

河南省尾矿库土壤重金属污染评价及优势植物 重金属累积特征

黄 凯,张雪娇,冯 媛,张发文

(河南农业大学 林学院,河南 郑州 450002)

摘要:为促进尾矿库的污染治理及生态修复,通过研究河南省尾矿库土壤重金属含量,以及库区优势植物对 Pb、Zn、Cd、Cr、Cu 等 5 种重金属的富集能力与转移特征,筛选出适应该地区生态修复的先锋植物。结果表明:尾矿库土壤中重金属均超过河南省土壤背景值,以 Cd 超标最严重;Cd 与 Pb、Cu 与 Zn、Cr 呈现极显著相关,同源性较高;Cd 的生态风险程度为严重,整体区域处于很强生态风险等级;优势植物中以草本植物为主,多为乡土植物,植物体内重金属的 Cr 和 Cd 的含量出现超标,其中牡荆、芦苇、艾草、盐肤木等植物对尾矿库区重金属有很好的耐性,可作为矿区生态修复的先锋植物。

关键词:尾矿库;重金属;优势植物;富集

中图分类号:X753 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-2767(2018)01-0051-06 DOI:10.11942/j.issn1002-2767.2018.01.0051

矿山开采除了造成土地的大规模破坏外,还会带来严重的重金属污染问题^[1-3]。矿山中的尾矿库是重金属污染的重要来源^[4],其重金属含量高且成分复杂,因此在尾矿库区寻找对重金属具有富集和耐性的优势植物对于改善矿区生态环境有重要意义^[5]。同时植物修复由于具有效果好、费用低、易于管理与操作、不产生二次污染等优点,成为当今研究的热点^[6-8]。近年来对尾矿库区耐性植物的筛选取得了大量的成果,陈红琳等^[9]对汉源铅锌尾矿废弃地调查发现 8 种 Pb、Zn 耐性植物。周兴等^[10]对刁江流域有色金属矿区自然生长的植物研究中认为在废弃尾砂库上自然定居的植物,可作为矿区植被重建的优选物种。本文通过对河南某尾矿库区土壤及优势植物的重金属进行调查和分析,研究库区优势植物的重金属富集特性,初步筛选出适应库区生长的耐性植物,以期对尾矿库区的污染治理及生态修复提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 研究地点概况

尾矿库位于河南省洛阳市栾川县冷水

镇(N33°53'~N33°58',E 111°30'~E121°24'),以钼的储量丰富而著称,当地气候特征属于暖温带大陆性季风气候,多年平均降雨量 750 mm,全年平均气温 9.2 °C,全年无霜期 150 d 左右,年平均日照 1 800 h,平均海拔高度 1 400 m,地形复杂,土壤类型多为棕壤、褐土,植物资源丰富,包括多种阔叶树、针叶树、灌木和草本植物,属于暖温带落叶阔叶林植被类型。

1.2 样品的采集

2017 年 7 月对尾矿库区进行调查和采样,记录自然生长的植物,目测估计植物的丰富度^[11],并划分为优势种、常见种和偶见种。采集主要优势植物及所在区域的土壤,植物样采集 3~5 株相同植物混合成一个样品,草本植物与小灌木按地上部分与地下部分采集。土壤采集 0~30 cm 的表土,将 3~5 个点土样混为一个样品。

1.3 方法

1.3.1 样品的测定与分析 将土壤样品去除枯枝落叶、碎石等杂质,自然风干,用研钵磨成粉末,过 100 目尼龙筛,装入聚乙烯塑料袋中低温保存;植物样品用蒸馏水洗净,先在 105 °C 杀青 30 min,80 °C 烘干,磨碎,备用;土壤 pH 采用土液质量比 1:5 配比后用 pH 计测定;土壤和植物重金属总量采用电热板湿法消解^[12],即采用硝酸-氢氟酸-高氯酸高温消解土壤样品(国家地质试验测试中心标准 Q/GD001-2002),将处理后得到的样液用火焰原子吸收光谱法^[13-14],在 TAS990 火焰原子吸收仪中分别测定样液中的重金属含量;采用 Ex-

收稿日期:2017-11-16

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51008118)

第一作者简介:黄凯(1992-),男,河南省濮阳市人,在读硕士,从事环境科学与资源利用研究。E-mail: 924286353@qq.com。

通讯作者:张发文(1981-),男,河南省信阳市人,博士,副教授,从事固废处理与资源化研究。E-mail: 7870271@qq.com。

cel、SPSS 对数据进行统计分析处理。

1.3.2 污染评价标准与方法 由瑞典科学家 Hankanson^[15]提出的潜在生态危害指数法,既反映了某一特定环境下土壤或沉积物中各种污染物对环境的影响,也反映了土壤或沉积物中多种污染物的综合效应,并用定量方法划分出潜在生态危害程度^[16-17]。土壤或沉积物中重金属潜在生态危害指数的计算方法:

$$Ci=\frac{Di}{Bi}$$
$$Ei=Ti\times Ci$$
$$RI=\sum_i^n Ei$$

式中, Ci 为重金属 i 的污染系数; Di 为样品中重金属 i 的实测浓度; Bi 为重金属 i 的土壤背景值,本研究采用河南省土壤的重金属背景值来计算^[18]; Ei 为重金属 i 的潜在危害系数; Ti 为重金属 i 毒性响应系数,本文采用徐争启等人的在生态危害指数法评价重金属毒性系数计算方法^[19]中的推荐值($Zn=1,Cr=2,Cu=Pb=5,Cd=30$); RI 为土壤中多种重金属的综合生态危害指数。根据潜在生态危害指数的大小,可将土壤中重金属的潜在生态危害程度分为表 1 所示的 5 个级别。

表 1 潜在生态危害指数评价分级标准

Table 1 Evaluation criteria of potential ecological hazard index

Ei	风险程度	RI	危害程度
	Degree of risk		Degree of hazard
$Ei<40$	低	$RI<150$	轻微
$40\leq Ei<80$	中	$150\leq RI<300$	中等
$80\leq Ei<160$	较重	$300\leq RI<600$	强
$160\leq Ei<320$	重	$600\leq RI<1200$	很强
$320\leq Ei$	严重	$1200\leq RI$	极强

1.3.3 转移系数和富集系数计算 转移系数(TF)即植物地上部与地下部重金属含量的比值,用来衡量植物对重金属的吸收转移能力^[20]。当 TF 大于 1 时,说明植物能够将地下部分吸收的元素转运到地上部分,从而达到地下部对某种重金属的大量吸收,此时植物表现耐性生长;当 TF 小于 1 时,植物通过自身的排斥机制减少毒害,阻止地下部分吸收的重金属元素向上部运输。富集系数(BCF)即植物地上部与土壤中相应重金

属含量的比值,用来衡量植物对土壤中重金属元素的吸收累积能力,是评价植物富集重金属能力的指标之一^[21]。BCF 大于 1 时,表明其富集重金属的能力强,是超富集植物区别于普通植物的重要特征。

2 结果与分析

2.1 土壤重金属元素的含量分析

研究土壤中重金属总量可以揭示区域的污染状况。尾矿库土壤 pH 的均值为 5.7,分析表明土壤呈现弱酸性,这可能与尾矿中硫化物的氧化作用释放一定量的酸进入尾矿的孔隙水中,进而进入下游土壤有关。通过测定分析土壤中重金属含量(见表 2),Pb、Zn、Cd、Cr、Cu 的平均含量分别为 74.7、218.8、3.2、188.8、96.5 mg·kg⁻¹;与河南省土壤重金属含量背景值比较,分别是背景值的 3.3、3.5、53.3、3.0、4.8 倍,除了 Pb 元素,其它 4 种重金属元素的含量值也均超过了国家土壤环境质量二级标准值,可见该区土壤污染较为严重,尤其 Cd 的污染最为严重;5 种重金属元素的变异系数均在 10%~100%,达到中等变异强度,其中 Pb、Cd、Cu 的变幅均高于 50%,表明该尾矿库土壤重金属污染存在较大空间变异性,受到多种重金属的复合污染。

表 2 土壤重金属含量结果

Table 2 Soil heavy metal content results

统计值 Statistical value	Pb	Zn	Cd	Cr	Cu
最大值/(mg·kg ⁻¹)	144.4	323.3	8.5	382.6	177.1
最小值/(mg·kg ⁻¹)	16.6	147.1	0.6	160.4	20.7
平均值/(mg·kg ⁻¹)	74.7	218.8	3.2	188.8	96.5
标准差	52.1	47.6	2.1	57.0	50.4
变异系数/%	69.7	21.8	64.1	30.1	52.2
河南省土壤背景值 ^[18]	22.3	62.5	0.06	63.2	20.0
二级土壤背景值 ^[22]	250.0	200.0	0.3	150.0	50.0

2.2 土壤重金属元素间的相关性分析

通过研究重金属总量间相关性,可间接对不同重金属污染来源进行区别,一般认为,具有显著相关性的两类重金属极有可能来自同一污染源^[23]。本研究对土壤中 Pb、Zn、Cd、Cr、Cu 含量进行相关性分析,从表 3 可看出,Cd 与 Pb、Cu 与 Zn、Cr 呈极显著正相关,Cd 与 Zn 呈显著正相关,说明这些元素间可能有相同的污染源或者主要受到相似因素的影响;其中 Cd 与 Pb 含量的相关系数最大,说明该区域中 Cd 与 Pb 的关系最为密

切,它们之间的相互影响最大。

表 3 土壤重金属元素含量间的相关系数

Table 3 Correlation coefficients between heavy metal elements in soil

元素 Elements	Pb	Zn	Cd	Cr	Cu
Pb	1				
Zn	0.154	1			
Cd	0.790**	0.548*	1		
Cr	-0.233	0.404	0.210	1	
Cu	-0.498	0.692**	-0.072	0.674**	1

* 表示显著相关, ** 表示极显著相关。
* mean significant correlation, ** mean extremely significant correlation.

表 4 土壤重金属污染指数及污染等级

Table 4 Soil heavy metal pollution index and pollution grade

采样区 The sampling area	参数 Parameter	Ei					RI
		Pb	Zn	Cd	Cr	Cu	
尾矿库区 Tailings reservoir	最大值	32.4	5.2	3923.1	12.1	44.3	3977.3
	最小值	3.7	2.4	276.9	5.1	5.2	334.3
	平均值	16.7	3.5	1498.5	6.0	24.1	1548.8

2.4 优势植物群落分析

由表 5 可知,调查植物种类 15 种,隶属 9 科,植物种类组成比较单一,所采集的植物大都以草本植物为主,禾本科和菊科居多,说明草本植物对

2.3 土壤重金属污染评价分析

由 Hankanson 规定的毒性响应系数和计算公式得出(见表 4),5 种重金属元素潜在危害指数范围为 Pb 3.7~32.4、Zn 2.4~5.2、Cd 276.9~3 923.1、Cr 5.1~12.1、Cu 5.2~44.3;从各元素的 Ei 均值来看,Cd 的生态风险程度为严重,其余元素生态风险程度均为低级;各元素潜在生态危害程度强弱顺序为 Cd>Cu>Pb>Cr>Zn;以多元素潜在生态风险指数评价整个区域的潜在风险,RI 平均值在该区域内达到 1 548.8,表明尾矿库区整体处于很强生态风险等级,因此有必要进行综合治理,尤其是加强对 Cd 的污染防治。

尾矿库恶劣的环境有较强的抗逆性^[24]。这些植物多为乡土植物,适应本地的气候条件,在尾矿库附近污染物较高的地方能较好的生长,具有较强的重金属耐性。

表 5 优势植物种类组成

Table 5 Dominant plant species composition

种名 Plant species	科名 Family	丰富度 Richness	生活型 Life form
白茅 <i>Imperata cylindrica</i>	禾本科	F	多年生草本
芦苇 <i>Phragmites australis</i>	禾本科	D	多年生草本
节节草 <i>Equisetum ramosissimum</i> Desf	木贼科	D	多年生草本
紫花香薷 <i>Elsholtzia argyi</i>	唇形科	F	草本
狗尾草 <i>Setaira viridis</i>	禾本科	F	一年生草本
野苘蒿 <i>Crassocephalum crepidioides</i>	菊科	F	一年生草本
金银花 <i>Lonicera japonica</i>	忍冬科	F	灌木
牡荆 <i>Vitex negundo</i> var. <i>latiusculum</i>	马鞭草科	F	多年生草本
艾草 <i>Artemisia argyi</i>	菊科	F	多年生草本
盐肤木 <i>Rhus chinensis</i>	漆树科	F	灌木
蜈蚣蕨 <i>Pteris vittata</i> L.	凤尾蕨科	F	多年生草本
五节芒 <i>Miscanthus floridulus</i>	禾本科	D	多年生草本
水蓼 <i>Polygonum hydropiper</i> L.	蓼科	F	多年生草本
蒲公英 <i>Herba taraxaci</i>	菊科	F	多年生草本
小飞蓬 <i>Conyza canadensis</i>	菊科	D	一年生草本

丰富度等级:D 优势种,F 常见种。
Richness:D-Dominant,F - Frequent.

2.5 优势植物体内重金属含量

由表 6 可知,15 种优势植物体内重金属含量分别为 Pb 4. 6~41. 1 mg·kg⁻¹、Zn 22. 5~123. 5 mg·kg⁻¹、Cd 0. 3~2. 5 mg·kg⁻¹、Cr 7. 8~36. 2 mg·kg⁻¹、Cu 5. 8~45. 4 mg·kg⁻¹。其中 Zn 的含量最高,其它 4 种元素在植物体内的含量变

化较小。与植物重金属元素正常含量比较,只有 Cr 和 Cd 的含量出现超标现象,其它 3 种元素均在正常范围内,说明这些植物对重金属污染严重的环境有较强的适应能力,具有一定的重金属耐性。

表 6 优势植物体内重金属含量
Table 6 Content of heavy metals in dominant plant

植物种类 Plant species	部位 Position	重金属含量/(mg·kg ⁻¹) Content of heavy metals				
		Pb	Zn	Cd	Cr	Cu
白茅 <i>I. cylindrica</i>	地上部	7. 8	22. 5	0. 6	25. 3	11. 6
	地下部	18. 9	41. 5	1. 9	34. 6	45. 4
芦苇 <i>P. australis</i>	地上部	11. 3	47. 4	0. 8	15. 6	17. 6
	地下部	25. 6	73. 5	1. 3	8. 9	24. 3
节节草 <i>E. ramosissimum</i> Desf	地上部	24. 3	35. 7	0. 3	10. 3	8. 4
	地下部	34. 5	61. 2	0. 9	33. 6	19. 2
紫花香薷 <i>E. argyi</i>	地上部	28. 3	71. 3	1. 2	11. 6	13. 6
	地下部	36. 2	123. 5	1. 5	25. 7	41. 8
狗尾草 <i>S. viridis</i>	地上部	8. 5	57. 6	0. 4	7. 8	11. 8
	地下部	6. 2	66. 1	0. 6	12. 1	19. 7
野苘蒿 <i>C. alum crepidioides</i>	地上部	16. 7	61. 7	0. 3	22. 3	24. 7
	地下部	29. 1	89. 2	1. 8	34. 9	42. 6
金银花 <i>L. japonica</i>	地上部	13. 6	65. 4	1. 4	7. 9	8. 2
	地下部	11. 2	51. 2	2. 5	13. 4	6. 3
牡荆 <i>V. negundo</i> var. <i>latiusculum</i>	地上部	18. 6	87. 3	1. 1	10. 9	13. 7
	地下部	12. 9	31. 2	1. 5	14. 4	12. 4
艾草 <i>A. argyi</i>	地上部	4. 6	82. 9	2. 3	25. 6	28. 3
	地下部	8. 9	49. 7	1. 2	36. 2	41. 5
盐肤木 <i>R. chinensis</i>	地上部	25. 4	91. 6	1. 6	11. 6	15. 8
	地下部	12. 9	62. 4	0. 4	19. 3	12. 4
蜈蚣蕨 <i>P. vittata</i> L.	地上部	36. 3	48. 9	0. 8	24. 6	31. 5
	地下部	41. 1	72. 3	1. 9	32. 5	42. 7
五节芒 <i>M. floridulus</i>	地上部	13. 6	42. 1	0. 9	31. 6	17. 2
	地下部	10. 7	55. 6	0. 4	19. 7	9. 4
水蓼 <i>P. hydropiper</i> L.	地上部	29. 7	73. 6	1. 4	27. 9	5. 8
	地下部	37. 2	45. 3	1. 9	36. 2	14. 7
蒲公英 <i>H. taraxaci</i>	地上部	23. 2	25. 1	1. 5	16. 7	8. 9
	地下部	35. 4	63. 9	2. 4	25. 9	22. 8
小飞蓬 <i>C. canadensis</i>	地上部	17. 6	92. 8	2. 1	15. 6	7. 6
	地下部	14. 3	48. 3	1. 4	29. 2	12. 3
正常含量 Normal content		0. 1~41. 7	1~160	0. 2~0. 8	0~8. 4	0. 4~45. 8

2.6 优势植物重金属元素的富集及转运特征

由表7可知,狗尾草、金银花、牡荆、盐肤木、五节芒、小飞蓬共6种植物Pb转移系数大于1;金银花、艾草、牡荆、盐肤木、水蓼、小飞蓬共6种植物Zn转移系数大于1;艾草、盐肤木、五节芒、小飞蓬共4种植物Cd转移系数大于1;芦苇、五节芒的Cr转移系数大于1;金银花、牡荆、盐肤木、五节芒共4种植物Cu转移系数大于1;因此可知金银花、牡荆、盐肤木、五节芒、小飞蓬具有良好的重金属运输能力,可选做耐性植物。

从表7看出,所有植物的富集系数均小于1,

达不到超富集植物的能力,但相对来说,对Pb富集能力较强的有芦苇(0.54);对Zn富集能力较强的有牡荆(0.58)、芦苇(0.41);对Cd富集能力较强的有紫花香薷(0.61)、艾草(0.45);对Cr富集能力较强的有蜈蚣蕨(0.67);对Cu富集能力较强的蒲公英(0.49)、艾草(0.41);

总体来说,在所调查的植物中,未筛选到对某种重金属具有超富集特征的植物,但是作为尾矿库区的优势物种,一些植物显示了对重金属较强的耐性,如牡荆、芦苇、艾草、盐肤木,可作为矿区生态修复的先锋植物。

表7 植物重金属元素的富集系数和转移系数

Table 7 Bioaccumulation factors and transportation factors of plants for heavy metals

植物	Pb		Zn		Cd		Cr		Cu	
	BCF	TF	BCF	TF	BCF	TF	BCF	TF	BCF	TF
白茅	0.03	0.41	0.17	0.54	0.02	0.32	0.12	0.73	0.23	0.26
芦苇	0.54	0.44	0.41	0.64	0.08	0.62	0.04	1.75	0.10	0.72
节节草	0.05	0.70	0.15	0.58	0.11	0.33	0.19	0.31	0.14	0.44
紫花香薷	0.08	0.78	0.03	0.58	0.61	0.80	0.13	0.45	0.05	0.33
狗尾草	0.10	1.37	0.23	0.87	0.08	0.67	0.06	0.64	0.34	0.60
野苘蒿	0.02	0.57	0.07	0.69	0.15	0.17	0.04	0.64	0.01	0.58
金银花	0.09	1.21	0.38	1.28	0.24	0.56	0.15	0.59	0.30	1.30
牡荆	0.23	1.44	0.58	2.80	0.31	0.73	0.12	0.76	0.18	1.10
艾草	0.12	0.52	0.34	1.67	0.45	1.92	0.21	0.71	0.41	0.68
盐肤木	0.38	1.97	0.25	1.47	0.21	4.00	0.11	0.60	0.09	1.27
蜈蚣蕨	0.12	0.88	0.19	0.68	0.24	0.42	0.67	0.76	0.35	0.74
五节芒	0.09	1.27	0.12	0.76	0.03	2.25	0.06	1.60	0.27	1.83
水蓼	0.03	0.80	0.18	1.62	0.09	0.74	0.15	0.77	0.12	0.39
蒲公英	0.06	0.66	0.09	0.39	0.11	0.63	0.24	0.64	0.49	0.39
小飞蓬	0.19	1.23	0.32	1.92	0.38	1.50	0.21	0.53	0.26	0.62

3 结论

尾矿库区土壤重金属的含量普遍高于河南省土壤背景值,其中Cd的超标率最大,是库区中主要污染因子,Pb和Cd的变异系数最大,表明这两种金属受到人为干扰活动的影响非常大。Cd与Pb、Cu与Zn、Cr呈现极显著相关,表明它们同源性很高。评价结果显示Cd的生态风险程度为严重,其余元素生态风险程度均为低级,整体区域处于很强生态风险等级,因此有必要进行综合治理,尤其是加强对Cd的污染防治。

尾矿库区优势植物调查结果表明,优势植物中以草本植物为主,多为乡土植物,具有一定的重

金属耐性。植物体内重金属的吸收各有不同,其中Zn的含量最高,其它4种元素含量变化较小,与植物重金属元素正常含量比较,只有Cr和Cd的含量出现超标现象,其它3种元素均在正常范围内。植物对重金属的富集程度并不大,未能筛选出超富集植物,但都是当地的优势植物,生物量大且对重金属有一定耐性。其中牡荆、芦苇、艾草、盐肤木,可作为矿区生态修复的先锋植物,在矿区复垦的初期阶段可提高植物的覆盖率,达到保持水土的作用。

参考文献:

[1] Memon A R, Schroder P. Implications of metal accumulation mechanisms to phytoremediation [J]. Environmental Sci-

- ence and Pollution Research, 2009, 16(2): 162-175.
- [2] Suresh B, Ravishankar G A. Phytoremediation-a novel and promising approach for environmental clean-up [J]. Critical Reviews in Biotechnology, 2004, 24(2-3): 97-124.
- [3] Wong M H. Ecological restoration of mine degraded soils, with emphasis on metal contaminated soils [J]. Chemosphere, 2003, 50(6): 775-780.
- [4] 王英辉, 祁士华, 陈学军. 金属矿山废弃地重金属污染的植物修复治理技术[J]. 中国矿业, 2006, 15(10): 67-68.
- [5] 翁高艺. 香蕨属植物对污染重金属耐性和吸收修复作用研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2004.
- [6] 沈振国, 陈怀满. 土壤重金属污染生物修复的研究进展[J]. 农村生态环境, 2000, 16(2): 39-44.
- [7] Mulligan C N, Galvez Cloutier R. Bioremediation of metal contamination [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2003, 84(1): 58-60.
- [8] 杨秀敏, 胡桂娟, 杨秀红, 等. 生物修复技术的应用及发展[J]. 中国矿业, 2007, 16(12): 58-60.
- [9] 陈红琳, 张世熔, 李婷, 等. 汉源铅锌矿区植物对 Pb 和 Zn 的积累及耐性研究[J]. 农业环境科学学报, 2005, 26(2): 505-509.
- [10] 周兴, 宋书巧, 吴欢. 广西刁江流域有色金属矿区尾砂库植物研究[J]. 热带地理, 2003, 23(3): 226-230.
- [11] Brooks R R. Plants that hyperaccumulate heavy [M]. Wiley-VCH Verlag GmbH, 1998.
- [12] 张美巢, 蒋晶晶. 三种土壤消解方法的对比研究[J]. 环境科学与管理, 2008, 33(3): 131-134.
- [13] 陈春强, 李明顺, 赖燕平, 等. 火焰原子吸收光谱法测定锰矿恢复区植物中重金属[J]. 环境监测管理与技术, 2009, 21(3): 48-49.
- [14] 李松, 黎国兰, 李林波, 等. 火焰原子吸收光谱法测定煤矸石土种植的农作物金属元素含量[J]. 理化检验-化学分册, 2012, 48(3): 325-327.
- [15] Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control A sedimentological approach[J]. Water Research, 1980, 14(8): 975-1001.
- [16] 彭景, 李泽琴, 侯家渝, 等. 地积累指数法及生态危害指数评价法在土壤重金属污染中的应用及探讨[J]. 广东微量元素科学, 2007, 14(8): 13-17.
- [17] 李如忠, 洪天求, 贾志海, 等. 基于盲数的水体沉积物潜在生态风险评价方法[J]. 生态环境, 2007, 16(5): 1346-1352.
- [18] 邵丰收, 周皓韵. 河南省主要元素的土壤环境背景值[J]. 河南农业, 1998(10): 29.
- [19] 徐争启, 倪师军, 庾先国, 等. 潜在生态危害指数法评价中重金属毒性系数计算[J]. 环境科学与技术, 2008, 31(2): 112-115.
- [20] 国家环境保护总局. 土壤环境质量标准 (GB15618-1995)[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1995.
- [21] WANG Z, YOU H, WU Z. Determination of heavy metals in the traditional Chinese medicines by microwave digestion-atomic fluorescence spectrometry[J]. Journal of Shenyang Pharmaceutical University, 2008, 5: 13.
- [22] 魏树和, 周启星, 王新. 18 种杂草对重金属的超积累特性研究[J]. 应用基础与工程科学学报, 2003, 11(2): 152-160.
- [23] 杨成, 岳娟, 陈金凤, 等. 汾河太原段沉积物和植物中重金属分布特征的研究[J]. 山西大学学报(自然科学版), 2010, 33(S1): 63-65.
- [24] 崔爽, 周启星, 晁雷. 某冶炼厂周围 8 种植物对重金属的吸收与富集作用[J]. 应用生态学报, 2006, 17(3): 512-515.

Evaluation of Heavy Metal Pollution in Soil of a Tailings Reservoir in Henan and Accumulation of Heavy Metals in the Dominant Plants

HUANG Kai, ZHANG Xue-jiao, FENG Yuan, ZHANG Fa-wen

(College of Forestry, Henan Agricultural University, Zhengzhou, Henan 450002)

Abstract: In order to promote pollution control and ecological restoration of tailings reservoir, through studying contents of heavy meta soil in a tailings reservoir of Henan and enrichment and transfer characteristics of 5 heavy metals, such as Pb, Zn, Cd, Cr and Cu, in the dominant plants of the reservoir area, screened out the pioneer plants suitable for ecological restoration in the region. The results showed that the heavy metals in soil had all exceeded soil background value of Henan province, Cd was over standard most seriously; Cd were highly correlated with Pb, Cu, Zn and Cr, had high homology; the ecological risk of Cd was serious, the whole area was in a strong ecological risk level; herbaceous plants were mainly plants in the dominant plants, most of them were the native plants, the contents of Cr and Cd of heavy metals in plants exceeded the standard, the Vitex, reed, wormwood, Rhus plants had a better tolerance to heavy metals in tailings reservoir, can be used as a pioneer plant for ecological restoration in mining area.

Keywords: tailing pond; heavy metals; pioneer plant; enrichment