

文章编号:1671-6833(2017)02-0092-05

徐州北郊煤矿区优势植物调查及重金属富集特征研究

张浩嘉¹, 刘汉湖¹, 肖 昕¹, 孙晓菲¹, 蔡成哲²

(1. 中国矿业大学 环境与测绘学院, 江苏 徐州 221116; 2. 乌鲁木齐铁路局, 新疆 库尔勒 841001)

摘 要:以徐州北郊煤矿区本土植物为研究对象,通过测定植物及土壤中的 Pb、Cu 和 Zn 3 种重金属含量,研究优势植物对不同重金属的富集能力.调查发现区域内共有草本植物 24 种,分属 24 属 12 科,其中优势植物 8 种.结果表明,矿区土壤中的 Pb、Cu 和 Zn 的平均含量分别为徐州市背景值的 1.56、1.10 和 2.70 倍.其中小飞蓬(*Erigeron annuus*)对 Pb、Cu 和 Zn 的转运系数分别为 1.01、1.42 和 1.12;野艾蒿(*Artemisia lavandulaefolia*)中 Zn 的含量超出正常范围,高达 164.16 mg/kg,且对 Zn 的转移和富集系数分别达到 2.08 和 1.13.两种植物均具有一定的重金属富集潜力,可考虑作为本土煤矿区生态修复的修复植物.

关键词:重金属;优势植物;富集系数;转运系数

中图分类号: X53 **文献标志码:** A **doi:**10.13705/j.issn.1671-6833.2017.02.020

0 引言

中国经济几十年来的持续快速增长,工业扩张、城市化和采矿作业的速度和规模惊人,这给人均耕地面积不足世界平均水平 40% 的中国带来了巨大的农业负担^[1].其中矿业用地侵占了大约 40 000 km² 的土地,并且还在以每年 330 km² 的速度增长,对所在区域及周边的耕作土壤产生持久性的重金属污染^[2].这种影响可能会造成严重的生态危机,引发人类的健康风险.因此,迫切需要一种经济有效的技术用于修复矿山尾矿,这些问题已经引起了公众的广泛关注^[3].

化学法与物理法可以修复受重金属污染的土壤,但成本过于昂贵,且会对土壤的理化性质造成不可逆的影响.植物修复作为一种经济环保的技术,迅速成为世界各国在环境修复领域的研究热点^[4],截至目前全世界大约发现了 400 种超富集植物^[5].植物修复应首先考虑本土物种作为修复植物,不仅因为其可以更好地适应当地环境,同时可以避免引进潜在的外来入侵物种,降低区域植物多样性.本研究对徐州北郊煤矿区周边的植被和土壤进行采样调查,分析植物对重金属 Pb、Cu 和 Zn 的吸收与富集能力,以期发现适用于徐州本土的超累积植物或耐性植物,并对其净化土壤的潜力作初步探讨.

1 材料与方法

1.1 调查区概况

徐州市北郊煤矿区位于徐州市西北部,北纬 34°20′,东经 117°06′,属暖温带季风气候,年平均气温 14.2℃,年平均降水量 834.7 mm^[6].研究区域内有庞庄矿、张小楼矿、夹河矿和王庄矿等若干个煤矿,还有包括徐州地区最大电厂在内的大小数十个火电厂.区域内近三分之二的面积为农田土壤,主要种植水稻和小麦,是徐州市矿业、火电、建材、冶金等多种行业的工业基地和重要的粮食种植区^[7].

1.2 野外调查与采样

根据煤矿区污染源的分布情况,采用蛇形布点法由矿区东南侧向北向西一圈设置 8 个 10 m × 10 m 的样方,采集当中的草本植物样本与土壤样本,并记录样方内的优势植物^[8].植物采集全株,每个样本采集 3 个重复.土壤样本为附着在根系上的 0~15 cm 表层土壤,约 400 g 混合土壤为 1 个样品^[9].

1.3 样品处理

土壤样品先除杂、风干、捣碎、四分法弃取,然后用研钵磨成粉末,过 0.149 mm 孔径的尼龙筛后装入自封袋中密封保存^[10].植物样品用去离子水洗净,分为地上部分和地下部分,放入烘箱在

收稿日期:2016-04-16;修订日期:2016-06-28

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51374208)

通讯作者:肖昕(1972—),女,湖南人,中国矿业大学副教授,博士,主要从事土壤环境化学、环境影响评价、环境分析、水处理等研究,E-mail:passerxx@163.com.

105 ℃下杀青 30 min,再于 80 ℃下烘干至恒重,然后用不锈钢植物粉碎机粉碎之后装入自封袋密封保存^[11]. 土壤样品采用盐酸:硝酸:氢氟酸:高氯酸为3 mL:1 mL:3 mL:1 mL 的比例进行消解,植物样品采用硝酸:高氯酸为 1 mL:1 mL 的方法消解^[12].

1.4 样品测定与分析

消解后的植物、土壤样品采用 ICP – OES 测定 Pb、Cu 和 Zn 3 种重金属元素的含量. 为保证数据可信度,全程采用土壤国标 GSS – 13 和植物国标 GSB – 24 作为质控样. 实验数据用 SPSS 进行相关分析(CA)^[13],并计算相应的富集系数与转移系数^[14]:富集系数 = 植物地上部分重金属含量/土壤中同种重金属含量;转移系数 = 植物地上部分重金属含量/植物地下部分同种重金属含量.

2 结果与讨论

2.1 植物科属组成

经调查在样方所在区域内共有草本植物 24

种,分属 24 属,12 科. 其中菊科 8 种(占 33.3%);十字花科 3 种(占 12.5%);禾本科 3 种(占 12.5%);豆科 2 种(占 8.3%),锦葵科、玄参科、茜草科、唇形科、牻牛儿苗科、蓼科、酢浆草科、桑科各 1 种,分别占 4.2%. 徐州北郊煤矿区优势草本植物种类介绍见表 1.

由表 1 提供的信息,选择样方内出现频度较高且多度较大的优势草本植物 8 种:蜀葵(*Alcea rosea linnaeus*)、苦苣(*Cichorium endivia L*)、荔枝草(*Saluiaplebeia R.Br*)、泥胡菜(*Hemisteptalyrata*)、酸模(*RumexacetosaLinn*)、野艾蒿(*Artemisia lavandulaefolia*)、小飞蓬(*Erigeron annuus*)、刺儿菜(*Cirsium setosum*)等. 其中菊科 5 种,占62.5%,由于菊科植物具有耐旱、耐贫瘠的特点,因此在徐州北郊的植物群落中占有明显优势,具有更强的适应环境的能力.

表 1 徐州北郊煤矿区优势草本植物种类介绍
Tab.1 The advantage herb species introduced of mining area in northern suburb of Xuzhou

种名	拉丁名	科名	属名	多度
蜀葵	<i>Alcea rosea Linnaeus</i>	锦葵科	蜀葵属	甚多
蒲公英	<i>Taraxacum mongolicum</i>	菊科	蒲公英属	很多
苦苣	<i>Cichorium endivia L</i>	菊科	菊苣属	甚多
狗尾草	<i>Setaria viridis</i>	禾本科	狗尾草属	很多
白车轴草	<i>Trifolium repens L</i>	豆科	车轴草属	多
荔枝草	<i>Saluiaplebeia R. Br</i>	唇形科	鼠尾草属	甚多
葎草	<i>Humulus japonicus</i>	桑科	葎草属	少而个别
婆婆纳	<i>Veronica polita Fries</i>	玄参科	婆婆纳属	很多
泥胡菜	<i>Hemisteptia lyrata Bunge</i>	菊科	泥胡菜属	甚多
芥菜	<i>Capsella bursa-pastoris</i>	十字花科	芥属	尚多
野豌豆	<i>Vicia sepium Linn</i>	豆科	野豌豆属	中等
钻叶紫菀	<i>Aster subulatus Michx</i>	菊科	联毛紫菀属	中等
酸模	<i>Rumex acetosa L</i>	蓼科	酸模属	甚多
山酢浆草	<i>Oxalis acetosella</i>	酢浆草科	酢浆草属	很多
猪殃殃	<i>Galium spurium L</i>	茜草科	拉拉藤属	多
野艾蒿	<i>Artemisia lavandulaefolia</i>	菊科	蒿属	甚多
芸苔	<i>Brassica rapa L</i>	十字花科	芸薹属	单株
燕麦	<i>Avena sativa L</i>	禾本科	燕麦属	尚多
小飞蓬	<i>Erigeron annuus</i>	菊科	飞蓬属	甚多
艾草	<i>Artemisia argyi</i>	禾本科	蒿属	少而个别
刺儿菜	<i>Cirsium setosum</i>	菊科	蓟属	甚多
野老鹳草	<i>Geranium carolinianum L</i>	牻牛儿苗科	老鹳草属	多
芦苇	<i>Phragmites australis</i>	禾本科	芦苇属	中等
播娘蒿	<i>Descurainia sophia L</i>	十字花科	播娘蒿属	很多

2.2 煤矿区土壤重金属元素污染状况

对于土壤是否受到了重金属的污染,一般有以下几种判定方法:①土壤中重金属的含量高于

当地土壤背景值的上限值,则判定为土壤受到了重金属污染;②土壤中重金属对水体、大气、生物甚至人体的健康产生了危害,即称为土壤重金属

污染;③土壤中重金属的含量高于土壤环境质量标准(GB15618—1995)二级标准上限值,称为土壤重金属污染^[15].笔者选用上述第一种观点进行分析评价.

徐州北郊煤矿区土壤的重金属元素含量(表2)表明,不同重金属的平均含量由高到低依次是Zn($105.22 \pm 23.5 \text{ mg/kg}$),Cu($34.91 \pm 10.81 \text{ mg/kg}$)和Pb($25.52 \pm 5.21 \text{ mg/kg}$),分别为徐州市背景值^[16]的1.56、1.10和2.70倍.可见北郊土壤受到一定程度重金属Pb、Zn、Cd的污染.

表2 矿区土壤重金属含量的描述性统计分析
Tab.2 Descriptive statistical analysis of heavy

metals in soil in the mining area		mg/kg	
统计值	Pb	Cu	Zn
最大值	32.73	49.91	145.87
最小值	19.11	22.85	75.97
平均值	25.52	34.91	105.22
徐州土壤背景值	16.30	12.61	91.10
中国土壤背景值	26	22.6	74.2
国家二级标准值(中性)	300	100	250

2.3 优势植物各部位重金属含量

常规植物体内对不同重金属的富集量为:Pb 0.1~41.7 mg/kg;Cu 0.4~45.8 mg/kg;Zn 11~160 mg/kg^[17].对8种优势植物体内的Cu、Pb、Zn的含量进行的测定,如表3所示.结果表明8种植物中,仅野艾蒿一种植物地上部分Zn的含量超出正常范围,其他植物体内重金属均在正常范围.且各部分的含量大小关系是:土壤>地下>地上,符合常规植物性质.通过SPSS做植物体内与土壤中重金属含量相关性分析发现,Zn在植物地上部分的含量与所处土壤中的重金属含量之间存在较显著的正相关性,Pb与Cu在植物体内和土壤含量之间均无相关性,与徐华伟^[18]、王显炜^[19]及王彬^[20]得出结论不一致,与张丽^[21]的结果相似.植物吸收的重金属大部分分布在地上部分,通常情况下,植物的转移系数(TF)仅为0.1左右^[22],而在本次研究中,所有8种植物的TF均大于0.1,推测该地区土壤并非植物体内重金属的唯一来源.考虑到研究区域空气中颗粒物污染较严重,不排除一部分重金属是以大气中含重金属的微尘通过植物叶片的方式进入植物体内.

2.4 植物对重金属元素的富集特征

富集特征主要指标有转移系数和富集系数,相同地区不同植物对重金属的富集能力有较大的差异,即使是同种植物,其不同部位的表现也不

同,基本都是地下部分高于地上部分^[23].

转移系数(transfer factor, TF)指植物地上部分与地下部分某种重金属含量的比值,用来衡量植物对某种重金属的运输迁移能力^[24].当TF大于1时,说明植物能够大量吸收某种重金属并将其从地下部分转移到地上部分,故可以在后续过程中通过不断收割地上部分到专门的地方进行处理后达到对受污染地区土壤的生态修复.从表3可知:荔枝草和小飞蓬两种植物对Pb的转移系数大于1,分别为1.73和1.01;小飞蓬对Cu的转移系数大于1,达到1.42;苦苣、野艾蒿和小飞蓬对Zn的转移系数也都大于1,分别为2.08和1.42.故在受到一定程度重金属污染的矿区小飞蓬和野艾蒿两种植物具有一定的修复潜力.

富集系数(bioaccumulation factor, BCF)指植物地上部分与土壤中相应重金属含量的比值,用来衡量其地上部分对土壤中重金属的吸收与累积能力^[24].当BCF大于1时说明植物地上部分重金属含量大于其所生长的土壤环境的含量^[25],具有作为重金属污染土壤的植物修复物种的潜力.从表3可知仅野艾蒿一种植物对Zn的富集系数与转移系数均大于1,达到1.13,说明野艾蒿Zn具有较强的富集与转移能力,可用于受到一定程度Zn污染的土壤的植物修复.

3 结论

(1)通过对徐州北郊矿区的调查,确定了样方区域内的24种草本植物,分属24个属,12个科.其中菊科8种(占33.3%);十字花科3种(占12.5%);禾本科3种(占12.5%).采集其中的8种优势植物作为研究对象,其中以菊科植物为主,菊科植物有5种占62.5%.

(2)徐州北郊矿区土壤的重金属元素Pb、Cu和Zn的平均含量由高到低依次是Zn($105.22 \pm 23.5 \text{ mg/kg}$),Cu($34.91 \pm 10.81 \text{ mg/kg}$)和Pb($25.52 \pm 5.21 \text{ mg/kg}$).分别为徐州市背景值的1.56、1.10和2.70倍,受到一定程度的污染.

(3)在8种优势植物中,小飞蓬对Pb、Cu和Zn的转移系数分别达到1.01、1.42和1.12,具有较强的将土壤中重金属转移到地上部分的潜力;野艾蒿地上部分Zn含量超出正常水平的上限,达到164.16 mg/kg,且转移系数和富集系数分别达到2.08和1.13,对Zn具有较强的转移与富集潜力,可考虑作为本地区生态修复的物种.

表 3 矿区优势植物和土壤中重金属含量 (mg · kg⁻¹) 及富集系数和转移系数
Tab.3 Mining area dominant plants and soil heavy metal content (mg · kg⁻¹) and enrichment factor and transfer coefficient

植物	部位	Pb			Cu			Zn		
		含量	BCF	TF	含量	BCF	TF	含量	BCF	TF
蜀葵	地上	0.75			10.54			29.76		
	地下	2.34	0.03	0.32	22.23	0.37	0.47	44.26	0.36	0.67
	土壤	23.77			28.15			83.10		
苦苣	地上	0.63			20.75			41.97		
	地下	3.66	0.03	0.17	24.50	0.90	0.85	31.84	0.55	1.32
	土壤	19.11			22.99			75.97		
荔枝草	地上	2.06			12.14			50.95		
	地下	1.19	0.06	1.73	13.90	0.33	0.87	51.65	0.42	0.99
	土壤	32.05			36.44			121.24		
泥胡	地上	1.47			14.39			54.48		
	地下	3.38	0.05	0.43	19.36	0.47	0.74	70.75	0.47	0.77
	土壤	31.26			30.30			116.50		
酸模	地上	1.74			8.46			28.60		
	地下	3.92	0.07	0.44	32.84	0.37	0.26	53.32	0.34	0.54
	土壤	24.83			22.85			84.29		
野艾蒿	地上	3.04			13.54			164.16		
	地下	4.10	0.09	0.74	19.01	0.35	0.71	78.88	1.13	2.08
	土壤	32.73			38.87			145.87		
小飞蓬	地上	1.92			18.64			50.92		
	地下	1.90	0.06	1.01	13.10	0.37	1.42	45.37	0.49	1.12
	土壤	31.85			49.91			103.08		
刺儿菜	地上	1.00			15.13			32.02		
	地下	3.14	0.03	0.32	34.25	0.30	0.44	37.69	0.29	0.87
	土壤	32.58			49.76			111.71		

参考文献:

[1] LI M S, LUO Y P, SU Z Y. Heavy metal concentrations in soils and plant accumulation in a restored manganese mineland in Guangxi, South China[J]. Environmental pollution, 2007, 147(1):168 – 75.

[2] LI Y G, JIANG G M. Ecological restoration of mining wasteland in both China and abroad: an over review [J]. Acta ecologica sinica, 2004, 24:95 – 100.

[3] ZHANG S, LI T, HUANG H, et al. Cd accumulation and phytostabilization potential of dominant plants surrounding mining tailings[J]. Environmental science & pollution research, 2012, 19(9):3879 – 88.

[4] MARRUGO N J, DURANGO H J, PINEDO H J, et al. Phytoremediation of mercury contaminated soils by *Jatropha curcas*[J]. Chemosphere, 2015, 127:58 – 63.

[5] 李坤陶. 植物修复技术在污染治理中的应用现状与展望[J]. 郑州大学学报(理学版), 2006, 38(3):95 – 98.

[6] 李保杰, 于法展, 纪亚洲. 徐州市九里矿区土壤重金属插值分析及污染评价[J]. 测绘科学, 2010, 35(6):166 – 169.

[7] 张满满, 肖昕, 谭敏. 徐州北郊土壤重金属污染评价研究[J]. 北方园艺, 2013(6):177 – 179.

[8] 邢丹, 刘鸿雁, 于萍萍, 等. 黔西北铅锌矿区植物群落分布及其对重金属的迁移特征[J]. 生态学报, 2012, 32(3):796 – 804.

[9] 何东, 邱波, 彭尽晖, 等. 湖南下水湾铅锌尾矿库优势植物重金属含量及富集特征[J]. 环境科学, 2013, 34(9):3595 – 3600.

[10] 中华人民共和国农业部. NY/T 1121.1 – 2006 土壤检测 第 1 部分:土壤样品的采集、处理和贮存[S]. 2006.

[11] 毕德, 吴龙华, 骆永明, 等. 浙江典型铅锌矿废弃地优势植物调查及其重金属含量研究[J]. 土壤, 2006, 38(5):591 – 597.

[12] 袁永强, 刘丛强. 广西某地金属冶炼废水外溢对农田土壤的污染特征[J]. 环境科学, 2011, 32(11):3312 – 3317.

[13] 朱佳文. 湘西花垣铅锌矿区重金属污染土壤生态修复研究[D]. 湖南农业大学生物科学技术学院, 2012.

- [14] SALT D E, BLAYLOCK M, KUMAR N P, et al. Phytoremediation: a novel strategy for the removal of toxic metals from the environment using plants [J]. *Bio/technology*, 1995, 13(5): 468–74.
- [15] 耿慧. 张宣葡萄产区土壤铜、锌分布特征及与葡萄品质的关系[D]. 河北农业大学资源与环境科学学院, 2011
- [16] 李保杰, 顾和和, 于法展, 等. 徐州市区土壤重金属空间分布研究[J]. *测绘科学*, 2011, 36(5): 82–84.
- [17] 刘月莉, 伍钧, 唐亚, 等. 四川甘洛铅锌矿区优势植物的重金属含量[J]. *生态学报*, 2009, 29(4): 2020–2026.
- [18] 徐华伟, 张仁陟, 谢永. 铅锌矿区先锋植物野艾蒿对重金属的吸收与富集特征[J]. *农业环境科学学报*, 2009, 28(6): 1136–1141.
- [19] 王显炜. 金矿区农田土壤重金属污染与农作物关系探讨[D]. 西安: 长安大学地球科学与资源学院, 2010.
- [20] 王彬. 重金属 Cd、Zn、Cu、Pb 污染下土壤生物效应及机理[D]. 重庆: 西南大学资源环境学院, 2008.
- [21] 张丽, 彭重华, 王莹雪, 等. 14 种植物对土壤重金属的分布、富集及转运特性[J]. *草业科学*, 2014, 31(5): 833–838.
- [22] 殷捷, 周竹渝. 超积累植物的研究进展[J]. *重庆环境科学*, 2003, 25(11): 150–152.
- [23] PENCE N S, LARSEN P B, EBBS S D, et al. The molecular physiology of heavy metal transport in the Zn/Cd hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens* [J]. *Proceedings of the national academy of sciences of the United States of America*, 2000, 97(9): 4956–4960.
- [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.
- [25] 崔龙鹏, 白建峰, 史永江等. 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): 896–904.

Study on Dominant Plants and Enrichment Characteristics of Heavy Metal from a Coal Mine Area in Northern Xuzhou

ZHANG Haojia¹, LIU Hanhu¹, XIAO Xin¹, SUN Xiaofei¹, CAI Chengzhe²

(1. College of Environment and Surveying, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116;

2. Urumqi Railway Administration, Korla 841001)

Abstract: In this paper, the contents of Pb, Cu and Zn in the plants and soil from a coal mine area in northern Xuzhou were examined, to study the enrichment ability of the dominant plants for different heavy metals. 24 species (24 genera, 12 families) of herbaceous plants in the region were found, including the 8 dominant plants. The results indicated that the average contents of Pb, Cu and Zn in the soil were 1.56, 1.10 and 2.70 times to the background values of Xuzhou, and the content of Pb was positively correlated with Cu and Zn ($P < 0.01$). The transfer coefficient of *Erigeron annuus* was more than 1.00, being 1.01 for Pb, being 1.42 for Cu and being 1.12 for Zn. The content of Zn in *Artemisia lavandulaefolia* was higher than the normal range, which reached 164.16 mg/kg. even, the plant's transfer coefficient and enrichment factor of Zn were 2.08 and 1.13. This two plants had the ability to enrichment the heavy metal, which can be used as a remediation for the ecological restoration of the local coal mine area.

Key words: heavy metal; dominant plant; enrichment factor; transfer coefficient