



习玉森,王小云.基于模糊数学的忻州金矿复垦土壤的重金属元素污染评价[J].黑龙江农业科学,2022(11):72-76.

基于模糊数学的忻州金矿复垦土壤的重金属元素污染评价

习玉森,王小云

(山西农业大学 水土保持科学研究所,山西 太原 030045)

摘要:为了探究忻州地区金矿复垦土壤的质量状况,采集该试验区复垦3年后的土壤进行测试化验,分析Cd、As、Pb、Cr、Cu、Ni、Zn共7种重金属元素的含量,采用模糊数学综合评价法,选取重金属的毒理系数来确定评价的模糊权向量,对矿区的土壤环境污染状况进行评价。结果表明,大部分样点中重金属的含量都未超过国家规定的土壤质量一级标准,个别样点中重金属元素含量超过了二级和三级标准,其中Cr的平均值为 $182.54 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,超出了背景值的2倍,污染较严重;在模糊评价中,根据最大隶属度原则,有5个样点处于清洁状态,3个样点处于尚清洁状态,2个样点处于轻度污染状态,清洁率为50%,尚清洁率为80%。研究区的土壤存在一定程度的重金属污染,需要进一步治理修复。

关键词:复垦土壤;重金属污染;模糊数学综合评价

我国矿产资源丰富,且分布较广^[1]。随着工业化进程的加快,矿产资源过度开发利用,在带来经济效益的同时,随之引起了生态环境的严重污染,其中,重金属污染是一种较为严重的环境污染,并且土壤中的重金属不能被微生物分解,却可以被生物富集,从而对人类的健康造成较大的威胁^[2-5]。

近年来,随着生态文明建设的发展,人们的环境保护意识逐渐加强,矿区污染的治理得到了重视^[6]。土地复垦作为矿区土壤恢复可耕作性的主要方式,对于改善矿区的生态条件,增加周边地区农民收入都有着重要的意义。国内外学者对于复垦后的土壤养分等基本特性都进行了一定的研究,但关于复垦后土壤重金属的评价研究相对较少^[7-8]。土壤重金属的评价方法有很多,主要有单因子指数法、内梅罗指数法、综合指数法、潜在风险指数法和层次分析法等^[9-12]。但重金属的污染是模糊的、渐变的,引入模糊数学的评价方法能够更客观、科学地评判重金属的污染状况^[13]。

忻州地区矿产众多,对矿区复垦后的土壤重金属情况进行研究,对于改善该地区生态环境和人们身体健康状况具有重要的意义。本文通过对山西省忻州市金矿土地复垦3年后的土壤中7种重金属含量分别进行了测定,通过模糊数学的方

法进行重金属污染程度的评价,旨在为科学合理地利用矿区复垦土壤提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

研究区位于山西省忻州市繁峙县砂河镇(N39°20',E113°32'),该地区海拔1105 m,属温带大陆性气候,四季分明,年平均气温8.3℃,年平均降雨量为377.1 mm,降雨主要集中在夏季的7—9月。研究区内土壤类型为褐土,pH7.2,主要种植的农作物品种有玉米、豆类等。该矿在设计的过程中采取的是“剥离-采矿-复垦”的形式,该矿区的复垦土壤为剥离土和周边土壤,复垦方式为“矿区平整-覆土-平整”的过程。研究区为2016年复垦土地,复垦年限为3年。

1.2 土壤样品采集

2019年4月,在复垦的土地中,从样地的东、南、西、北和中间5个方向,选择10块种植玉米的土地作为研究区,每块玉米地按照网格法布设一个采样单元(50 m×50 m)。每个单元按照“S”型采集0~20 cm耕层土壤10~15份,混合后采用四分法,取1 kg土样放于冰盒中,带回实验室。5个方向共取复垦土壤样品10个。样品带回实验室后,剔除石块和植物碎片等杂质,置于阴凉干燥处风干后,进行研磨,并且过100目筛,放入密封袋中待测。

1.3 测定项目及方法

土壤样品检测采用电感耦合等离子体光谱仪(Thermo 6300)测定分析Cd、As、Pb、Cr、Cu、Ni、

收稿日期:2022-08-06

基金项目:山西省科技厅“山西省省属科研条件质量提升专项技术开发实验室建设项目”。

第一作者:习玉森(1992—),女,硕士,工程师,从事农业生态修复研究。E-mail:17835800713@163.com。

Zn 共 7 种重金属元素的含量,分析过程中试剂均为优级纯,测定过程按照规范的要求进行质量控制,各测试项目相对标准偏差小于 10%,力求做到数据准确可靠,样品测试 3 次重复。

1.4 模糊数学评价方法

模糊数学法是利用参数之间的不确定性替代数学假设基础上的解析关系,选定参数因子后,对判断的事物进行综合评价的一种方法^[14-15]。根据相关的研究方法和经验,再结合研究项目区的实际情况,构建模糊数学环境污染评价模型^[16-18]。

首先,根据取样地的土壤特点以及《土壤质量标准 农用地土壤污染风险管控标准(试行)》的规定^[19-20],确定构建研究区土壤重金属元素污染的因素集,设定 Cd、As、Pb、Cr、Cu、Ni、Zn 共 7 种重金属元素为因素集,其对应的测量浓度值为目标评价因子,构成研究区土壤重金属元素污染的因素集: $U=\{u_1,u_2,u_3,u_4,u_5,u_6,u_7\}$,对应的评价因子的权重集用 A 表示,即 $A=\{a_1,a_2,a_3,a_4,a_5,a_6,a_7\}$,研究区土壤重金属元素污染的评价集 $V=\{\text{I级(清洁),II级(尚清洁),III级(轻度污染)}\}$ ^[21-23]。

根据隶属度函数求得各指标对各级别土壤重金属污染状况的隶属度,组成一个 3×7 的模糊矩阵,即关系模糊矩阵 R 。因素集 U 和评价集 V 为一一映射的对应关系,于是 (U,V,R) 构成了综合评价模型,综合评判集用 B 表示,其模糊运算表达式为 $B=A\times R$ ^[24]。

1.5 数据分析

数据的分析采用 SPSS 13.0 以及 Excel 2007 软件。

2 结果与分析

2.1 金矿复垦土壤中重金属元素的含量

如表 1 和表 2 所示,Cd 元素含量最大的为样点 8,最小的为样点 1,其他样点之间含量差距不大,最大值是背景值的 6.5 倍,并且其平均值也比背景值大,说明土壤受到了重金属 Cd 的污染;土壤中 As 元素含量最大的为样点 8,最小的为样点 5,各个样点之间差距不明显,最大值比背景值高出了 7.96,平均值未超过背景值;Pb 元素的最大值和平均值均远低于背景值,说明该地区土壤未受到 Pb 的污染;Cr 最大值为样点 10,最小值为样点 8,其最大值是背景值的将近 10 倍,平均值也为背景值的 2 倍,说明该矿区土壤受到 Cr 的污染;Cu 元素的含量各个样点差距不大,最大值为样点 5,比背景值高 0.73,平均值和最小值均低于背景值;Ni 含量最大的为样点 5,样点 10 次之,最小的为样点 4,其平均值为背景值的 2.5 倍,最大值为背景值的 8 倍;Zn 元素含量最高的是样点 8,样点 10 次之,最低的是样点 1,平均值比背景值略大,但其最大值是平均值的 2.4 倍,说明有个别的样点 Zn 元素超标,出现了污染。

2.2 模糊关系评价

2.2.1 构建评价因子集和评价集 根据研究区域土壤的特点以及实验室的测量指标,综合确定 Cd、As、Pb、Cr、Cu、Ni、Zn 这 7 种重金属元素作为评价的因素集, $U=\{u_1,u_2,u_3,u_4,u_5,u_6,u_7\}$,如表 3 所示。7 种元素对应的土壤中的含量作为评价因子。

表 1 忻州金矿重金属元素的含量

单位:mg·kg⁻¹

样点	Cd	As	Pb	Cr	Cu	Ni	Zn
1	0.15±0.04 d	10.41±0.40 c	1.22±0.10 cd	200.63±11.56 b	20.61±3.06 b	84.40±2.76 d	45.17±5.54 d
2	0.16±0.03 d	11.18±0.92 c	0.81±0.15 d	142.38±14.88 bcd	21.82±2.39 ab	51.84±15.37 de	69.78±2.09 cd
3	0.17±0.03 d	10.56±1.62 c	1.13±0.15 cd	63.58±7.81 e	24.77±3.61 ab	33.53±6.49 e	73.65±4.53 cd
4	0.18±0.01 d	10.63±0.48 c	0.32±0.12 d	54.73±7.60 e	21.85±1.76 ab	20.96±0.77 e	90.33±2.16 c
5	0.16±0.02 d	9.31±2.40 c	3.19±1.00 ab	135.18±44.37 cd	35.73±12.69 a	324.40±41.86 a	80.03±6.40 cd
6	0.39±0.15 c	19.72±3.62 ab	2.52±0.16 bc	55.08±3.22 e	30.47±0.30 ab	32.05±10.49 e	81.91±3.69 cd
7	0.72±0.19 b	15.41±4.72 bc	3.31±0.35 ab	185.23±37.87 bc	30.70±0.56 ab	166.73±15.95 c	130.05±30.83 b
8	1.30±0.04 a	22.96±2.79 a	3.43±0.98 ab	39.42±12.49 e	25.83±5.12 ab	46.44±12.25 e	242.35±11.03 a
9	0.24±0.08 cd	11.55±0.12 c	4.19±0.34 a	83.99±8.19 de	23.40±6.82 ab	25.84±8.98 e	59.45±3.82 cd
10	0.34±0.02 cd	21.28±4.33 ab	2.29±1.02 bc	865.25±58.34 a	26.28±4.27 ab	234.00±10.61 b	136.08±47.62 b

注:不同字母表示 $P<0.05\%$ 水平差异显著。

表 2 土壤重金属含量统计分析

元素	最小值/ (mg•kg ⁻¹)	最大值/ (mg•kg ⁻¹)	平均值/ (mg•kg ⁻¹)	标准差	变异系数/%	背景值/ (mg•kg ⁻¹)
Cd	0.15	1.30	0.38	0.37	0.96	0.20
As	9.31	22.96	14.30	5.15	0.36	15.00
Pb	0.32	4.19	2.24	1.31	0.58	35.00
Cr	39.42	865.25	182.54	246.58	1.35	90.00
Cu	20.61	35.73	26.14	4.81	0.18	35.00
Ni	20.96	324.40	102.02	104.85	1.03	40.00
Zn	45.17	242.35	100.88	57.29	0.57	100.00

表 3 评价目标的因素集

因素集	<i>u</i> ₁	<i>u</i> ₂	<i>u</i> ₃	<i>u</i> ₄	<i>u</i> ₅	<i>u</i> ₆	<i>u</i> ₇
评价因子	Cd	As	Pb	Cr	Cu	Ni	Zn

根据《土壤质量标准 农用地土壤污染风险管控标准(试行)》^[20]的规定,设置重金属污染的等级,其中一级为自然环境背景值的标准,二级为标准中规定的土壤污染风险筛选值,三级为标准中规定的土壤污染风险管制值。建立研究区土壤重金属评价的评价集 $V=\{v_1,v_2,v_3\}$,如表 4 所示。

表 4 评价目标的评价集

评价集	<i>v</i> ₁	<i>v</i> ₂	<i>v</i> ₃
	一级	二级	三级
Cd	0.20	0.30	3.00
As	15	30	120
Pb	35	120	700
Cr	90	200	1000
Cu	35	100	400
Ni	40	100	200
Zn	100	250	500

2.2.2 确定评价因子的权重 权重的选择直接影响了模糊数学评价的结果,关于评价的权重集目前还没有明确的标准^[25]。本文选取重金属的毒理系数来确定评价的模糊权向量,即重金属的权重集 $A=\{a_1,a_2,a_3,a_4,a_5,a_6,a_7\}$ 。权重的计算公式为:

$$W_i=\frac{C_i}{S_i}T_i$$

(1)

式中, W_i 是评价因子的权重, C_i 为各个重金属含量的浓度, S_i 为各种金属对应的第 i 个因子对应的土壤重金属一、二、三级的平均值,即 $S_i=(S_1+S_2+S_3)/3$, T_i 是各个重金属的毒理系数(表 5)。

表 5 重金属的毒理系数

重金属元素	Cd	As	Pb	Cr	Cu	Ni	Zn
毒理系数	30	10	5	2	5	5	1

将权重的值进行归一化的计算,公式为:

$$a_i=\frac{W_i}{\sum_{i=1}^nW_i}$$

(2)

式中, a_i 为第 i 个重金属元素归一化计算后的权重, W_i 为(1)式中求得的权重, n 为评价因子个数。以样点 1 为例,按照公式计算可以得到样点 1 的重金属评价的权重集 $A_1=\{0.3448,0.1697,0.0019,0.0837,0.0518,0.3338,0.0143\}$,其他样点的权重集按照同样的方法计算出来。

2.2.3 确定隶属函数并建立模糊关系矩阵 结合前人的研究结果和方法,确定本次模糊数学计算的隶属度函数如下:

一级隶属度函数

$$u(x_i)=\begin{cases}1&x_i\leqslant a_i\\(b_i-x_i)/(b_i-a_i)&a_i< x_i< b_i\\0&x_i\geqslant b_i\end{cases}$$

(3)

二级隶属度函数

$$u(x_i)=\begin{cases}0&x_i\leqslant a_i\\(x_i-a_i)/(b_i-a_i)&a_i< x_i< b_i\\(c_i-x_i)/(c_i-b_i)&b_i\leqslant x_i< c_i\\0&x_i\geqslant c_i\end{cases}$$

(4)

三级隶属度函数

$$u(x_i)=\begin{cases}0&x_i\leqslant b_i\\(x_i-b_i)/(c_i-b_i)&b_i< x_i< c_i\\1&x_i\geqslant c_i\end{cases}$$

(5)

式中, x_i 是指第 i 重金属元素的实测值, a_i 、 b_i 、 c_i 是第 i 种重金属对应一、二、三级土壤重金属环境质量状况的标准值。根据表 1 中各个样点中不同重金属的含量和函数(3)、函数(4)和函数(5),可以得到各样点的隶属度模糊评价矩阵 R ,以样点 1 为例,通过隶属度函数的计算,得到一个 3×7 的模糊关系矩阵 R_1 如下:

$$R_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.9992 & 0.0008 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0.2600 & 0.7400 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

其余样点分别可以通过相同的运算方法得到其对应的重金属评价的隶属度的模糊关系矩阵。

2.2.4 综合评价 土壤重金属综合隶属度集合 $B=A \times R$,将样点 1 的权重向量 A_1 和模糊关系矩阵 R_1 带入,计算得到样点 1 的土壤重金属综合隶属度集 $B_1=A_1 \times R_1=\{0.3448,0.1697,0.0019,0.0837,0.0518,0.3338,0.0143\} \times$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.9992 & 0.0008 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0.2600 & 0.7400 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} = \{0.6693,0.3306,0.0001\}$$

按照最大隶属度原则^[26],样点 1 的土壤评价等级为 I,即未污染,其他样点的综合评价结果用同样的方法计算得出(表 6)。

表 6 忻州金矿复垦土壤各样点综合模糊评价结果

样点	隶属度			评价等级
	I	II	III	
1	0.6693	0.3306	0.0001	I
2	0.9234	0.0765	0.0000	I
3	1.0000	0.0000	0.0000	I
4	1.0000	0.0000	0.0000	I
5	0.3356	0.0122	0.6521	III
6	0.3220	0.6578	0.0202	II
7	0.1343	0.6132	0.2525	II
8	0.1160	0.5856	0.2984	II
9	0.7725	0.2275	0.0000	I
10	0.1178	0.4022	0.4800	III

3 讨论

矿区在复垦后的土壤质量对生态环境以及农业产品的安全都有着非常重要的作用^[27],在本研究中,10 个采样点,Cd、Cr、Ni、Zn 的均值都超过了土壤背景值。其中,Cd 的含量在 1~5 样点中都小于背景值,6~10 样点中,均大于背景值,样点 8 的 Cd 含量是国家规定的土壤质量风险筛选值(二级)的 4.3 倍,说明矿区的土地中 Cd 的污染有一定的集聚性;Cr 的平均值是背景值的两倍,最大值接近

背景值的十倍,接近土壤质量风险管控值,说明土壤中 Cr 严重超标,污染较严重;Ni 的平均值为背景值的 2.6 倍,主要是因为样点 5、样点 7、样点 10 中的 Ni 含量较高;Zn 元素的平均值略超背景值,但 Zn 属于对人体危害较小的金属元素。

前人研究表明,模糊评价方法更能准确地对土壤重金属的污染状况进行客观、准确的评价^[11、25]。在本文中,10 个样点中,清洁率为 50%,尚清洁率为 80%,样点 5 评价为 III 级(轻污染)状态主要因子为 Cr 和 Ni,样点 10 评价为 III 级(轻污染)状态的主要因子为 Cr 和 Ni。

矿区复垦土壤重金属超标的原因是多方面的^[28-30]。矿区土地复垦后,交由农户自行管理,本研究中,Cd 元素在 6~10 样点中的值均大于背景值,出现污染聚集性的原因可能是部分农户的田间管理措施不当,习惯大量施用养殖场产出的猪粪或鸡粪所致。Cr 和 Ni 元素受到人类活动的影响较小,主要是受成土母质的影响^[31],样点 5、样点 7、样点 10 中的 Cr 和 Ni 元素含量都明显高于其他样点,可能这 3 个样点的复垦土为同一批次,且复垦所用的覆土中这两种重金属含量较高,也有可能是覆土深度不够,矿物残渣的渗透所致。由于样点 5 和样点 10 的评价等级为 III 级(轻污染),后期应当采取进一步的调查研究措施,监测玉米籽粒中的重金属含量,并了解玉米对重金属的富集程度,以防对人体的健康产生危害。该地在以后的农业生产中,农户应当尽量减少猪粪和鸡粪的施用,选择羊粪和牛粪作为有机肥,并通过调节土壤 pH 和质地、增加覆土厚度、施入土壤改良剂、种植对重金属富集能力较好的植物等措施减少土壤中重金属的污染^[15、28、31]。

4 结论

本研究结果表明,在 10 块样地中,有 5 个样点处于清洁状态,3 个样点处于尚清洁状态,2 个样点处于轻度污染状态,清洁率为 50%,尚清洁率为 80%。金矿复垦地的土壤存在一定程度的污染,造成污染的主要重金属元素有 Cr、Ni。在后期的土壤环境生态修复中,应该多注重这些重金属元素的治理。

参考文献:

[1] 聂兴山.孝义铝矿复垦土壤重金属污染潜在生态风险评价[J].中国水土保持科学,2018,16(1):116-122.
[2] ALAM M G M,SNOW E T,TANAKA A. Arsenic and heavy metal contamination of vegetables grow in samta village, bangladesh [J]. the Science of the Total Environment, 2003,308:83-96.

- [3] 李春芳,曹见飞,吕建树,等.不同土地利用类型土壤重金属生态风险与人体健康风险[J].环境科学,2018,39(12):5628-5638.
- [4] 王学军,席爽.北京东郊污灌土壤重金属含量的克立格插值及重金属污染评价[J].中国环境科学,1997,17(3):225-228.
- [5] 范明毅,杨皓,黄先飞,等.喀斯特山区燃煤电厂土壤重金属污染评价[J].化工环保,2016,36(3):338-344.
- [6] 陈怡先,姜小三,王勇,等.基于GIS矿区土壤重金属生态环境及人体健康评价[J].环境科学学报,2018,38(4):1642-1652.
- [7] 郭冬艳,李月芬,王冬艳,等.鞍山市铁矿区复垦土壤重金属污染评价[J].吉林农业大学学报,2011,33(5):551-557.
- [8] 邹素敏,杜瑞英,文典.大宝山矿区某农田蔬菜重金属污染状况及健康风险评估[J].农业资源与环境学报,2016,33(5):1-8.
- [9] 张俊丽,雷建新,赵晓进,等.陕西省潼关县农田重金属污染分析与评价[J].西北农业学报,2019,28(2):247-252.
- [10] 刘琼峰,李明德,段建南,等.长沙城郊农田土壤重金属Pb、Cd的生态风险评价研究[J].农业环境科学学报,2013,32(8):1564-1570.
- [11] 能子礼超,勾琴,刘盛余,等.模糊数学法综合评价土壤重金属污染程度研究[J].能源与环保,2020,42(7):39-43.
- [12] 孟源思,高琳琳,李子杰,等.农田土壤重金属污染风险评价模型与方法研究[J].地球与环境,2020,48(4):489-495.
- [13] 赛宁刚,祁娟,贾燕伟,等.东祁连山不同土地利用方式下土壤重金属污染评价[J].草业学报,2022,31(10):99-109.
- [14] 何绪文,王宇翔,房增强,等.铅锌矿区土壤重金属污染特征及污染风险评价[J].环境工程技术学报,2016,6(5):476-483.
- [15] 张晓薇,王恩德,柏易彤.基于模糊数学综合评价法的弓长岭铁矿区土壤环境质量研究[J].金属矿山,2018(11):149-154.
- [16] 段志斌,王济,宣斌,等.改进模糊数学法在土壤重金属污染评价中的应用[J].安徽农业大学学报,2017,44(6):1-5.
- [17] 杜启露,程志飞,刘品植,等.贵州省修文县猕猴桃生态园区土壤重金属污染现状评价[J].水土保持通报,2019,39(1):264-270.
- [18] LIU L, ZHOU J Z, AN X L, et al. Using fuzzy theory and information entropy for water quality assessment in Three Gorges Region, China[J]. Expert Systems with Applications, 2010, 37(3): 2517-2521.
- [19] 周会程,姚玉娇,梁婷,等.天祝不同退化梯度高寒草甸土壤重金属污染及风险评价[J].生态环境学报,2020,29(1):2102-2109.
- [20] 中华人民共和国生态环境部.土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准(试行):GB15618-2018 [S].北京:中国环境出版集团,2019.
- [21] 赵晓光,张亦扬,杜华栋.陕北矿区不同土地类型下土壤重金属污染评价[J].环境工程,2019,37(9):188-193.
- [22] 陈优良,史琳,王兆茹.基于模糊数学的矿区土壤重金属污染评价——以信丰稀土矿区为例[J].有色金属科学与工程,2016,7(4):127-133.
- [23] 王陆军,范拴喜.宝鸡市城郊农田土壤重金属污染风险评估[J].中国农学通报,2015,31(3):179-185.
- [24] 陈江军,刘波,蔡烈刚,等.基于多种方法的土壤重金属污染风险评价对比——以江汉平原典型场区为例[J].水文地质工程地质,2018,45(6):164-172.
- [25] 孙小涛,周忠发,黄智灵,等.改进模糊综合评价模型对岩溶山区茶叶产地土壤重金属污染评判[J].中国岩溶,2016,35(3):282-290.
- [26] 蔡雄飞,李丁,王济,等.基于改进模糊数学法的五马河沿岸土壤重金属污染评价[J].江苏农业科学,2019,47(1):246-250.
- [27] 罗沐欣键,柴冠群,刘桂华,等.贵州中低海拔黄壤区土壤-辣椒系统重金属迁移累积特征研究[J].河南农业科学,2022,51(6):85-93.
- [28] 樊文华,白中科,李慧峰,等.复垦土壤重金属污染潜在生态风险评价[J].农业工程学报,2011,27(1):348-354.
- [29] 闫湘,王旭,李秀英,等.水溶肥料重金属含量与安全评价[J].土壤通报,2015,46(5):1264-1271.
- [30] 李倩,秦飞,季宏兵,等.北京市密云水库上游金矿区土壤重金属含量、来源及污染评价[J].农业环境科学学报,2013,32(12):2384-2394.
- [31] 胡世玮,杨静,谢伟强,等.杨凌蔬菜产地土壤重金属污染风险评价[J].西北农业学报,2015,24(8):175-180.

Evaluation of Heavy Metal Pollution in Reclaimed Soil of Xinzhou Gold Mine Based on Fuzzy Mathematics

XI Yu-sen, WANG Xiao-yun

(Institute of Soil and Water Conservation Science, Shanxi Agricultural University, Taiyuan 030045, China)

Abstract: In order to investigate the quality of reclaimed soil in Xinzhou gold mine, soil samples from the experimental area were collected and tested after three years of reclamation, the contents of Cd, As, Pb, Cr, Cu, Ni and Zn in 10 samples were analyzed. The Fuzzy Weight Vector was determined by using the toxicity coefficient of heavy metals in the comprehensive evaluation method of Fuzzy Mathematics, and the environmental pollution of soil in mining area is evaluated. The results showed that the contents of heavy metals in most samples did not exceed the first grade standard of soil quality stipulated by the state, and the contents of heavy metals in some samples exceeded the second and third grade standards. The average value of CR was $182.54 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, which was more than 2 times of the background value, the pollution was more serious. There were 5 samples in clean state, 3 samples in clean state, 2 samples in light pollution state, the cleaning rate was 50% and the remaining cleaning rate was 80%. There is a certain degree of heavy metal pollution in the soil of the study area, which needs further treatment and rehabilitation.

Keywords: reclaimed soil; heavy metal pollution; fuzzy mathematics comprehensive evaluation