

矿粮复合区土壤-作物系统重金属污染风险性评价

马守臣^{1,2,3}, 邵云², 杨金芳², 李春喜^{2*}

1. 河南理工大学测绘与国土信息工程学院, 矿山空间信息技术国家测绘局重点实验室, 焦作 454000; 2. 河南师范大学生命科学学院, 新乡 453007;
3. 河南理工大学, 河南省高校矿山环境保护与生态修复省级重点实验室培育基地, 焦作 454000

摘要: 为分析矿区污染农田农作物生产的生态安全性, 以焦作市中马村矿区的典型农田为例, 对矿区农田土壤及植物中Zn、Cr、Cd、Cu和Pb等重金属的质量分数进行了测定, 并对重金属污染风险进行了评价。结果表明, 根据重金属的单项污染指数, 在矿井水浇灌农田(F1样地)土壤中Zn和Cd的质量分数达到中度污染水平, Cr的质量分数达到轻微污染水平, Cu和Pb元素质量分数未达到污染水平。在煤矸石污染农田(F2样地)土壤中Zn、Cr和Cd的质量分数达到轻度污染水平, Cu和Pb元素质量分数未达到污染水平。在矿区公路侧农田(F3样地)土壤中各元素质量分数均未达到污染水平。采用潜在生态风险指数法对土壤重金属污染的生态风险进行评价, F1和F2样地综合生态风险指数分别为239.60和178.42, 达到中等水平, F3样地土壤达到轻微生态风险水平。采用单项污染指数和综合污染指数法对小麦(*Triticum aestivum*)籽粒中重金属风险进行评价, 在F1和F2样地中, 小麦籽粒中Cu质量分数均未达到污染水平, Pb、Cd和Cr质量分数均达到重度污染水平。Zn质量分数在F1样地中达到轻度污染水平, 在F2样地中达到中度污染水平。在F3样地中, 小麦籽粒中Cd和Cu质量分数未达到污染水平, Zn质量分数达到轻度污染水平, Pb、Cr质量分数达到重度污染水平。从综合污染指数评价来看, F1、F2和F3 3个样地小麦籽粒中重金属污染综合指数均达到重度污染水平。评价结果对科学治理矿区污染土壤, 确保矿区农田生态安全、粮食生产安全具有重要意义。

关键词: 矿粮复合区; 土壤-作物系统; 重金属污染; 风险评价; 冬小麦

中图分类号: X53

文献标志码: A

文章编号: 1674-5906 (2012) 05-0937-05

煤矿区在为国家提供了能源支撑的同时, 引发的生态与环境问题也日益凸现。煤矸石是煤炭生产和加工中排放的固体废弃物, 煤矸石中含有Pb、Cu、Mn、As、Zn、Cr、Cd及Hg等重金属元素^[1]。煤矸石在长期堆放过程中, 极易发生风化, 使大量有毒有害的重金属元素释放出来, 并经雨水及风力等, 迁移至大气、水体、土壤中并最终对矿区周围农田生态系统造成污染^[2]。此外, 矿井水也是一种具有行业特点的污染源, 矿井水中普遍含有以煤粉和岩粉形成的悬浮物、重金属、有毒、有害物质以及放射性元素等, 有的矿井水还呈现出高矿化度或酸性^[3]。矿井水排放不但导致水资源破坏、水资源浪费, 而且对矿区周围土壤、河流和地下水资源造成了严重的酸污染和重金属污染^[4-6]。酸性矿井水还可增加一些重金属的溶解, 从而加大其毒性, 尤其是当这些过量的重金属元素发生协同作用时, 对植物生长危害更大。当这些呈酸性和高重金属含量的矿井水用于农业灌溉时, 不但污染农田土壤, 还能增强作物对重金属的吸收, 从而影响作物的品质^[6-8]。虽然有些矿区矿井水经过净化处理, 但仍然存

在少量的污染物, 长期用于农业灌溉也会给土壤环境带来一定的风险。重金属污染物一方面通过影响土壤微生物区系、生态物种和微生物过程, 进而影响生态系统的结构与功能; 另一方面, 土壤重金属污染通过影响粮食、蔬菜等作物品质, 经人体食物链, 造成人体健康风险^[9-11]。近年来煤矿区重金属污染问题已引起广泛的关注, 对重金属污染问题的也进行了大量的相关研究, 但当前的研究主要集中在对矿区土壤方面的影响^[12-14], 对矿粮复合区农作物重金属污染和粮食生产安全问题的研究相对较少。因此, 本研究以焦作市中马村矿区的矿粮复合区为研究区, 通过对区内典型污染农田土壤及农作物中重金属Pb、Cu、Zn、Cr、Cd含量进行测定, 对其重金属污染情况进行风险评价, 评价结果对科学合理治理矿区受损的农田生态系统, 确保矿区农田生态安全、粮食生产安全具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 试区概况

评价区选取焦作煤业集团中马村矿区, 矿区位置位于焦作市东郊, 于1955年建成并投产。在矿区

基金项目: 国家“十二五”科技支撑计划(2012BAD14B08); 河南省高校矿山环境保护与生态修复省级重点实验室培育基地开放基金(KF2010-07)

作者简介: 马守臣(1972年生), 男, 博士, 副教授, 主要从事环境生态方面的研究工作。E-mail: mashouchen@126.com

***通信作者:** 李春喜(1964年生), 男, 教授, 博士, 主要从事农业生态方面的研究工作。E-mail: 13703731637@sina.com

收稿日期: 2012-01-05

内选取3处典型农田作为研究对象: F1(位于矿区洗煤废水排放口处, 长期进行矿区废水灌溉); F2(位于矸石山附近, 距矸石山约50 m); F3 (距矿井约300 m, 位于通往矿井区的公路两侧)。土壤类型均为砂壤土。

2.2 样品采集及测定

根据农田的面积和形状, 于小麦 (*Triticum aestivum*) 成熟期采用蛇形采点取样, 每区各取5个土样和植物样。土壤样品为0~20 cm表层土, 植物样取自土壤样附近。采集的土壤样品, 放在通风处风干, 风干过程中用木棒压碎大土块, 拣出植物根、叶片等各种杂物, 风干后研磨并通过2 mm (20目) 尼龙筛子, 再从中取出大约200 g, 研磨至全部过0.149 mm (100目) 的尼龙筛子, 保存于塑料袋中, 混匀待测。采集的植物样品, 按茎、叶、颖壳和籽粒部位, 用去离子水分别洗净、烘干并粉碎后, 装入自封袋, 并记录样品号, 待测。样品经硝酸-高氯酸进行消化处理后, 采用原子吸收分光光度法、火焰法测定样中的Cr、Zn、Pb、Cd、Cu的质量分数。

2.3 评价方法

采用单项污染指数法进行土壤环境质量评价, 生态风险指数法(Hankson指数法)评价土壤潜在的生态风险。采用单项污染指数和综合污染指数法(内梅罗综合污染指数法)对小麦籽粒进行了风险评价。

单项污染指数法, 计算公式:

$$I_j = C_j / C_0 \tag{1}$$

式中: I_j 为污染物 j 单因子指数; C_j 为污染物 j 的实测质量分数 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$); C_0 为污染物 j 的评价标准 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)。依据评价标准, $I_j \leq 1$ 表示未受污染; $1 < I_j \leq 2$ 轻度污染; $2 < I_j \leq 3$ 中度污染; $I_j > 3$ 重度污染^[15]。

综合污染指数法, 计算公式:

$$I_{\text{综}} = \sqrt{(I_{j\text{max}}^2 + I_{j\text{mean}}^2) / 2} \tag{2}$$

式中: $I_{\text{综}}$ 为某测点综合污染指数; $I_{j\text{max}}$ 为污染物在作物中最大污染指数; $I_{j\text{mean}}$ 为作物各污染指数平均值。评价标准为, $I_{\text{综}} \leq 0.7$ 表示未受污染; $0.7 < I_{\text{综}} \leq 1.0$ 达到警戒水平; $1.0 < I_{\text{综}} \leq 2.0$ 轻度污染; $2.0 < I_{\text{综}} \leq 3.0$ 中度污染; $I_{\text{综}} > 3.0$ 重度污染^[15]。

生态风险指数法, 计算公式:

$$\text{RI} = \sum_{i=1}^n E_r^i = \sum_{i=1}^n T_r^i \cdot \frac{C^i}{C_n^i} \tag{3}$$

式中: RI为沉积物中多种重金属潜在的生态风险指数; E_r^i 为第 i 种重金属的潜在生态危害系数; T_r^i 为第 i 种重金属的毒性相应系数 (Cu= 5, Zn= 1, Cd=30, Pb= 5, Cr=2); C^i 为表层土壤中第 i 种重金属质量分数的实测值; C_n^i 为计算所需的参比值(本文选择河南省土壤元素背景值作为标准)。 E_r^i 描述某一污染物(元素)的污染程度, 分为5个等级: $E_r^i < 40$ 轻微生态危害; $40 \leq E_r^i < 80$ 中等生态危害; $80 \leq E_r^i < 160$ 强生态危害; $160 \leq E_r^i < 320$ 很强生态危害; $E_r^i \geq 320$ 极强生态危害。RI描述某一点多个污染物潜在生态危害系数的综合值, 分为4个等级: $\text{RI} < 150$ 轻微生态危害; $150 \leq \text{RI} < 300$ 中等生态危害; $300 \leq \text{RI} < 600$ 强生态危害; $\text{RI} \geq 600$ 很强生态危害^[16]。

3 结果与分析

3.1 土壤中重金属含量

表1为矿区土壤中5种重金属的质量分数以及河南省的土壤元素背景值。与背景值比较, F1和F2样区土壤中除Cu以外, Cr、Zn、Pb、Cd质量分数的实测值均高于河南省的土壤元素环境背景值。F3样区土壤中Pb和Cd质量分数的实测值高于环境背景值, Cu、Cr和Zn质量分数的实测值低于背景值。

表1 土壤重金属含量、背景值和土壤质量评价
Table 1 Soil heavy metal content, the background value and quality evaluation

	元素	Zn	Pb	Cd	Cr	Cu
样地	背景值	≤74.2	≤19.6	≤0.09	≤63.8	≤19.7
	二级标准	≤200	≤250	≤0.3	≤150	≤50
F1	实测值	460.85±11.5	94.85±8.2	0.61±0.05	160.95±10.1	3.19±0.7
	污染指数	2.30	0.38	2.03	1.07	0.06
	污染程度	中度污染	未污染	中度污染	轻度污染	未污染
F2	实测值	245.20±12.3	49.15±7.4	0.47±0.11	157.27±14.5	5.08±0.5
	污染指数	1.23	0.20	1.57	1.05	0.10
	污染程度	轻度污染	未污染	轻度污染	轻度污染	未污染
F3	实测值	42.49±4.5	35.79±2.1	ND	116.02±6.3	4.39±1.2
	污染指数	0.21	0.14	-	0.77	0.09
	污染程度	未污染	未污染	未污染	未污染	未污染

ND表示未测出

与国家土壤环境质量二级标准比较，F1和F2样区土壤中Zn、Cd、Cr质量分数的实测值均高于国家二级标准，Cu和Pb质量分数低于国家二级标准；F3样区土壤中测5种重金属元素质量分数的实测值均低于国家二级标准。选用国家土壤环境质量二级标准，采用单项污染指数法来评价各重金属元素对土壤的影响，由评价结果可知，在F1样地土壤中Zn和Cd的污染指数达到中度污染水平，Cr的污染指数达到轻微污染水平，Cu和Pb元素质量分数未达到污染水平。在F2样地土壤中Zn、Cr和Cd的污染指数达到轻度污染水平，Cu和Pb元素质量分数未达到污染水平。在F3样地土壤中各元素质量分数均未达到污染水平。

3.2 土壤重金属污染风险评价

以土壤元素背景值作为标准，采用潜在生态风险指数法(Hankson 指数法)对矿区土壤重金属污染的生态风险进行评价，该方法是根据重金属的性质及环境行为特点，从沉积学角度提出的一种对沉积物或土壤中重金属污染进行评价的方法。它将重金属的质量分数、生态效应、环境效应与毒理学联系在一起，采用具有可比的等价属性指数分级法进行评价，可以定量评价单一元素的风险等级，也可以评价多个元素的总体风险等级。由单项风险指数的评价结果（表2）可知，F1样地中土壤Cd的质量分数达到很强生态风险水平，Zn、Cr、Cu和Pb的质量分数达到轻微生态风险水平。F2样地中土壤Cd的质量分数达到强生态风险水平，Zn、Cr、Cu和Pb的质量分数达到轻微生态风险水平。在F3样地土壤中除Cd未测出以外，Zn、Cr、Cu和Pb的质量分数均达到轻微生态风险水平。从综合的潜在生态风险指数来看，F1和F2样地综合生态风险指数分别为239.60和178.42，达到中等水平，F3样地土壤达到轻微生

表 2 矿区重金属污染土壤的生态风险评价

Table 2 Risk assessment of heavy metal polluted soil in coal mining area

样地		单项风险指数 E_r^i					综合风险 指数 RI
		Zn	Pb	Cd	Cr	Cu	
F1	指数值	6.21	24.20	203.33	5.045	0.81	239.60
	等级	轻微	轻微	很强	轻微	轻微	中等
F2	指数值	3.30	12.54	156.67	4.62	1.29	178.42
	等级	轻微	轻微	强	轻微	轻微	中等
F3	指数值	0.57	9.13	—	3.64	1.11	14.45
	等级	轻微	轻微	—	轻微	轻微	轻微

态风险水平。

3.3 小麦不同器官重金属含量

参照GB 2715—2005 中华人民共和国国家标准粮食卫生标准和NY 861—2004 中华人民共和国农业行业标准总结得到小麦中重金属质量分数的限量标准见表3。通过对小麦叶、茎、颖壳和籽粒中的重金属质量分数进行测定，在F1、F2和F3 3个样地中，Zn、Pb、Cr在小麦各器官中的含量，均高于限量标准，Cu在小麦各器官中的质量分数，均低于限量标准。在F1和F2样地中，Cd除在茎中的质量分数低于限量标准外，在其它器官中的质量分数均高于限量标准。在F3样地中，Cd在茎和籽粒中的质量分数未测出，在叶和颖壳中的质量分数均高于限量标准。

3.4 小麦籽粒中重金属风险评价

重金属元素在籽粒中积累并通过食用进入人体后将在体内富集，严重时可能引发慢性疾病和癌症。因此，我国对各重金属元素在粮食中的限量做了明确规定，限量标准见表3。以该限量标准，采用单项污染指数和综合污染指数法对小麦籽粒中重金属风险进行评价，从评介结果（表4）可知，在F1样地中，小麦籽粒中Zn质量分数达到轻度污染

表 3 小麦不同器官中重金属含量和限量标准

Table 3 Heavy metal content of different organs in wheat and contamination limit standard

样地	元素	Zn	Pb	Cd	Cr	Cu
	限量标准	50	0.2	0.1	1.0	10
F1	叶	99.80±6.32	256.15±7.21	11.11±1.31	66.01±7.32	3.69±0.93
	茎	81.82±2.45	29.79±5.73	0.08±0.03	45.35±2.39	1.42±0.04
	颖壳	86.96±3.31	69.29±9.86	3.21±0.81	22.75±7.32	1.99±0.28
	籽粒	97.76±4.13	28.70±6.92	0.39±0.32	36.60±8.34	2.79±0.78
F2	叶	90.65±7.52	194.75±11.21	10.36±1.31	34.01±7.45	1.92±0.52
	茎	89.71±5.35	37.76±8.42	0.02±0.01	28.30±5.32	3.0±0.85
	颖壳	97.25±9.33	71.79±6.32	2.31±0.32	24.84±4.15	2.01±0.87
	籽粒	102.55±10.45	39.64±4.84	0.31±0.03	36.65±3.65	5.11±0.95
F3	叶	97.77±8.24	289.56±12.91	14.79±1.31	43.54±3.14	5.24±0.39
	茎	56.89±4.77	35.35±4.32	ND	16.59±2.31	1.32±0.63
	颖壳	84.79±5.64	60.56±10.42	1.97±0.14	20.05±4.21	1.74±0.54
	籽粒	77.06±10.31	33.10±5.91	ND	28.93±4.11	3.16±0.58

ND表示未测出

表 4 小麦籽粒中重金属风险评价
Table 4 Heavy metal risk assessment results of wheat grains

样地		单项污染指数					综合污染指数
		Zn	Pb	Cd	Cr	Cu	
F1	指数值	1.96	193.5	3.9	36.6	0.28	125.01
	等级	轻度污染	重度污染	重度污染	重度污染	未污染	重度污染
F2	指数值	2.05	198.2	3.1	36.65	0.511	126.57
	等级	中度污染	重度污染	重度污染	重度污染	未污染	重度污染
F3	指数值	1.54	165.5	—	28.93	0.316	116.69
	等级	轻度污染	重度污染	未污染	重度污染	未污染	重度污染

水平, Pb、Cd和Cr质量分数达到重度污染水平, Cu质量分数未达到污染水平。在F2样地中, 小麦籽粒中Zn质量分数达到中度污染水平, Pb、Cd和Cr质量分数达到重度污染水平, Cu质量分数未达到污染水平。在F3样地中, 小麦籽粒中Zn质量分数达到轻度污染水平, Pb、Cr质量分数达到重度污染水平, Cd和Cu质量分数未达到污染水平。从综合污染指数评价来看, F1、F2和F3 3个样地小麦籽粒中重金属污染综合指数均达到重度污染水平。

4 结论

采用单项污染指数法对土壤各重金属元素进行评价, 在F1样地土壤中Zn和Cd的污染指数达到中度污染水平, Cr的污染指数达到轻微污染水平, Cu和Pb元素质量分数未达到污染水平。在F2样地土壤中Zn、Cr和Cd的污染指数达到轻度污染水平, Cu和Pb元素质量分数未达到污染水平。在F3样地土壤中各元素质量分数均未达到污染水平。

采用潜在生态风险指数法对矿区土壤重金属污染的生态风险进行评价, 在F1、F2和F3样地中Zn、Cr、Cu和Pb的质量分数均达到轻微生态风险水平, Cd的质量分数在F1土壤样地中达到很强生态风险水平, 在F2样地中达到强生态风险水平, 而在F3样地土壤中Cd未测出。从综合的潜在生态风险指数来看, F1和F2样地综合生态风险指数分别为239.60和178.42, 达到中等水平, F3样地土壤达到轻微生态风险水平。

采用单项污染指数和综合污染指数法对小麦籽粒中重金属风险进行评价, 在F1和F2样地中, 小麦籽粒中Cu质量分数均未达到污染水平, Pb、Cd和Cr质量分数均达到重度污染水平, Zn质量分数在F1样地中达到轻度污染水平, 在F2样地中达到中度污染水平。在F3样地中, 小麦籽粒中Cd和Cu质量分数未达到污染水平, Zn质量分数达到轻度污染水平, Pb、Cr质量分数达到重度污染水平。从综合污染指数评价来看, F1、F2和F3 3个样地小麦籽粒中重金属污染综合指数均达到重度污染水平。

参考文献:

[1] 胡振琪. 土地复垦与生态重建[M]. 北京: 中国矿业大学出版社, 2008.
HU Zhenqi. Land reclamation and ecological restoration[M]. Beijing: China University of Mining and Technology Press, 2008.

[2] 张锂, 韩国才, 陈慧, 等. 黄土高原煤矿区煤矸石中重金属对土壤污染的研究[J]. 煤炭学报, 2008, 33 (10): 1141-1146.
ZHANG Li, HAN Guocai, CHEN Hui, et al. Study on heavy metal contaminants in soil come from coal mining spoil in the Loess Plateau. Journal of China Coal Society, 2008, 33 (10): 1141-1146.

[3] 胡文荣. 煤矿矿井水处理技术[M]. 上海: 同济大学出版社, 1996.

[4] Lin C, Lu W, Wu Y. Agricultural soils irrigated with acidic mine water: acidity, heavy metals and crop contamination [J]. Aust J Soil Res, 2005, 43: 819-826.

[5] Lin C, Wu Y, Lu W, et al. Water chemistry and ecotoxicity of an acid mine drainage-affected stream in subtropical China during a major flood event [J]. J Hazard Mater, 2007, 142: 199-207.

[6] Chen A, Lin C, Lu W, et al. Well water contaminated by acidic mine water from the Dabaoshan Mine, South China: chemistry and toxicity [J]. Chemosphere, 2007, 70: 248-255.

[7] Chen A, Lin C, Lu W, et al. Chemical dynamics of acidity and heavy metals in a mine water-polluted soil during decontamination using clean water [J]. Journal of Hazardous Materials, 2010, 175: 638-645.

[8] Boularbah A, Schwartz C, Bitton G, et al. Heavy metal contamination from mining sites in South Morocco: 2. Assessment of metal accumulation and toxicity in plants[J]. Chemosphere, 2006, 63: 811-817.

[9] Li Z W, Li L Q, Pan G X, et al. Bioavailability of Cd in a soil-rice system in China: soil type versus genotype effects [J]. Plant and Soil, 2005, 271 (1/2): 165-273.

[10] 冯绍元, 邵洪波, 黄冠华. 重金属在小麦作物体中残留特征的田间试验研究[J]. 农业工程学报, 2002, 18(4):113-115.
FENG Shaoyuan, SHAO Hongbo, HUANG Guanhua. Field experimental study on the residue of heavy metal in wheat crop [J]. Transactions of the CSAE, 2002, 18(4): 113-115.

[11] 刘建国, 李坤权, 张祖建, 等. 水稻不同品种对铅吸收、分配的差异及机理[J]. 应用生态学报, 2004, 15(2): 291-294.
LIU Jianguo, LI Kunquan, ZHANG Zujian, et al. Difference of lead uptake and distribution in rice cultivars and its mechanism [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15(2): 291-294.

[12] 崔龙鹏, 白建峰, 史永红, 等. 采矿活动对煤矿区土壤中重金属污染研究[J]. 土壤学报, 2004, 41(6) : 898 -904.
CUI Longpeng, BAI Jinafeng, SHI Yonghong, et al. Heavymetals in soil contaminated by coalmining activity [J]. Acta Pedologica Sinica, 2004, 41(6): 898-904.

[13] 胡振琪, 戚家忠, 司继涛. 不同复垦时间的粉煤灰充填复垦土壤重

- 金属污染与评价[J]. 农业工程学报, 2003, 19(3): 214-218.
- HU Zhenqi, QI Jiazhong, SI Jitao. Contamination and assessment of heavy metals in fly ash reclaimed soil [J]. Transactions of the CSAE, 2003, 19(3): 214-218.
- [14] 赵青, 刘志斌, 冯吉燕. 矿区农田土壤的重金属污染[J]. 辽宁工程技术大学学报: 自然科学版, 2009, 28(9): 181-183.
- ZHAO Qing, LIU Zhibin, FENG Jiyan. Heavy metals pollution of farmland soil in mine area[J]. Journal of Liaoning Technical University: Natural Science Edition, 2009, 28(9): 181-183.
- [15] 董霁红, 于敏, 程伟, 等. 矿区复垦土壤种植小麦的重金属安全性[J]. 农业工程学报, 2010, 26(12): 280-286.
- DONG Jihong, YU Min, CHENG Wei, et al. Safety of heavy metals pollution for wheat planted in reclaimed mining soil [J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(12): 280-286.
- [16] 雷鸣, 曾敏, 郑袁明, 等. 湖南采矿区和冶炼区水稻土重金属污染及其潜在风险评价[J]. 环境科学学报, 2008, 28(6): 1212-1220.
- LEI Ming, ZENG Min, ZHENG Yuanming, et al. Heavy metals pollution and potential ecological risk in paddy soils around mine areas and smelting areas in Hunan Province[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2008, 28(6): 1212-1220.

Risk assessment of heavy metal contamination in soil-plant system of the overlapped areas of crop and mineral production

MA Shouchen^{1,2,3}, SHAO Yun², YANG Jingfang², LI Chunxi^{2*}

1. Key Laboratory of Mine Spatial Information Technologies of SBSM, School of Surveying and Land Information Engineering,

Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China;

2. College of Life Science, Henan Normal University, Xinxiang 453007, China;

3. Henan Key Laboratory Cultivation Base of Environmental Protection and Ecological Remediation in Mining Area,

Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China

Abstract: In this study, to study the ecological safety of crops production in the overlapped areas of crop and mineral production, the contents of Zn, Cr, Cd, Cu and Pb in wheat and soil were investigated and pollution risk of heavy metals were evaluated in Zhongmacun mining area of Jiaozuo, China. The results showed that, according to single contamination index of heavy metal, the contents of Zn and Cd in the mine water contaminated soil (F1 sample plot) reached middle contamination level, the content of Cr reached slight contamination level, and but the contents of Cu and Pb were under contamination level. The contents of Zn, Cr and Cd in the coal waste rock contaminated soil (F2 sample plot) reached slight contamination level, and but the contents of Cu and Pb under contamination level. The contents of Zn, Cr, Cu, Pb and Cd in soil close to the highway (F3 sample plot) were all under contamination level. Potential ecological risk index was used to evalaued the ecological risk of heavy metals polluted soil. The assessment results showed that the comprehensive ecological risk index was 239.60 for F1 sample plot, and 178.42 for F2 sample plot, they both reached middlle risk level; the comprehensive ecological risk index of soil in F3 sample plot reached slight risk level. The single contamination index and comprehensive contamination index methods were used to evaluate the heavy metal polluted risk of wheat grain. The assessment results showed that the contents of Cu of wheat grain were under contamination level, but the contents of Pb, Cd and Cr of wheat grain reached the severe risk level in F1 and F2 sample plots. The content of Zn of wheat grain reached the slight risk level in F1 sample plot and middle risk level in F2 sample plot. The contents of Cd and Cu of wheat grain were under contamination level, but the content of Zn of wheat grain reached the sligh risk level in F1 and F2 sample plots. The contents of Pb and Cr of wheat grain reached the severe risk level in F3 sample plot. The comprehensive contamination indexes of wheat grain all reached the severe risk level in F1, F2 and F3 sample plots. The assessment results above had important practical value for managing the polluted soil and ensuring farmland ecological safety and food production safety.

Key words: the overlapped areas of crop and mineral production; soil-plant system; heavy metal contamination; risk assessment; winter wheat