

宿州耕地土壤重金属污染特征及其风险评价

李阳时佳, 闵宁*, 许思羽

(宿州学院资源与土木工程学院, 安徽 宿州 234000)

摘要:[目的]为了解安徽省宿州市耕地土壤环境质量情况,对宿州市朱仙庄矿及铁路公路周边耕地土壤中重金属元素进行测试分析。[方法]采用单因子污染指数法、内梅罗综合污染指数法、潜在生态风险评价法,探究宿州耕地土壤重金属含量污染特征及其风险评价。[结果]采样区内Cd元素平均质量分数为0.4 mg/kg,是安徽省土壤元素背景值的4倍,其他重金属元素均未超过安徽省土壤元素背景值。采样区按照内梅罗综合污染指数由大到小排序是:朱仙庄矿>铁路=省道303>洪河路。朱仙庄矿中有一个Cu元素点位轻微污染外,其他3个采样区的所有采样点都处于安全范围内。利用潜在生态风险评价法计算出单项潜在生态风险评价指数 E_i' 由大到小排列为Cd>Cu>Ni>Cr>Pb>Zn。与 $RI \leq 150$ 属于轻微污染相比, RI 指数为21.0~27.0,4个采样区均处在轻微污染的状态。[结论]采样区内Cd元素超标问题较为严重,整体处于轻微污染状态,相关部门应提高警惕,加强监管和治理。

关键词:耕地土壤;重金属;生态风险

中图分类号:X53 **文献标志码:**A **文章编号:**1673-1891(2020)01-0062-05

Characteristics and Ecological Risk Assessment of the Heavy Metal Pollution in Arable Land Soil of Suzhou Prefecture

LI Yangshijia, MIN Ning*, XU Siyu

(School of Resources and Civil Engineering, Suzhou University, Suzhou, Anhui 234000, China)

Abstract: [Objective] To understand the arable land soil quality of Suzhou prefecture, heavy metal elements in the soil of Zhuxianzhuang mine and arable land around railway and highway in Suzhou city were tested and analyzed. [Methods] The single factor pollution index method, the Neimeruo comprehensive pollution index method, and the potential risk assessment method were adopted to explore the pollution characteristics of the heavy metal contents in arable land and the risk assessment for Suzhou prefecture. [Results] The average content of Cd in the sampled areas is 0.4 mg/kg, which is four times the background value of Anhui province; other heavy metal elements did not exceed the background value. The sampled areas are ranked according to the Nemeruo comprehensive pollution index from large to small: Zhuxianzhuang Mine > Railway = Provincial Road 303 > Honghe Road. Except for minor contamination of one Cu element point in the Zhuxianzhuang mine, all sampled points in the other three sampled areas are within the safe range. The data analysis indicated that single potential Ecological Risk Assessment (ERA) index were in the order of Cd > Cu > Ni > Cr > Pb > Zn. Compared with the $RI \leq 150$, the RI index ranged from 21.0 to 27.0, and all the four sampled areas were in the state of slight pollution. [Conclusion] The problem of excessive Cd element in the sampled area is serious and the whole area is in a state of slight pollution. Relevant government agencies should be vigilant and strengthen supervision and control.

Keywords: arable land soil; heavy metal; ecological risk

0 引言

土壤是生态环境的重要影响因素之一,是人类生存及生产密不可分的环境媒介,也是人类赖以生

存的自然资源^[1]。近年来,矿山的开采、工业化进程的加快、交通道路排放的废气以及扬尘等因素,使诸如Cr、Ni、Cu、Zn、Cd、Pb等重金属元素大量富集在耕地土壤中。土壤重金属污染具有高污染毒性、

收稿日期:2019-11-09

基金项目:安徽省2017年度省级大学生创新创业项目:不同管运状态下道路两侧土壤重金属分布特征研究(201710379137)。

作者简介:李阳时佳(1998—),女,安徽蚌埠人,本科,研究方向:环境地球化学。*通信作者:闵宁(1989—),女,安徽宿州人,硕士,讲师,研究方向:地球化学。

长期潜伏性、难迁移与转化、累积等特点^[2],导致土壤质量不断下降,给人类的生产生活带来巨大影响和危害。

近年来,国内外许多学者采用单因子指数法、内梅罗综合污染指数法、地累积指数法、潜在生态危害指数法等对耕地土壤重金属含量进行生态风险评价^[3-4]。调查表明,我国耕地土壤环境质量堪忧,其点位超标率为19.4%,主要无机污染物为Cd、As、Pb、Ni、Cu、Hg^[5]。可见,开展对于耕地土壤重金属污染状况调查及其潜在生态风险评估具有重要意义。

本文以宿州市耕地土壤作为研究对象,对铁路、公路两侧以及煤矿区周边耕地土壤进行研究分析,进而了解重金属的来源和分布特征,同时采用单因子指数法、内梅罗综合污染指数法和潜在生态风险评价法对宿州市耕地土壤质量做出客观科学的评价,为今后宿州市耕地土壤治理和环境保护提供一定的参考依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

宿州市位于安徽省北部,地处淮北平原东北部,大部为平原洼地。当地属暖温带半湿润气候,四季分明,雨热同季,光照充足,降雨适中。全市土壤类型多为潮土和砂姜黑土,土层深厚,适宜多种农作物的生长和畜牧养殖。截至2018年末,宿州市户籍人口656.56万人。宿州市内有朱仙庄矿、桃园矿、芦岭矿等,煤炭种类齐全,质地优良,因此煤矿开采量大,造成的污染不容忽视。

1.2 样品采集

2017年11—12月,分别在洪河路段、303省道路段、运煤铁路段以一定的间隔分别布设17、15、15个采样点。在朱仙庄矿煤矸石山周边布设17个采样点。所有样品采样深度均为15 cm,取土量为2 kg。用四分法保留1 kg土样。采样位置分布如图1。

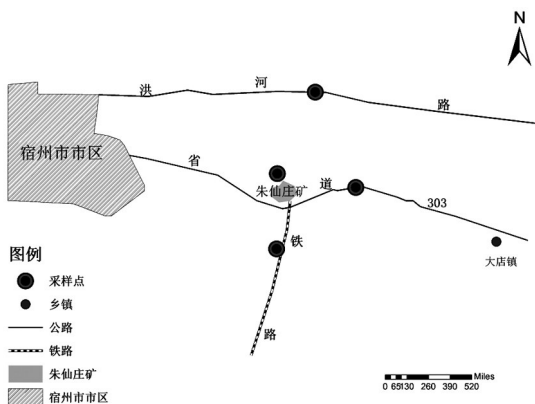


图1 采样位置分布图

1.3 样品处理与分析

采集的土样置于实验室自然风干、将样品剔除砂砾和植物根系,研磨后过孔径75 μm 200目筛(浙江上虞区道墟张兴纱筛厂),采用高温密闭法消解样品至溶液态,随后用电感耦合等离子体质谱法通过ICP-MS测量其中重金属含量。样品处理及测试过程在安徽省煤矿勘探工程技术研究中心完成。

1.4 评价方法

选用《土壤环境质量标准》(GB 15618—1995)^[6],采用单因子污染指数法,判断环境中的主要污染因子,计算公式如下: $P_i = C_i / S$,式中, P_i 为污染物单因子指数, C_i 为实测质量分数,单位mg/kg; S 为土壤环境质量标准值,单位mg/kg;因不同地区的土壤背景差异较大,采用内梅罗污染指数法评价整个取样区域被多种重金属复合污染状况;采用 Hakanson (1980)的潜在生态风险评价法^[7]来综合反映,其计算公式为: $RI = \sum_{i=1}^n E_i^i = \sum_{i=1}^n (T_r^i * P_i)$, RI 为土壤重金属的综合潜在生态风险指数, E_i^i 为单种重金属的潜在生态风险系数, T_r^i 为各重金属的毒性响应系数,以此来划定研究区土壤中6种重金属(Cr、Ni、Cu、Zn、Cd、Pb)的潜在生态风险级别及生态危害程度^[8],重金属毒性响应系数分别为:Cr=2、Ni=5、Cu=5、Zn=1、Cd=30、Pb=5^[9]。

2 结果与分析

2.1 土壤重金属含量分析

本研究对采样区耕地土壤中Cr、Ni、Cu、Zn、Cd、Pb这6种重金属元素进行测试分析,将安徽省土壤元素背景值^[10]和《土壤环境质量标准》(GB 15618—1995)二级标准作为参比,以确定采样区内耕地土壤重金属污染状况。宿州耕地土壤重金属含量特征见表1。

由表1可知,朱仙庄矿周边耕地土壤重金属元素质量分数变化范围较大,Cr:60.7~178 mg/kg, Ni:25.0~47.6 mg/kg, Cu:17.3~114 mg/kg, Zn:45.3~211 mg/kg, Cd:0.20~0.60 mg/kg, Pb:19.7~57.4 mg/kg,其中Zn质量分数变化范围最大。总体来看,朱仙庄矿周边耕地土壤重金属元素除Pb元素外,均超过安徽省土壤元素背景值,其中Cd元素质量分数范围是安徽省背景值的2~4倍。煤矿的开采、煤矸石的堆积产生大量的灰尘,灰尘中大量的Cd元素与大气降水作用下产生的大气降尘以淋溶的方式进入耕地土壤^[11],致使Cd元素异常超标。由此推测朱仙庄矿周边耕地土壤中Cd元素异常超标

表1 宿州耕地土壤重金属含量特征

采样点		Cr	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb
朱仙庄矿	均值/(mg·kg ⁻¹)	75.3	33.3	25.3	62.1	0.40	25.7
	范围/(mg·kg ⁻¹)	60.7~178	25.0~47.6	17.3~114	45.3~211	0.20~0.60	19.7~57.4
	变异系数	0.11	0.16	0.15	0.17	0.14	0.12
洪河路	均值/(mg·kg ⁻¹)	57.3	23.2	18.2	42.0	0.40	21.5
	范围/(mg·kg ⁻¹)	48.3~69.1	15.4~30.8	15.1~21.0	36.2~98.1	0.30~0.40	17.8~51.8
	变异系数	0.08	0.14	0.08	0.11	0.10	0.36
省道303	均值/(mg·kg ⁻¹)	53.7	20.2	17.5	48.3	0.40	19.5
	范围/(mg·kg ⁻¹)	45.5~59.6	15.6~25.4	15.7~20.6	43.3~60.6	0.40~0.50	16.7~25.4
	变异系数	0.07	0.13	0.07	0.09	0.05	0.12
铁路	均值/(mg·kg ⁻¹)	62.7	18.7	46.0	10.6	0.27	22.6
	范围/(mg·kg ⁻¹)	51.1~76.8	14.9~23.9	40.3~59.5	8.40~20.0	0.17~0.32	18.4~27.6
	变异系数	0.10	0.15	0.11	0.14	0.12	0.10
安徽省土壤元素背景值/(mg·kg ⁻¹)		66.5	29.8	20.4	62.0	0.10	26.6
《土壤环境质量标准》二级标准/(mg·kg ⁻¹)		250	60.0	100	300	0.60	350

与煤矿的开采有关。

在洪河路段,Cd:0.30~0.40 mg/kg,省道303路段,Cd:0.40~0.50 mg/kg,2个路段Cd的质量分数超标,达到安徽省背景值的3~5倍。据湛天丽等^[12-13]研究表明,Cd的来源与畜禽粪便和磷肥等农业活动有关,而采样区内的农田大量种植麦子、玉米等农产品,长期施肥过程中可能导致土壤中Cd元素积累。而2个路段的Cu、Zn、Pb等元素均未超过安徽省背景值,由此可推断公路上排放的汽车尾气并没有给附近耕地土壤带来较大影响^[14-15]。

在运煤铁路两侧,Cu:40.3~59.5 mg/kg,Cd:0.17~0.32 mg/kg,2个元素的质量分数分别达到安徽省土壤元素背景值的2.25、2.7倍,而其他元素均未超过安徽省背景值。铁路运输中产生的扬尘、尾气和运煤过程中会产生Cu元素的积累^[6],致使运煤铁路两侧的Cu元素含量超标。

采样点内只有朱仙庄矿区内的Cu元素有异常值,超过国家二级标准,其他采样点的元素均在国家二级标准的范围内。从整体来看,朱仙庄矿周边耕地土壤重金属的质量分数比道路及公路两侧的土壤重金属的质量分数要高,采样区内Cd元素超标情况相比其他重金属元素较为严重。

2.2 内梅罗综合污染指数法

各采样区内梅罗综合污染指数评价情况见表2~5。采样区按照内梅罗综合污染指数由大到小排序是:朱仙庄矿>铁路=省道303>洪河路。除朱仙庄矿以外,其他3个采样区的内梅罗综合污染指数相差不大,并且3个采样区的所有采样点都处于安全范围内。朱仙庄矿的内梅罗综合污染指数达到其他采样区的1.97~2.03倍,其中有1个点位的

$Pi_{Cu}=1.14, 1 < Pi_{Cu} \leq 2$ 处于轻度污染的状态。内梅罗综合污染指数表明的是多种重金属综合污染状况,由此也可以看出,朱仙庄矿周边受重金属污染相较

表2 朱仙庄矿内梅罗综合污染指数评价情况

重金属	不同污染等级采样点比例/%				$P_{综}$	污染程度
	$Pi \leq 1$	$1 < Pi \leq 2$	$2 < Pi \leq 3$	$Pi \geq 3$		
Cr	100	0	0	0		
Ni	100	0	0	0		
Cu	94.12	5.88	0	0	0.59	安全
Zn	100	0	0	0		
Cd	100	0	0	0		
Pb	100	0	0	0		

表3 洪河路内梅罗综合污染指数评价情况

重金属	不同污染等级采样点比例/%				$P_{综}$	污染程度
	$Pi \leq 1$	$1 < Pi \leq 2$	$2 < Pi \leq 3$	$Pi \geq 3$		
Cr	100	0	0	0		
Ni	100	0	0	0		
Cu	100	0	0	0	0.29	安全
Zn	100	0	0	0		
Cd	100	0	0	0		
Pb	100	0	0	0		

表4 省道303内梅罗综合污染指数评价情况

重金属	不同污染等级采样点比例/%				$P_{综}$	污染程度
	$Pi \leq 1$	$1 < Pi \leq 2$	$2 < Pi \leq 3$	$Pi \geq 3$		
Cr	100	0	0	0		
Ni	100	0	0	0		
Cu	100	0	0	0	0.30	安全
Zn	100	0	0	0		
Cd	100	0	0	0		
Pb	100	0	0	0		

表5 运煤铁路内梅罗综合污染指数评价情况

重金属	不同污染等级采样点比例/%				$P_{\text{综}}$	污染程度
	$P_i \leq 1$	$1 < P_i \leq 2$	$2 < P_i \leq 3$	$P_i \geq 3$		
Cr	100	0	0	0	0.30	安全
Ni	100	0	0	0		
Cu	100	0	0	0		
Zn	100	0	0	0		
Cd	100	0	0	0		
Pb	100	0	0	0		

其他采样区略微严重。煤矿开采、煤炭堆积、风化淋溶是土壤重金属的一个重要来源^[7],朱仙庄矿中富含大量重金属元素,例如Pb、Cr、Cd、Ni、Zn、Cu、As等,由于重金属的迁移,导致周边耕地土壤重金属含量的增高。

2.3 潜在生态风险评价

采样点潜在生态风险评价情况见表6。由表6可知,4个采样点中每种元素根据《土壤环境质量标准》二级标准进行参比,4个采样区内所有采样点均处于轻微污染状态。从单项潜在生态风险指数来看,Cd元素在4个采样点中均值都超过了13,比其他重金属元素均值都高;铁路两侧的Cu元素相较于

其他采样点的均值高出7~13倍。从复合潜在生态指数从大到小来看: $RI_{\text{铁路}} > RI_{\text{朱仙庄矿}} > RI_{\text{省道303}} > RI_{\text{洪河路}}$, $RI_{\text{铁路}}$ 可以达到 $RI_{\text{洪河路}}$ 的1.29倍。由此可推断,Cu元素含量对于潜在生态指数有较大影响。

3 结论

1)从采样区耕地土壤重金属含量特征中可以看出,Cd元素在所有采样点内都存在污染的情况,朱仙庄矿周边各种金属元素污染情况较为严重。6种重金属平均质量分数顺序为:Cr > Zn > Ni > Cu > Pb > Cd。

2)采样区按照内梅罗综合污染指数由大到小顺序是:朱仙庄矿>铁路=省道303>洪河路。朱仙庄矿的内梅罗综合污染指数达到其他采样区的1.97~2.03倍,其中有1个点位的Cu元素处于轻度污染的状态,其他3个采样区的所有采样点都处于安全范围内。

3)结合复合潜在生态指数从大到小来看: $RI_{\text{铁路}} > RI_{\text{朱仙庄矿}} > RI_{\text{省道303}} > RI_{\text{洪河路}}$, RI 指数在21.0~27.0范围内,根据污染程度划分情况来看,4个采样区均处在轻度污染的状态。

表6 采样点潜在生态风险评价情况

采样点	统计项目	单项潜在生态风险指数(E_r^i)						复合潜在生态指数(RI)	污染程度
		Cr	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb		
朱仙庄矿	范围	0.51~1.42	2.12~3.97	0.90~5.68	0.15~0.70	7.82~28.3	0.28~0.82	24	轻微
	均值	0.69	2.99	1.56	0.24	18.1	0.38		
	危害程度	轻微	轻微	轻微	轻微	轻微	轻微		
洪河路	范围	0.44~0.55	1.65~2.25	0.75~1.05	0.12~0.18	13.7~19.1	0.25~0.30	21	轻微
	均值	0.46	1.98	0.91	0.14	17.39	0.28		
	危害程度	轻微	轻微	轻微	轻微	轻微	轻微		
省道303	范围	0.36~0.48	1.30~2.11	0.78~1.03	0.14~0.20	18.5~23.3	0.24~0.36	23	轻微
	均值	0.43	1.68	0.87	0.16	20.0	0.28		
	危害程度	轻微	轻微	轻微	轻微	轻微	轻微		
铁路	范围	0.41~0.61	1.24~1.99	2.02~2.97	0.03~0.07	8.35~15.9	0.26~0.39	27	轻微
	均值	0.50	1.56	11.3	0.04	13.6	0.32		
	危害程度	轻微	轻微	轻微	轻微	轻微	轻微		

注:评价标准参比《土壤环境质量标准》二级标准。

参考文献:

- [1] 郑表明,陈同斌,陈煌,等.北京市不同土地利用方式下土壤铅的积累[J].地理学报,2005,60(5):791-797.
- [2] 陈怀满.环境土壤学[M].北京:科学出版社,2005:16-18.
- [3] 宋波,杨子杰,张云霞,等.广西西江流域土壤镉含量特征及风险评估[J].环境科学,2018,(4):1-18.
- [4] 刘腾飞,杨代凤,范君,等.苏州农产品产地土壤重金属及主要有机污染物现状分析[J].食品安全质量检测学报,2018,(20):5470-5477.
- [5] 国土资源部,环境保护部.全国土壤污染状况调查公报[R].北京:环境保护部国土源部,2014.
- [6] GB 15618—1995.土壤环境质量标准[S].北京:国家环境保护局,国家技术监督局,1995.

[7] HAKANSON L. An ecological risk index for aquatic pollution control: a sedimentological approach[J]. Water Research, 1980, 14(8): 975-1001.

[8] 孙全平. 拉萨市典型区域农田土壤重金属空间分布及生态风险评价[J]. 北方园艺, 2018(22): 124-129.

[9] 姚娜, 彭昆国, 刘足根, 等. 石家庄北郊土壤重金属分布特征及风险评价[J]. 农业环境科学学报, 2014, 33(2): 313-321.

[10] 汪兆国, 黄园园, 苏海民. 宿州市桃园矿土壤重金属污染及生态风险评价研究[J]. 河北北方学院学报, 2018, 34(1): 36-40.

[11] 韩亚芬, 崔乾. 宿州煤矿区大气降尘中Cd的含量及形态特征[J]. 佳木斯大学学报, 2016, 34(3): 467-469.

[12] 湛天丽, 黄阳, 滕应, 等. 贵州万山汞矿区某农田土壤重金属污染特征及来源解析[J]. 土壤通报, 2017, 48(2): 474-480.

[13] 姚峰, 包安明, 古丽·加帕尔, 等. 新疆准东煤田土壤重金属来源与污染评价[J]. 中国环境科学, 2013, 33(10): 1821-1828.

[14] 祁妍娟, 张千一, 肖潇, 等. 路域土壤重金属空间分布特征及其影响研究[J]. 价值工程, 2019(12): 155-158.

[15] 牟力, 张弛, 滕浪, 等. 山区河流阶地稻田土壤重金属的来源与污染评价[J]. 西南农业学报, 2018, 35(7): 1491-1497.

[16] 孟雷, 袁新田, 张春丽, 等. 朱仙庄和芦岭煤矿土壤重金属污染评价[J]. 井冈山大学学报, 2012, 33(5): 39-45.

[17] 苏海民, 何爱霞, 袁新田. 应用物元分析法评价矿区周边土壤重金属污染的变化[J]. 土壤通报, 2016, 47(1): 173-178.

(责任编辑: 蒋召雪)

(上接第56页)

6个诱集管都未诱到红火蚁, 诱集时段的地面温度为48~51℃, 历次调查也发现在烈日下拨动蚁巢未见工蚁活动。红火蚁觅食的土壤表面温度范围为12~51℃, 最大觅食率在22~36℃^[7]。因此西昌的高温季节宜在傍晚防治。相似条件下, 火腿肠诱集30 min的诱蚁量常少于诱集60 min的诱蚁量, 在监测中建议诱集1 h。

西昌市的低温干旱天气对红火蚁有一定抑制作用, 但西昌市安宁河谷的气候总体适宜红火蚁生存^[8]; 安宁河谷以外的二半山区由于海拔较高冬季

寒冷, 不适宜红火蚁生存^[9]。3月(惊蛰节气后)至5月中旬为防治关键时期, 6~7月西昌的雨日雨水较多, 有连阴雨寡照天气时段出现, 难找防治适期, 且6月下旬开始植被较高, 蚁巢不易发现, 也不便于施药。3~10月普遍诱蚁量多, 要应防尽防, 减少婚飞^[10]; 11~12月的晴好天气也能诱到较多的红火蚁, 可以防控, 减轻以后的防控压力; 1月和2月诱蚁量较少, 一般不防控。工蚁诱集量与一定范围内的旬平均气温、月平均气温和旬降水量存在显著相关性。可据此选择合适的天气施用毒饵, 提高防控效果。

参考文献:

[1] 陆永跃, 曾玲. 发现红火蚁入侵中国10年: 发生历史、现状与趋势[J]. 植物检疫, 2015, 29(2): 1-6.

[2] 陆永跃. 防控红火蚁[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2017.

[3] 李宁东, 曾玲, 梁广文, 等. 广东吴川红火蚁消长规律[J]. 昆虫知识, 2008, 45(1): 54-57.

[4] 江世宏, 黄胜先, 陈晓琴, 等. 深圳市红火蚁自然消长的动态规律[J]. 华中农业大学学报, 2011, 30(3): 318-321.

[5] 江世宏, 陈晓琴, 李广京, 等. 深圳市红火蚁种群动态的初步研究[J]. 环境昆虫学报, 2011, 33(4): 562-565.

[6] GB/T23626-2009, 红火蚁疫情监测规程[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.

[7] PORTER S D, TSCHINKEL W K. Foraging in *Solenopsis invicta* (Hymenoptera: Formicidae): effects of weather and season[J]. Environmental Entomology, 1987, 16(3): 802-808.

[8] 全国农技中心, 中科院动物研究所. 红火蚁[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005.

[9] 柳晓燕, 赵彩云, 李飞飞, 等. 基于MaxEnt模型预测红火蚁在中国的适生区[J]. 植物检疫, 2019, 33(6): 70-76.

[10] 陈晓琴, 江世宏, 黄胜先, 等. 深圳市红火蚁婚飞规律研究[J]. 应用昆虫学报, 2012, 49(5): 1293-1297.

(责任编辑: 曲继鹏)