

抗多元重金属植物的有效筛选及生态修复研究

——以湖南柿竹园有色金属矿区为例

高洁¹, 周举军², 李桂芳², 蔡玉², 魏德良¹, 邓斌¹, 雷华平^{2*}

(1. 湘南学院化学生物与环境工程学院, 湖南郴州 423000; 2. 湘南学院药学院, 湖南郴州 423000)

摘要 [目的] 筛选出适应矿区生长的抗多元重金属植物。[方法] 将采集的样品干燥、研磨, 采用微波消解-火焰原子吸收光谱法测定样品中重金属 Cu、Pb 和 Zn 的含量, 计算出转移系数与富集系数, 从而挑选出抗性强与转运效果佳的植物。[结果] 柿竹园矿区土壤重金属含量高, 植被覆盖率低。三棱草和木贼对 Cu、Zn、Pb 都有较好的富集能力和较强的转运能力, 适合作为修复植物。葛根、蛇葡萄对 Cu、Zn、Pb 有很好的耐性, 适合作为丰富生物多样性及提升植被覆盖率的植物。[结论] 该研究可为矿区重金属治理提供科学依据。

关键词 柿竹园; 先锋植物; 重金属; 土壤; 生态修复

中图分类号 S181.3; X53 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2017)27-0090-03

Study on Effective Screening and Ecological Remediation of Anti-multivariate-heavy-metal-plants—Taking Shizhuyuan Mining Area of Hunan Province as an Example

GAO Jie¹, ZHOU Ju-jun², LI Gui-fang², LEI Hua-ping^{2*} et al (1. School of Chemistry Biology and Environmental Engineering, Xiangnan University, Chenzhou, Hunan 423000; 2. School of Pharmaceutical Sciences, Xiangnan University, Chenzhou, Hunan 423000)

Abstract [Objective] To screen the anti-multivariate-heavy-metal-plants adapted to the growth of mining area. [Method] The collected samples were dried and ground. Then the microwave digestion technique and Flame atomic absorption Spectrometry was used to determine the content of heavy metal ions Cu, Pb and Zn in the samples. Finally, the transfer coefficient and enrichment factor were calculated, and the plants with strong resistance and good effect were selected. [Result] The results showed that heavy metal contents were high in the Shizhuyuan mining area with low vegetation coverage. *Pinellia ternata* and *Equisetum hyemale* on Cu, Zn, Pb have better enrichment ability and strong transport capacity, and they were suitable for soil restoration. *Radix puerariae* and *Ampelopsis sinica* have good tolerance to Cu, Zn and Pb, and they suitable for enriching biodiversity and improving vegetation cover. [Conclusion] The study can provide reference for the treatment of heavy metal pollution in the mining area.

Key words Shizhuyuan; Pioneer plant; Heavy metal; Soil; Ecological restoration

郴州作为有色金属之乡, 拥有大面积严重的有色金属废旧矿区。具有持久性、毒性和生物富集性等特性的重金属造成的污染危害着生物和人类健康^[1]。土壤中重金属污染具有滞后性、不可逆性、隐蔽性和长期性的特点^[2-3]。当地居民对重金属污染土壤的防范意识普遍偏低。近年来新闻频繁报出: 矿区附近生活的人们由于在不知情的状况下食用含有重金属的水和食物, 而患上各种各样奇怪的病甚至死亡。重金属污染的植物修复技术是指利用植物来修复重金属所造成的土壤环境污染的方法^[4]。与物理化学修复技术相比, 植物修复技术更容易完善、便于推广, 而土壤物理化学性质更容易恢复, 可操作性更强。如何提高植物的修复效率和速度是植物修复面临的主要问题。因此, 在选择植物时, 应倾向于选择生长周期短、生物量大的植物^[5-6]。

先锋植物是指在重金属含量高的土壤环境中对重金属离子有强耐性并可正常生长的植物。重金属矿区中的先锋植物在植物修复技术中起着举足轻重的作用。郴州柿竹园地处亚热带季风湿润气候地带, 先锋植物的种类较多, 有利于筛选修复效果更好的植物。对于测定其中重金属含量采用的较多是微波消解-火焰原子吸收光谱法。其中, 微波消解技术^[7]操作简单, 耗能低, 试剂用量小, 重复性好。笔者采用微波消解-火焰原子吸收光谱法测定植物中 Cu、Pb 和 Zn 的含量, 计算转移系数与富集系数, 筛选出适应湖南柿竹园

有色金属矿区生长的抗多元重金属植物, 旨在为矿区土壤生态环境治理提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况 郴州地处南岭东西向复杂构造带的中段北缘, 境内分布有铅、锌、钨、锰、硫及金、银、铜、钼、铋、黄铁矿等多种有色金属矿, 素有“有色金属之乡”之称^[8]。郴州柿竹园有色金属矿区属于亚热带季风性湿润气候区, 多年平均气温 17.4 °C, 多年平均降水量 1 452.1 mm, 地形复杂, 植物种类多。

1.2 样品采集 选取柿竹园矿区的白露塘、寸石口、千里湖山、白沙村富含重金属的尾砂矿区作为研究对象。在矿区选择长势较好的先锋植物, 并挖取植物完整根系及其根部土壤。将采取的植物和土壤分别装入封闭袋中, 并按采样顺序编号。

1.3 样品处理 植物样品用清水洗净, 用蒸馏水冲洗 2~3 次, 自然风干, 再于 80 °C 在干燥箱中进行烘干至恒重。用物理方法将根上部分和根下部分分开, 并分别捣碎成粉末状, 装袋, 编号, 密封。土壤样品风干, 手动除去样品中的砂砾和植物组织。再于 150 °C 烘干至恒重。将样品仔细研磨, 过 0.150 mm 筛网, 收集过筛的样品并编号, 密封。

1.4 样品的微波消解

1.4.1 植物样品的消解 准确称取各植物样品粉末 0.300 0 g, 分别放入干燥清洁且做好标记的 50 mL 消解瓶中。往消解瓶中各加入 5.0 mL HNO₃、3.0 mL H₂O₂、1.0 mL HF, 混匀。然后以表 1 中的消解条件消解样品。待消解完全, 将消解液移入 100 mL 容量瓶, 用 2% HNO₃ 溶液定容, 再

基金项目 大学生创新创业训练计划项目(201510545001)。

作者简介 高洁(1995—), 女, 湖南衡阳人, 本科生, 专业: 应用化学。
* 通讯作者, 副教授, 博士, 从事生态学研究。

收稿日期 2017-07-18

将溶液转入编好号的塑料瓶中密封处理。

表 1 微波溶样程序

Table 1 Sample microwave digestion procedure

样品类型 Sample type	工步 Step	温度 Temperature °C	保持时间 Retention time//min	斜率 Slope
植物粉末 Plant powder	1	80	15	8
土壤粉末 Soil powder	1	90	3	8
	2	120	3	8
	3	180	3	8

1.4.2 土壤样品的消解。准确称取各土壤样品粉末 0.200 0 g, 分别放入清洁干燥并贴好标签的 50 mL 消解瓶中。往消解瓶中分别依次加入 6.0 mL HNO₃ 和 2.0 mL HCl,

摇匀, 静置反应 10 min。然后以表 1 中的消解条件消解样品。待消解完全, 将消解液用 2% HNO₃ 溶液定容, 再将溶液转移到塑料瓶中密封处理。

1.5 标准曲线的绘制 在测量系统中设置 Cu、Zn 和 Pb 元素的测量条件(表 2), 利用原子分光光度仪绘制曲线图。分别用浓度为 0、0.2、0.4、0.6、0.8、1.0 mg/L 的 Cu、Zn、Pb 标准溶液进行校准。相关系数(*R*)在 0.999 以上时, 标准曲线才能符合试验研究要求。测定结果显示, Cu 的标液浓度与其吸光度呈线性关系, Cu 的线性回归方程为 $A = 0.0827 \text{Conc} - 0.0018$, 相关系数 $R_1 = 0.99959$, 符合试验要求; Zn 的线性回归方程为 $A = 0.1980 \text{Conc} + 0.0030$, 相关系数 $R_2 = 0.99961$, 符合试验要求; Pb 的线性回归方程为 $A = 0.0106 \text{Conc} + 0.0008$, 相关系数 $R_3 = 0.99950$, 符合试验要求。

表 2 仪器工作条件及测量参数

Table 2 Working conditions and measuring parameters

元素 Element	波长 Wavelength//nm	狭缝宽 Slit width//nm	灯电流 Lamp current//mA	空气压力 Air pressure//MP	乙炔压力 Acetylene pressure//MP
Cu	324.8	0.7	7.5	0.35	0.09
Zn	213.9	0.5	7.5	0.35	0.09
Pb	283.3	0.5	10.0	0.35	0.09

1.6 样品的测定 在仪器设定的条件下测定样品的吸光度, 经计算单位换算得到植物重金属 Cu、Zn、Pb 含量及转移系数、富集系数。转移系数 = 植物地上部重金属含量/植物地下部重金属含量, 表示植物把地下部分的重金属运输到地上部分的能力^[9], 转移系数越大, 表明该植物转移重金属的能力越强和该植物对土壤的修复能力越强。富集系数 = 植物中重金属含量/基质中重金属含量, 富集系数越大, 表明该植物吸收重金属的能力越强^[10]。

2 结果与分析

2.1 不同植物对 Cu 的富集及转移能力 由表 3 可知, 葛根体内 Cu 含量超过 1 000 μg/g, 但地下部分含量高于地上部分, 仍不属于 Cu 的超富集植物, 地萁草、木贼和葛根的富集系数大于 1.00, 表明这些植物对 Cu 的富集能力强; 转移系数方面, 绝大部分植株对 Cu 的转移系数大于 1.00, 表明 Cu 在植物体内的移动性较好。

表 3 样品中 Cu 的含量及转移系数和富集系数

Table 3 The contents of Cu in the samples and their relative transfer coefficients and enrichment coefficients

选择地址 Selected address	植物名称 Plants names	Cu 含量 Cu content//μg/g			富集系数 Enrichment coefficients	转移系数 Transfer coefficients
		地下部分 Underground part	地上部分 Above-ground part	土壤 Soil		
白露塘 Bailutang	地萁草	38.65	120.07	142.80	1.11	3.11
	苎麻	26.55	120.07	212.60	0.69	4.52
	散尾葵	70.05	65.53	175.50	0.77	0.94
	三棱草	41.05	88.73	166.50	0.78	2.16
	木贼	202.45	186.53	167.20	2.33	0.92
白沙村 Baishacun	葛根	1 075.67	269.40	1 086.40	1.24	0.25
	苦荞麦	55.90	90.07	375.40	0.39	1.61
	木贼	540.67	75.53	300.40	2.05	0.14
	棕榈科植物	152.20	74.40	354.85	0.64	0.49
	地胆草	214.90	85.53	352.90	0.85	0.40
	唇形科植物	118.43	60.07	345.20	0.52	0.51
	三棱科植物	91.47	63.40	595.00	0.26	0.69
	狗尾草	136.17	200.40	348.40	0.97	1.47
	瓜蒌	64.03	63.57	306.80	0.42	0.99
寸石口 Cunshikou	蓼科植物	45.90	61.00	110.20	0.97	1.33
	散尾葵	44.13	64.13	144.80	0.75	1.45
	攀倒甍	33.40	56.73	408.00	0.22	1.70
	小苜蓿	55.57	62.20	129.40	0.91	1.12
	杠板归	43.07	70.10	186.40	0.61	1.63
	芒草	63.27	52.93	294.00	0.40	0.84
千里湖山 Qianlihushan	蛇葡萄	52.30	45.20	449.60	0.22	0.86
最大值 Maximum		1 075.67	269.40	1 086.40	2.33	4.52
最小值 Minimum		26.55	45.20	110.20	0.22	0.14
平均值 Average		135.79	91.45	307.93	0.66	1.36

2.2 不同植物对 Zn 的富集及转移能力 由表 4 可知,植物体内重金属含量并未超过 10 000 $\mu\text{g/g}$,因此没有超富集植株,而地菹草、苕麻、木贼、葛根、瓜蒌和杠板归对 Zn 的富集

系数均大于 1.00,表明这 2 种植物对 Zn 都有很好的富集能力;三棱草和瓜蒌的转移系数大于 1.00,说明这 2 种植物对 Zn 的转运效果较好。

表 4 样品中 Zn 的含量及转移系数和富集系数

Table 4 The contents of Zn in the samples and their relative transfer coefficients and enrichment coefficients

选择地址 Selected address	植物名称 Plants names	Zn 含量 Zn content// $\mu\text{g/g}$			富集系数 Enrichment coefficients	转移 系数 Transfer coefficients
		地下部分 Underground part	地上部分 Above- ground part	土壤 Soil		
白露塘 Bailutang	地菹草	2 574.10	281.00	2 763.85	1.03	0.11
	苕麻	2 231.60	395.00	2 522.10	1.04	0.18
	散尾葵	1 402.10	999.33	2 762.60	0.87	0.71
	三棱草	364.60	1 174.23	1 868.00	0.82	3.22
白沙村 Baishacun	木贼	2 240.40	924.43	2 527.40	1.25	0.41
	葛根	1 618.33	1 285.57	2 621.60	1.11	0.79
	苦荞麦	1 266.67	618.10	2 589.70	0.73	0.49
	木贼	1 536.00	914.93	2 632.40	0.93	0.60
	棕榈科植物	1 500.00	890.00	2 592.95	0.92	0.59
	地胆草	1 210.80	742.13	2 677.90	0.73	0.61
	唇形科植物	688.80	459.20	1 370.45	0.84	0.67
	三棱科植物	1 366.67	462.80	2 565.60	0.71	0.34
	狗尾草	1 291.73	661.47	2 597.50	0.75	0.51
	瓜蒌	248.20	852.47	910.30	1.21	3.43
寸石口 Cunshikou	蓼科植物	624.63	455.23	1 862.95	0.58	0.73
	散尾葵	1 162.57	722.17	2 399.20	0.79	0.62
	攀倒甍	716.67	458.33	1 589.55	0.74	0.64
	小苜蓿	562.13	528.50	2 106.95	0.52	0.94
	杠板归	994.37	608.33	1 373.20	1.17	0.61
千里湖山 Qianlihushan	芒草	1 005.00	558.33	2 647.50	0.59	0.56
	蛇葡萄	1 166.67	544.57	2 441.20	0.70	0.47
最大值 Maximum		2 574.10	1 285.57	2 762.60	1.25	3.43
最小值 Minimum		248.20	281.00	910.30	0.52	0.11
平均值 Average		1 243.04	697.45	2 278.77	0.86	0.84

2.3 不同植物对 Pb 的富集及转移能力 由表 5 可知,木贼地下部分 Pb 含量高于 1 000 $\mu\text{g/g}$,但地下部分 Pb 含量高于地上部分,因而不能归属于超富集植物。发现苕麻、三棱草、

散尾葵和木贼对 Pb 的转移系数大于 2.00,表明这些植物对 Pb 的转运能力很强。

表 5 样品中 Pb 的含量及转移系数和富集系数

Table 5 The contents of Pb in the samples and their relative transfer coefficients and enrichment coefficients

选择地址 Selected address	植物名称 Plants names	Pb 含量 Pb content// $\mu\text{g/g}$			富集系数 Enrichment coefficients	转移 系数 Transfer coefficients
		地下部分 Underground part	地上部分 Above- ground part	土壤 Soil		
白露塘 Bailutang	地菹草	991.50	371.43	1 524.30	0.89	0.37
	苕麻	135.00	3 765.00	850.50	0.60	2.79
	散尾葵	122.65	322.63	1 767.60	0.25	2.63
	三棱草	153.45	355.80	714.80	0.71	2.32
白沙村 Baishacun	木贼	122.65	332.90	733.50	0.62	2.71
	葛根	836.67	291.27	1 454.10	0.78	0.35
	苦荞麦	447.37	361.87	1 496.20	0.54	0.81
	木贼	1 211.47	324.13	3 466.15	0.44	0.27
	棕榈科植物	200.90	250.73	981.50	0.46	1.25
	地胆草	316.67	363.30	1 075.10	0.63	1.15
	唇形科植物	312.13	317.07	1 201.45	0.52	1.02
	三棱科植物	936.23	343.27	1 702.10	0.75	0.37
	狗尾草	455.60	381.67	1 327.73	0.63	0.84
	瓜蒌	209.10	270.73	1 164.00	0.41	1.29
寸石口 Cunshikou	蓼科植物	240.00	295.40	696.10	0.77	1.23
	散尾葵	168.03	304.80	887.90	0.53	1.81
	攀倒甍	209.67	266.83	1 430.70	0.33	1.27
	小苜蓿	230.00	226.63	387.25	1.18	0.99
	杠板归	291.27	376.10	1 795.70	0.37	1.29
千里湖山 Qianlihushan	芒草	221.43	284.10	3 948.10	0.13	1.28
	蛇葡萄	184.47	287.17	1 528.95	0.31	1.56
最大值 Maximum		1 211.47	381.67	3 948.10	1.18	2.79
最小值 Minimum		104.15	226.63	387.25	0.13	0.27
平均值 Average		354.05	316.52	1 395.15	0.56	1.35

(3)保持“贸易畅通”,加快与沿线各国的自由贸易协定签署,建设更加开放的国际贸易环境。沿线各国的价格贸易条件提升是对中国茶叶出口产生负影响的,换言之,中国价格贸易条件的提升将促进本国的对外出口,故而进一步提高本国对外开放度,通过与沿线国家签署自由贸易协议等措施降低中国对外出口的成本,必定会推动中国茶叶出口贸易的发展。

(4)加强“政策沟通”,多方助力推动各国“民心相通”,创造和谐安定的贸易环境。“一带一路”战略的持续推进,离不开各国领导人及政府的双向沟通,因此政府一方面要做好国内各省市与“一带一路”的衔接,另一方面要在国际上继续与沿线国家加强沟通,如举办“一带一路”文化交流活动、博览展活动等来密切中国与沿线各国的文化交流,以创造良好的国际贸易氛围。

4 结语

“一带一路”战略是一项长期的区域合作战略,它的持续推进必然会不断推动中国与沿线各国的经济贸易发展,而该战略以其包容开放的理念也在不断吸引着世界其他各国的加入,在未来它必然会为中国乃至世界经济贸易的发展做出贡献。

(上接第92页)

3 结论

该研究表明,柿竹园有色金属矿区土壤重金属污染严重,Cu、Zn、Pb不同程度超标,就4个取样点来说,污染程度以白沙村最强,寸石口相对较轻。重金属含量高,植被覆盖率低,物种丰富度以寸石口最佳,而白沙村最差。植物对土壤重金属的吸收特征大致可分为3类:少量吸收土壤重金属的规避型植物,如攀倒甌;大量吸收重金属,但囤积于根部的囤积型植物,如地菫草;将重金属富集于体内的富集型植物,如苎麻。

4个采样点土壤中Cu含量为110.20~1086.40 μg/g, Zn含量为910.30~2762.60 μg/g, Pb含量为387.25~3984.10 μg/g,均远超国家二级标准。白露塘、寸石口和千里湖山3个采样点的重金属含量相差不大,Cu含量较低,Pb、Zn含量高。千里湖山Pb的含量比白露塘高,而与白沙村类似。在白沙村,Cu、Zn、Pb含量较高。对比植物的富集系数及转运系数发现,三棱草和木贼对Cu、Zn、Pb均有较好的富集能力和较强的转运能力,适合作为修复植物;葛根和蛇葡萄对Cu、Zn、Pb有很好的耐性,适合作为提升植被覆盖

参考文献

- [1] 刘卫东.“一带一路”战略的科学内涵与科学问题[J].地理科学进展,2015,34(5):538-544.
- [2] 袁新涛.“一带一路”建设的国家战略分析[J].理论月刊,2014(11):5-9.
- [3] 申现杰,肖金成.国际区域经济合作新形势与我国“一带一路”合作战略[J].宏观经济研究,2014(11):30-38.
- [4] 邹嘉龄,刘春腊,尹国庆,等.中国与“一带一路”沿线国家贸易格局及其经济贡献[J].地理科学进展,2015,34(5):598-605.
- [5] 韩永辉,邹建华.“一带一路”背景下的中国与西亚国家贸易合作现状和前景展望[J].国际贸易,2014(8):21-28.
- [6] 侯立民.“一带一路”框架下我国茶叶贸易转型路径探析[J].内蒙古农业大学学报(社会科学版),2015,17(6):36-40.
- [7] 陈富桥,姜仁华,姜爱芹,等.“一带一路”战略背景下我国茶叶市场开拓策略与建议[J].中国茶叶加工,2016(2):5-15.
- [8] 刘秋菊,杨载田,张红艳,等.试论“一带一路”视域下中国茶叶对外贸易出口新机遇[J].农业考古,2015(5):269-273.
- [9] 施由明.论河口、九江及江西茶叶与“一带一路”[J].农业考古,2015(2):172-178.
- [10] 陈蓉.“一带一路”背景下湖北茶叶向西走出去的调查与思考[J].中国商论,2015(15):113-116.
- [11] 许珊.中国茶叶出口竞争力研究[D].长沙:湖南农业大学,2014:12-19.
- [12] 杨桂英.绿色贸易壁垒对我国农产品出口的影响[D].昆明:云南财经大学,2008:23-25.
- [13] 高松婷.中国与“一带一路”沿线国家双边贸易成本的研究[D].南京:南京大学,2016:36-38.
- [14] 万璐,高利,程宝栋,等.基于引力模型的林产品双边贸易潜力研究:以中国—中东欧沿线国家为例[J].林业经济问题,2017,37(1):63-67.

率的植物。

综上所述,以白露塘、寸石口、千里湖山和白沙村为代表的湘南柿竹园有色金属矿区重金属污染区域的修复和绿化的先锋植物可选用三棱草、木贼、葛根和蛇葡萄等。

参考文献

- [1] 王俊,张义生.化学污染物与生态效应[M].北京:中国环境科学出版社,1993:156-222.
- [2] 陈怀满.土壤学进展[M].北京:科学出版社,2005:18-20.
- [3] 王焕校.污染生态学[M].北京:高等教育出版社,2002:188-191.
- [4] ANDERSON T A, GUTHIE E A, WALTON B T. Bioremediation of the rhizosphere[J]. Environ Sci Technol, 1993, 27(13): 2263-2630.
- [5] 宋静.土壤重金属植物有效性评价及铜污染土壤的植物修复研究[D].南京:中国科学院南京土壤研究所,2002.
- [6] 郭彬,李许明,陈柳燕,等.土壤重金属污染及植物修复技术研究[J].安徽农业科学,2007,35(33):10776-10778.
- [7] 靳丹虹,梁芳慧,李敬筠,等.微波辅助提取-HPLC测定决明子中的5种蒽醌类化合物[J].分子科学学报,2007,23(6):429-433.
- [8] 李书魁.东波矿尾沙流失危害调查[J].中国水土保持,1986,12(21):51.
- [9] 王厚杰.马关县矿区土壤重金属污染及植物修复特性的研究[D].成都:成都理工大学,2012.
- [10] 戴媛,谭晓荣,冷进松.超富集植物修复重金属污染的机制与影响因素[J].河南农业科学,2007(4):10-13.