的农田也相对集中且超标率较高，分别为 83.3%，100% 和 71.4%。大冶市农田土壤污染较为严重的区域为 3 个片区：还地桥、金山店与罗桥街办片区，陈贵片区和金湖街办与大箕铺镇片区。

表 1 土壤重金属 Cd 含量分区统计及评价
Table 1 Statistical results of soil Cd concentrations and pollution assessment

区域	样品个数	最小值 (mg/kg)	最大值 (mg/kg)	平均值 (mg/kg)	中值 (mg/kg)	超标率 (%)		
						自然背景值	二级标准	三级标准
大冶市	92	0.6	4.60	1.41	1.30	100	100	70.5
保安镇	8	0.70	1.10	0.91	0.90	100	100	12.5
陈贵镇	11	1.30	2.30	1.68	1.60	100	100	100
大箕铺镇	6	1.00	2.00	1.50	1.45	100	100	83.3
还地桥镇	22	0.90	2.40	1.30	1.20	100	100	72.7
金湖街办	11	1.00	3.40	1.84	1.90	100	100	90.9
罗桥街办	7	1.20	4.60	2.01	1.60	100	100	100
金牛镇	8	0.70	1.50	0.99	0.90	100	100	25
金山店	7	0.80	1.80	1.29	1.20	100	100	71.4
茗山乡	6	0.60	1.80	1.22	1.20	100	100	50
灵乡镇	3	1.00	2.10	1.43	1.20	100	100	66.7
刘仁八镇	2	1.10	1.4	1.25	—	100	100	100
殷祖镇	1	1.20	1.20	1.20	—	100	100	100

经调查发现,大冶市规模较大的采矿区和冶炼企业均分布于这 3 个片区或周边(图 3)。如位于罗桥街办高值区周边的大冶市有色金属公司冶炼厂,为大冶市最大的冶炼企业,是我国大型铜冶炼厂之一,废水 Cd 的年排放量近 0.5 t,占湖北省总排放量的 86.26%。Pb 的年排放量近 2 t,占全省总排放量的 50% 以上^①。冶炼厂排放的烟尘、废气、含 Cd 废水灌溉等因素导致其周围土壤中 Cd 长期累积,已对土壤环境和农产品安全造成极大隐患^[7]。研究表明,大冶市有色金属公司冶炼厂影响范围由还地桥镇至罗桥街办及金山店镇等区域^[11]。另外,金湖街办内一大型矽卡岩型铜铁矿床铜绿山铜铁矿已有 1 780 多年的开采历史,许多研究表明铜绿山矿矿区周边土

壤重金属累积严重,且范围较为广泛^[12],大冶市境内矿产资源丰富,开采历史悠久,原驻大冶的国有大中型矿山共有 20 多家,现仍有有色铜绿山矿、铜山口矿、武钢金山店铁矿、灵乡铁矿、湖北三鑫金铜股份有限公司 5 家在运营,且都集中在本研究所确定重污染区域。同时,除了大中型冶炼企业外,散布于大冶市尤其是陈贵镇、大箕铺镇等区域的小型采矿场、选矿厂及冶炼企业等也是造成农田土壤污染的重要原因^②。

矿区、冶炼区被认为是土壤重金属污染的多发区^[19],由表 2 可见,7 个典型矿区周边农田土壤重金属 Cd 含量的最大值均超过国家环境质量三级标准值,以赤普沟铅锌矿污染尤为突出,平均含量高达 4.70 mg/kg,

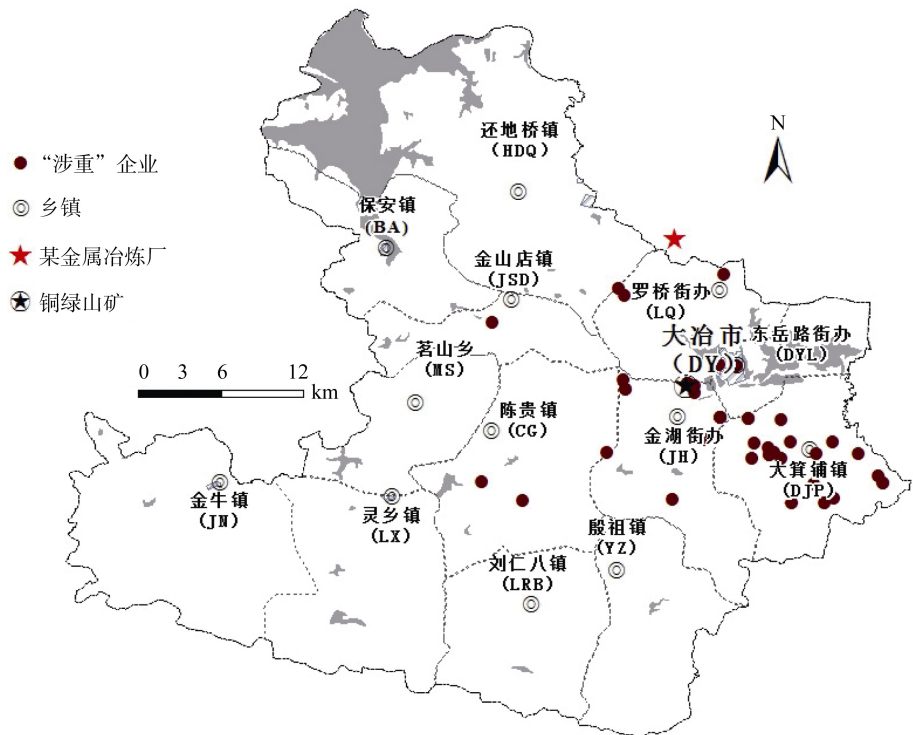


图 3 大冶市“涉重”企业分布图

Fig. 3 Distribution of heavy metal related enterprises in Daye City

表 2 我国典型矿区、冶炼区周边农田土壤 Cd 污染状况

Table 2 Cd pollution of farmland soils in typical mining and smelter areas of China

矿区	最小值(mg/kg)	最大值(mg/kg)	平均值(mg/kg)	矿石类型	开采历史(年)	文献来源
铜绿山矿	0.60	4.6	1.41	铜铁矿为主	1 780	本文数据
兴铜矿	0.05	1.21	0.21	铜矿为主	1 000	李宏艳等 ^[13]
九华铜矿	0.06	4.28	0.60	铜矿	5	刘小红等 ^[14]
红透山铜矿	0.12	6.83	1.42	铜、锌	60	刘桂琴等 ^[15]
铜陵市铜陵矿	0.09	7.82	0.93	铜、金银、铁	3 000	白晓宇等 ^[16]
阜新排山楼金矿	0.03	0.89	0.14	金、铅、铜	15	李艳霞等 ^[17]
赤普沟铅锌矿	1.80	17.10	4.70	铅锌矿	—	杨刚等 ^[18]

① 李发生, 杜平, 王世杰, 徐建, 李慧颖, 王丁明, 伍斌. 湖北省黄石大冶市及周边重金属污染综合防治实施方案. 北京: 中国环境科学研究院, 2013: 8-9

② 李发生, 杜平, 谷庆宝, 杜晓明, 龚宇阳, 郭观林, 侯红. 大冶市重金属污染调查与综合防治规划(规划期 2011-2020). 北京: 中国环境科学研究院, 2012: 41-43

而大冶铜绿山矿区、红透山铜矿区、铜陵矿区平均含量均已接近或超过国家环境质量三级标准,说明金属开采、冶炼的活动是环境中重金属污染的重要来源。不同矿石类型的矿区,铅锌矿区土壤 Cd 污染最为严重,主要是由于地壳中 Cd 常以锌矿伴生;其次为铜矿区,Cd 累积也较为严重。当然,即使采选矿石类型相同,由于矿山中金属含量、冶炼工艺的不同,

对周边土壤的污染影响程度也存在明显的差异。

2.2 土壤中镉垂向分布特征

分别在水田和旱地集中区域各取一个典型农田土壤剖面,剖面 1 靠近大冶市有色金属冶炼厂,剖面 2 位于铜绿山矿附近。背景剖面选在无明采矿和冶炼活动且海拔较高的金牛镇(图 1)。剖面基本情况见表 3。

表 3 土壤剖面基本情况
Table 3 Backgrounds of soil profiles

剖面类型	利用类型	土壤质地	pH	周边环境
背景剖面	旱地(撂荒)	壤土	5.0 ~ 6.4	远离污染源
剖面 1	旱地(撂荒)	壤土	5.6 ~ 6.0	靠近冶炼厂
剖面 2	水田	壤土	5.5 ~ 7.3	靠近铜绿矿山

重金属在土壤剖面中的垂直分布特征除了受 pH、有机质、氧化还原电位等土壤自身理化性质影响外,还与外界干扰因素相关^[20-21]。图 4 为 3 个土壤剖面中 Cd 含量垂向分布图,背景剖面为未受人为干扰的状态下 Cd 的垂向分布特征,其 Cd 含量较低,除表层 Cd 含量大于背景值外,其余土层中重金属含量均一,且在背景值附近浮动,说明即使在大冶市南部丘陵无采矿冶炼地区,也已受到人为影响,存在 Cd 累积的现象,但仅限于土壤最上层,浓度为 1.2 mg/kg。剖面 1 和剖面 2 显示,表层土壤中 Cd 累积严重,最上层土壤 Cd 浓度达到 2.4 mg/kg 和 2.6 mg/kg,剖面 1 土壤中 Cd 含量呈现从上往下自然缓慢减少的趋势,至 20 cm 处以下接近背景值;而剖面 2 在 40 cm 处仍呈现较高的 Cd 含量,二者比较说明剖面 1 中 Cd 向下迁移现象明显。这可能与土壤利用方式有关,剖面 2 为水田,其耕种方式使得翻耕深度较大,土壤中 Cd 在表层中的扰动范围较大。而且,有研究表明相较于旱地,水田土壤中的 Cd 在酸性条件下水溶性 Cd 含量增加,更易于向下迁移^[22]。

通过对上述 3 个剖面的分析,可以发现土壤 Cd 含量最高值均在最上层(0 ~ 2 cm),在土壤表层下面一定范围内的土层中重金属含量逐渐降低,说明 3 个剖面均有外源污染输入,且外源输入大于自然迁移的速度^[23]。

2.3 地积累指数法(I_{geo})评价农田土壤镉污染

德国学者 Muller^[24]于 1969 年提出地积累指数法(Index of geoaccumulation, I_{geo}),曾主要用于沉积物中重金属污染程度的定量指标,现被广泛应用于大气沉降、土壤以及沉积物中重金属的污染评价^[25]。

地积累指数法计算式为:

$$I_{geo} = \log_2[C/(k \times B)]$$

式中, C 是元素 Cd 在土壤中的实测浓度; B 是土壤中该元素的地球化学背景值(采用本次调查数据, 0.6 mg/kg); k 为母岩差异所引起背景值的变动而取的系数,因直接采用当地背景值数据,忽略母岩差异,本研究取值为 1.0。地积累污染指数分级见表 4。

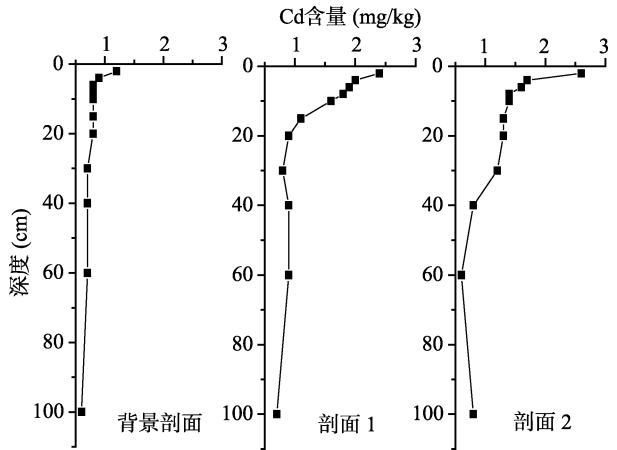


图 4 剖面土壤中 Cd 含量分布特征
Fig. 4 Distributions of Cd concentration in soil profiles

表 4 地积累指数分级
Table 4 Grading of index of geo-accumulation

分级	地积累指数 I_{geo}	污染程度
0	≤ 0	未受污染
1	0 ~ 1	轻度污染
2	1 ~ 2	中度污染
3	≥ 2	重度污染

考虑到重金属元素在土壤中垂直迁移仅限于浅层^[26],本研究选择背景剖面的底层土壤含量作为大冶市土壤 Cd 背景值,采用地积累指数法来评价不同区域的土壤 Cd 污染程度。根据土壤中 Cd 浓度分析值计算得出各土壤采样点的污染指数,利用

GIS方法绘制出大冶市农田土壤地积累指数分布图(图5)。由图可知,除茗山乡一个土壤点位显示未受污染外,其余均为受污染土壤。其中大部分土壤点位为轻度污染和中度污染程度,重度污染土壤主要分布在还地桥镇、罗桥街办和金湖街办的局部地区。这个分析结果与采用国家土壤环境质量标准三级标准(1.0 mg/kg)的评价结果基本一致,能够说明大冶市整体污染现状。由此可知,大冶市农田土壤Cd污染范围较广,局部地区污染程度较重,但大

部分地区虽然存在污染,污染程度并不严重,通过合理的种植结构调整或修复治理仍可保障农产品生产安全。本研究污染评价依据土壤中Cd总含量来进行,虽在一定程度上可说明土壤污染程度,但不能绝对地说明土壤生产安全性,同时也难以阐明土壤污染对农产品安全的影响。本研究的后续研究中将通过对土壤中Cd形态特别是植物可吸收态的含量进行研究,阐述土壤污染对于农产品的潜在危害。

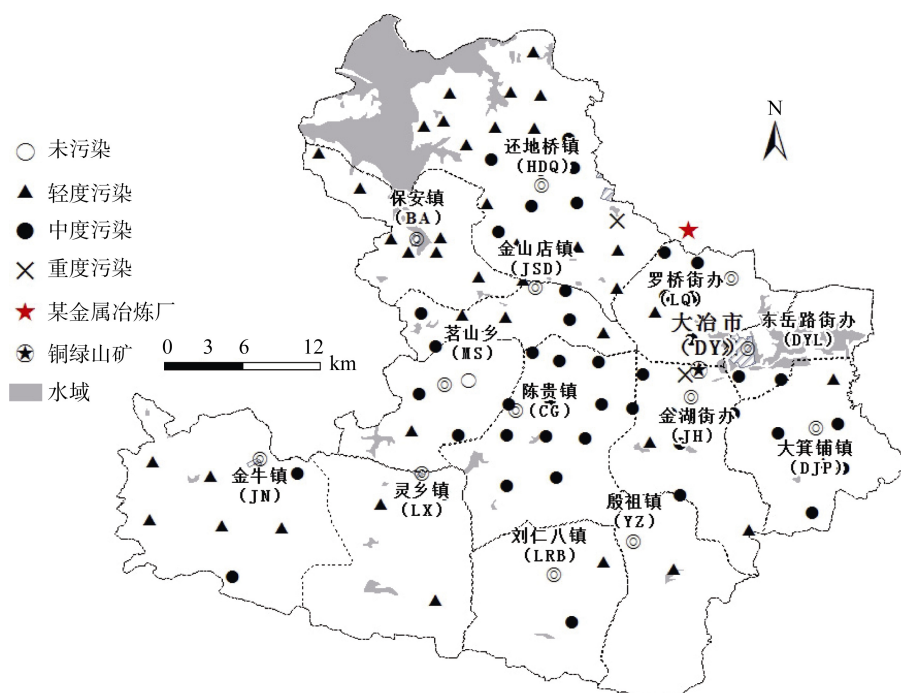


图5 大冶市农田Cd污染地积累指数分级

Fig. 5 Geo-accumulation index of Cd pollution in Daye City

3 结论

大冶市农田土壤重金属Cd的含量范围是 $0.6 \sim 4.6\text{ mg/kg}$,平均值为 1.41 mg/kg ,剖面土壤中Cd的垂向分布显示在耕地中外源污染已达到 40 cm 深度。土壤Cd含量空间变异较大,其中有色金属冶炼厂等冶炼集中区及铜绿山铜铁矿等采矿区周边农田土壤为Cd浓度相对较高区域,说明集中性采矿和冶炼活动是大冶市农田土壤中Cd污染的主要来源。地积累指数法的评价结果与土壤环境质量标准三级标准的评价结果基本一致,污染较重的区域有罗桥街办、金湖街办、陈贵镇、还地桥镇等。大冶市农田土壤Cd污染范围广,局部地区污染程度较深,但绝大多数农田为轻度、中度污染,通过调整种植结构等方式可保证农产品生产的安全性。

参考文献:

- [1] 刘鹏,林玉锁,贺静,张孝飞,冯艳红,徐建.冶炼厂渣场周边农田土壤中铜镉的分布特征研究[J].农业环境科学学报,2009(7): 1 397-1 403
- [2] Stafilov T, Šajn R, Pančevski Z, BlažoF, Marina V, Lyudmila P. Heavy metal contamination of topsoils around a lead and zinc smelter in the republic of macedonia[J]. Journal of Hazardous Materials, 2010, 175(1): 896-914
- [3] 雷鸣,曾敏,廖柏寒,周航,许秋瑾,郑丙辉.某矿区土壤和地下水重金属污染调查与评价[J].环境工程学报,2012(12): 4 687-4 693
- [4] Lu AX, Wang JH, Qin XY, Wang K, Han P, Zhang SZ. Multivariate and geostatistical analyses of the spatial distribution and origin of heavy metals in the agricultural soils in Shunyi, Beijing, China[J]. Science of The Total Environment, 2012, 425: 66-74
- [5] 王明兆,王鸿欣,薛莉.江阴市耕地重金属污染及其评

- 价[J]. 土壤, 2006, 38(4): 470-476
- [6] 钟晓兰, 周生路, 李江涛, 赵其国. 长江三角洲地区土壤重金属污染的空间变异特征——以江苏省太仓市为例[J]. 土壤学报, 2007, 44(1): 33-40
- [7] 陈华勇, 欧阳建平, 马振东. 大冶有色冶炼厂附近农田镉污染的现状与治理对策[J]. 土壤, 2003, 35(1): 76-79
- [8] 宋琪, 祁士华, 张蓓蓓, 陈伟, 夏璐, 王小禹, 张小辉, 张家泉. 大冶铜绿山矿区周围土壤重金属分布特征及污染状况评价[J]. 环境化学, 2011(9): 1 672-1 673
- [9] 刘德鸿, 王发园, 周文利, 杨玉建. 洛阳市不同功能区道路灰尘重金属污染及潜在生态风险[J]. 环境科学, 2012(1): 253-259
- [10] 王学军, 李本纲, 陶澍. 土壤微量金属含量的空间分析[M]. 北京: 科学出版社, 2005
- [11] 黎耀辉, 施孜麟, 朱长江, 王一鸣, 朱春梅, 周武强, 刘明英. 大冶冶炼厂烟尘对农田土壤重金属污染的影响[J]. 农业环境科学学报, 1985(5): 26-29
- [12] 孙清斌, 尹春芹, 邓金锋, 熊巧. 大冶矿区周边农田土壤和油菜重金属污染特征研究[J]. 农业环境科学学报, 2012(1): 85-91
- [13] 李宏艳, 滕彦国, 王金生, 倪师军, 张成江. 德兴地区土壤重金属含量空间分布特征[J]. 辽宁工程技术大学学报(自然科学版), 2008(3): 465-468
- [14] 刘小红, 周东美, 郝秀珍, 司友斌, 仓龙, 王玉军, 陈怀满. 九华铜矿重金属环境污染状况研究[J]. 土壤, 2007, 39(4): 551-555
- [15] 刘桂琴, 梁成华, 杜立宇, 陈新之, 王峰. 红透山铜矿矿区土壤重金属污染状况研究初报[J]. 中国农学通报, 2006(11): 364-367
- [16] 白晓宇, 袁峰, 李湘凌, 周涛发, 张鑫, 陈兴仁, 陈永宁, 陈富荣, 贾十军. 铜陵矿区土壤重金属元素的空间变异及污染分析[J]. 地学前缘, 2008, 15(5): 256-263
- [17] 李艳霞, 徐理超, 熊雄, 苏秋红, 吴娟, 李帷, 陈玉成. 典型矿业城市农田土壤重金属含量的空间结构特征——以辽宁省阜新市为例[J]. 环境科学学报, 2007(4): 679-687
- [18] 杨刚, 沈飞, 钟贵江, 谢丽苹, 王应军, 伍钧. 西南山地铅锌矿区耕地土壤和谷类产品重金属含量及健康风险评估[J]. 环境科学学报, 2011(9): 2 014-2 021
- [19] 吴春发, 吴嘉平, 骆永明, 章海波, 滕应, 宋静, 吴龙华. 冶炼厂周边土壤重金属污染范围的界定与不确定性分析[J]. 土壤学报, 2009, 46(6): 1 006-1 012
- [20] Sterckeman T, Douay F, Proix N, Fourrier H. Vertical distribution of Cd, Pb and Zn in soils near smelters in the north of France[J]. Environmental Pollution, 2000, 107(3): 377-389
- [21] 杜平, 张跃进, 杜晓明, 王世杰, 徐忠厚, 国力君, 李发生. 某锌厂周围表层土壤及典型剖面镉污染特征[J]. 环境科学研究, 2006(5): 113-117
- [22] 关共凑, 徐颂, 黄金国. 重金属在土壤-水稻体系中的分布、变化及迁移规律分析[J]. 生态环境, 2006(2): 315-318
- [23] 阮心玲, 张甘霖, 赵玉国, 袁大刚, 吴运金. 基于高密度采样的土壤重金属分布特征及迁移速率[J]. 环境科学, 2006(5): 1 020-1 025
- [24] Muller G. Index of geoaccumulation in sediments of the rhine river[J]. Geojournal, 1969, 2(3): 108-118
- [25] 任春辉, 卢新卫, 陈灿灿, 杨林娜, 杨光. 宝鸡长青镇铅锌冶炼厂周围灰尘中重金属的空间分布及污染评价[J]. 环境科学学报, 2012(3): 706-712
- [26] 严连香, 黄标, 邵学新, 赵永存, 孙维侠, 阮心玲. 不同工业企业周围土壤-作物系统重金属 Pb、Cd 的空间变异及其迁移规律[J]. 土壤学报, 2009, 46(1): 52-62

Spatial Distribution and Assessment of Cadmium Pollution in Farmland Soils, Daye City

DU Ping¹, ZHAO Huan-huan¹, WANG Shi-jie², ZHANG Zhao-jun³, LI Hui-ying²,
HAN Chun-mei⁴, WU Bin¹, LI Fa-sheng¹

(1 *State Key Laboratory of Environmental Criteria and Risk Assessment, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China*; 2 *Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection, Beijing 100037, China*; 3 *Daye Environmental Monitoring Center, Daye, Hubei 435100, China*; 4 *BCEG Environmental Remediation Co., LTD., Beijing 100045, China*)

Abstract: Heavy metal contaminated soils were primarily caused by mining and smelting activities. Exploring the spatial distribution and the pollution level of typical heavy metal in soil is of great significance in regional environmental management, pollution control and ecological protection. In this study, the typical heavy metal of Cd was studied for the farmland soils in Daye city, Hubei Province, and totally 92 top-soil samples and three typical soil profiles were collected and determined. The results showed that Cd concentration of farmland soil ranged from 0.6 to 4.6 mg/kg. The GIS analysis of Cd concentration showed its spatial distribution varied significantly due to the effects of pollution sources. The soil quality was assessed based on the geo-accumulation index and single factor index, and the heavily Cd polluted sites were in the vicinity of mining and smelting plants. The analysis results from different soil profiles indicated that the Cd content in the top 20 cm of soil was much higher than that in the deeper soil layers because of the enrichment of exogenous heavy metal. Cd concentration of soil profiles decreased with increasing soil depth until it is incline to the background value, while its vertical transport was influenced by the land use characteristics of paddy field or abandoned land.

Key words: Farmland soil, Heavy metal, Cadmium, Spatial distribution, Pollution assessment