



移动扫码阅读

邓焱,郝喆,曹明杰,等.尾矿库植物生长与重金属含量的相互关系研究,2020,34(1):8-14.

Deng Yan, Hao Zhe, Cao Mingjie, et al. Study on the relationship between plant growth and heavy metal content in tailings reservoirs[J]. Energy Environmental Protection, 2020, 34(1): 8-14.

# 尾矿库植物生长与重金属含量的相互关系研究

邓焱,郝喆\*,曹明杰,王芳研

(辽宁大学 环境学院,辽宁 沈阳 110036)

**摘要:**为研究修复植物与重金属的相互关系,以歪头山尾矿库植物修复现场为例,采集植物及其根际尾矿土样品,检测植物生长指标和土壤重金属含量,分析植物生长指标与重金属含量的相互关系。结果表明:植物生长指标与土壤中重金属含量总体呈负相关性,但叶绿素含量与重金属正相关性比较明显;同龄植物的不同生长状况对重金属Cu、As、Cd的影响不大,Ni、Pb、Cr的含量变小;随着植物的生长,尾矿土中的重金属含量降低,生物量较小时重金属下降较快;随着重金属含量的增加,对植物生长的胁迫作用更为显著,对生物量和冠幅影响显著;尾矿库修复植物对重金属有修复作用,经过植物修复后的重金属含量(除Cd外)明显减小;植物能够对尾矿库中的重金属物质进行吸收和再分配,有效治理重金属,减少雨水对地表的冲刷,减少风蚀和扬尘污染,改善尾矿库土壤状况和能量循环。

**关键词:**植物修复;植物生长指标;重金属;尾矿库

中图分类号:X171.4

文献标识码:A

文章编号:1006-8759(2020)01-0008-07

## Study on the relationship between plant growth and heavy metal content in tailings reservoirs

DENG Yan, HAO Zhe\*, CAO Mingjie, WANG Fangyan

(College of Environmental Sciences, Liaoning University, Shenyang 110036, China)

**Abstract:** In order to understand the relationship between phytoremediation and heavy metals, the plant repair project of Waitoushan tailings reservoirs was studied. The relationship between plant growth index and heavy metal content was analyzed through the collection of plant samples and plant rhizosphere tailings, the detection of plant growth index and the detection of heavy metal content. The results showed that with the increasing concentration of heavy metals, the plant growth index decreased but the content of Chlorophyll increased. The growth status of plants at same age did not affect the content of Cu, As and Cd, but affect the content of Ni, Pb and Cr. The content of heavy metal decreased with the growth of plants, especially when the biomass was small. With the increase of heavy metal content, the stress effect on plant growth was more obvious, especially for the biomass and crown width. Compared with the heavy metal content in the unrepaired tailings reservoirs, the content of heavy metals (except Cd) decreased obviously after the plant repair. Plants can absorb and redistribute heavy metal materials in tailings reservoirs, and play an important role in the treatment of heavy metals. They can effectively reduce the erosion of the surface by rainwater, reduce wind erosion and dust pollution, and improve the soil status and energy circulation of tailings reservoirs.

收稿日期:2019-09-09

基金项目:国家水体污染控制与治理科技重大专项(2015ZX07202-012);辽宁省自然科学基金项目(20180550192);辽宁省百千万人才项目(辽百千万立项[2015]33号)

第一作者简介:邓焱(1996-),男,辽宁阜新人,硕士研究生,主要从事矿山环境治理领域的研究工作。E-mail:775208917@qq.com

通讯作者简介:郝喆(1972-),男,辽宁沈阳人,教授,主要研究方向为矿山环境治理与生态修复。E-mail:626447443@qq.com

**Key Words:** Phytoremediation; Plant growth index; Heavy metals; The tailings reservoirs

## 0 引言

我国矿产资源丰富,带来巨大经济效益的同时也对环境造成了严重的影响。尾矿库作为矿山的重要组成部分<sup>[1-3]</sup>,是指在山谷口部、河道或洼地的周围筑坝,将金属和非金属矿山进行矿石选别后的尾矿或其他工业废渣排入其内进行堆存和沉淀的贮存场所<sup>[4]</sup>。尾矿库中重金属等有害物质含量过高,营养物质缺乏,不利于水土保持,故表面很难直接生长植物,裸露的尾矿库中的砂石会在大风天气下造成扬尘等污染,对周围环境和居民的生命安全等造成伤害<sup>[5-6]</sup>,因此尾矿库的治理工作一直是人们关注的焦点。本次试验主要采取现场采样和室内试验相结合的方式<sup>[7]</sup>,依据试验数据对尾矿库修复植物的生长发育状况与植物根际尾矿土的重金属的相关关系进行研究<sup>[8-9]</sup>,以达到一定的经济、社会和生态效益<sup>[10]</sup>。

## 1 研究方法

### 1.1 现场概况

歪头山铁矿是本钢主要原料基地之一,是集采、选、运为一体的大型联合企业。尾矿库占地面

积 1.62 km<sup>2</sup>,水域面积 15 m<sup>2</sup>,汇水面积 56 km<sup>2</sup>,调洪库容 56 万 m<sup>3</sup>,总设计库容 10 598 万 m<sup>3</sup>,尾矿库坝体堆积标高 294 m,且相对标高 114 m。主坝基础坝为透水堆石坝,坝的相对高度为 11.9 m,坝底的绝对标高为 180 m,坝顶宽 4 m,最大宽度 76 m,坝长 410 m,外坡比 1:2.5,内坡比 1:2。

### 1.2 现场采样

本次采样现场在本钢集团歪头山铁矿尾矿库进行。通过现场调查、植物样本采集、拍照、调查咨询、文献调研等方式收集植物信息<sup>[11]</sup>,确定沙棘作为该区域的优势物种<sup>[12]</sup>,故本次实验以沙棘为修复植物代表进行采样及研究分析。本实验取样包括植被、土壤。根据现有的技术方案<sup>[13-14]</sup>,进行了现场的样品选取、编号和采集。具体的采样位置见图 1。

歪头山铁矿小西沟尾矿库坝坡不同树龄的沙棘分 A、B、C 三个树龄台阶,A 台阶树龄 1 年,B 台阶树龄 4 年,C 台阶树龄 10 年,每个台阶每隔 100 m 取 8 棵沙棘,共 24 颗树。每级台阶对应采样点从左到右分别命名为 1-a~8-a、1-b~8-b、1-c~8-c,同时在尾矿库库区采集纯尾矿土采样点 3 处。

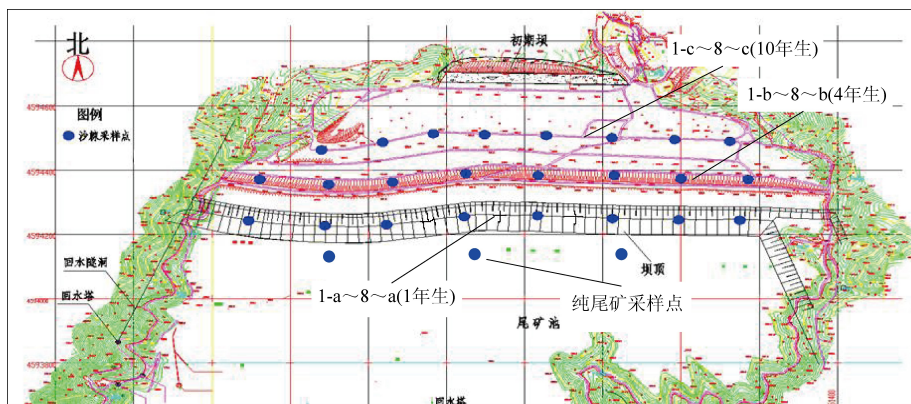


图 1 现场取样平面位置图

### 1.3 指标检测

采样点深度分别为 0-120 mm、120-240 mm、240-360 mm,清除石块、动物残骸和植物根系,采出后混合均匀,密封包装编号后送实验室对样品植物的生物量、根冠比、根幅、冠幅、叶绿素含量植物相关指标<sup>[15]</sup>和土壤中铅、镉、铜、砷、镍、铬重金属含量进行检测。

采用 Excel 2007 及 Origin 9.1 软件进行分析。

## 2 结果分析

### 2.1 尾矿土重金属含量与植物生长指标的相关性分析

取不同树龄沙棘的植物生长指标与相对应的植物根系尾矿土壤中的重金属含量的数据,利用 Excel 软件进行相关性分析,结果见表 1。

表 1 重金属含量与植物生长指标相关性分析

	生物量	根冠比	根幅	冠幅	叶绿素含量
Cu	-0.928 85	-0.925 98	-0.904 32	-0.943 59	0.836 398
Pb	-0.799 91	-0.992 44	-0.761 51	-0.824 41	0.664 275
Cr	-0.934 37	-0.920 14	-0.910 70	-0.948 51	0.844 627
Ni	-0.876 95	-0.965 00	-0.845 76	-0.896 37	0.763 603
As	-0.799 46	-0.992 53	-0.761 03	-0.823 98	0.663 718
Cd	0.388 73	-0.359 21	0.444 62	0.349 69	-0.564 530

由表 1 中的分析数据可以看出,植物生长指标与土壤中重金属含量总体呈负相关性,但叶绿素含量与重金属正相关性比较明显:

(1)生物量、根冠比、根幅、冠幅与重金属 Cu、Pb、Cr、Ni 和 As 均有显著负相关性;

(2)叶绿素含量与重金属 Cu、Pb、Cr、Ni 和 As 有显著的正相关;

(3)尾矿土中重金属 Cd 与各个植物生长指标均没有太大的相关性。

## 2.2 植物生长指标与土壤重金属的关系

以第二层平台上栽植的 4 年生沙棘为研究对象,忽略时间的影响,分析同龄植物生长指标与尾矿土重金属的相关性。植物生长指标与重金属含量的关系散点图见图 2。

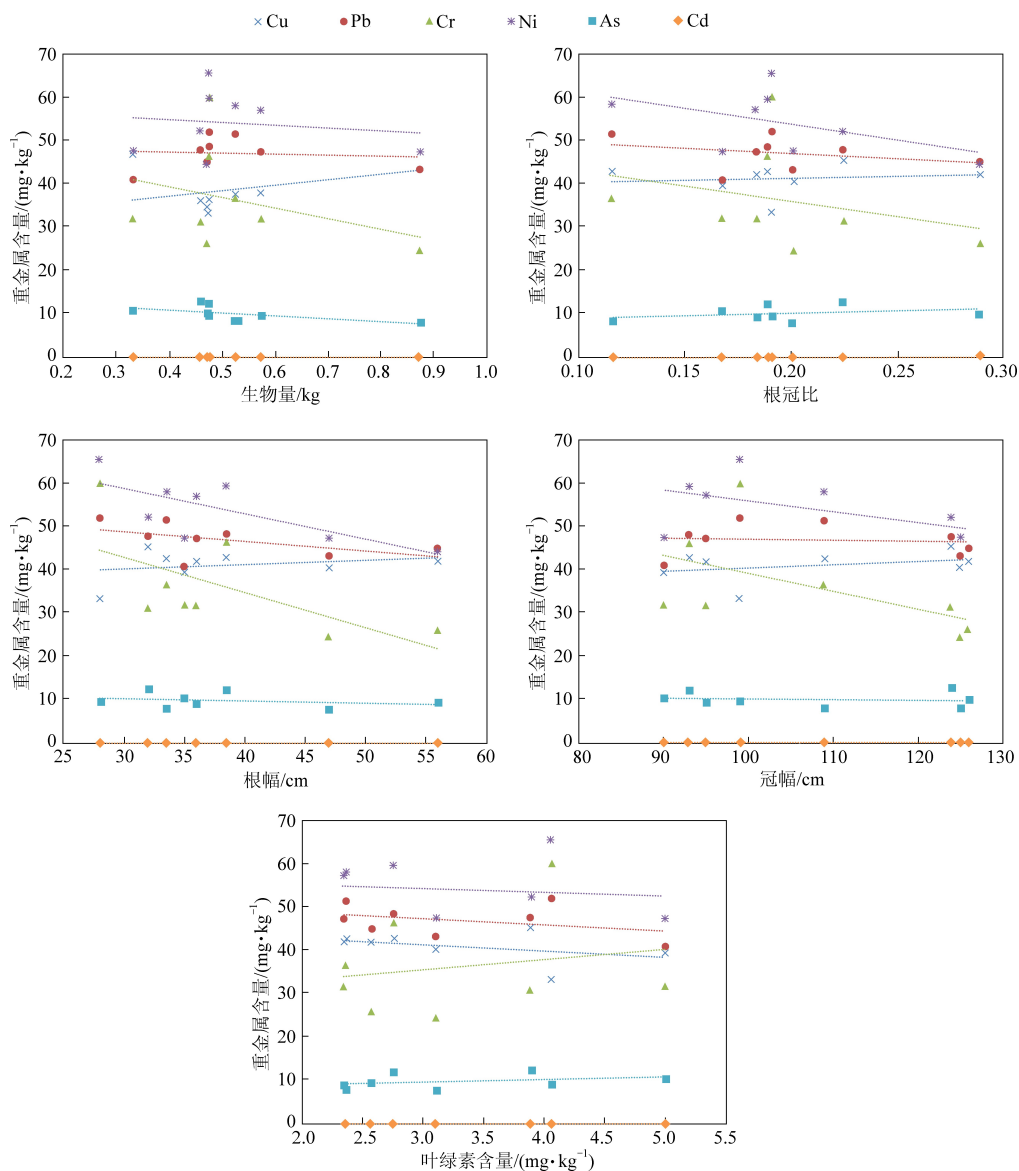


图 2 植物生长指标与重金属的关系

由图 2 可见,随着各项植物指标的增大,土壤中重金属 Cu、As、Cd 的含量基本保持不变,即不同生长状况的植物对这三种重金属的含量影响不大,植物对这三种重金属的吸附作用不强;

除叶绿素含量的变化对重金属的含量无明显变化以外,其他四种植物指标对重金属 Ni、Pb、Cr 的含量均有很大影响,特别是对 Cr 的吸附作用最强。

## 2.3 植物生长与土壤重金属含量的相互关系

### 2.3.1 植物生长对土壤重金属含量的影响

依据不同生长时间(1 a、4 a、10 a)的植物生

长指标和重金属含量的检测结果,绘制相互关系曲线,见图3。

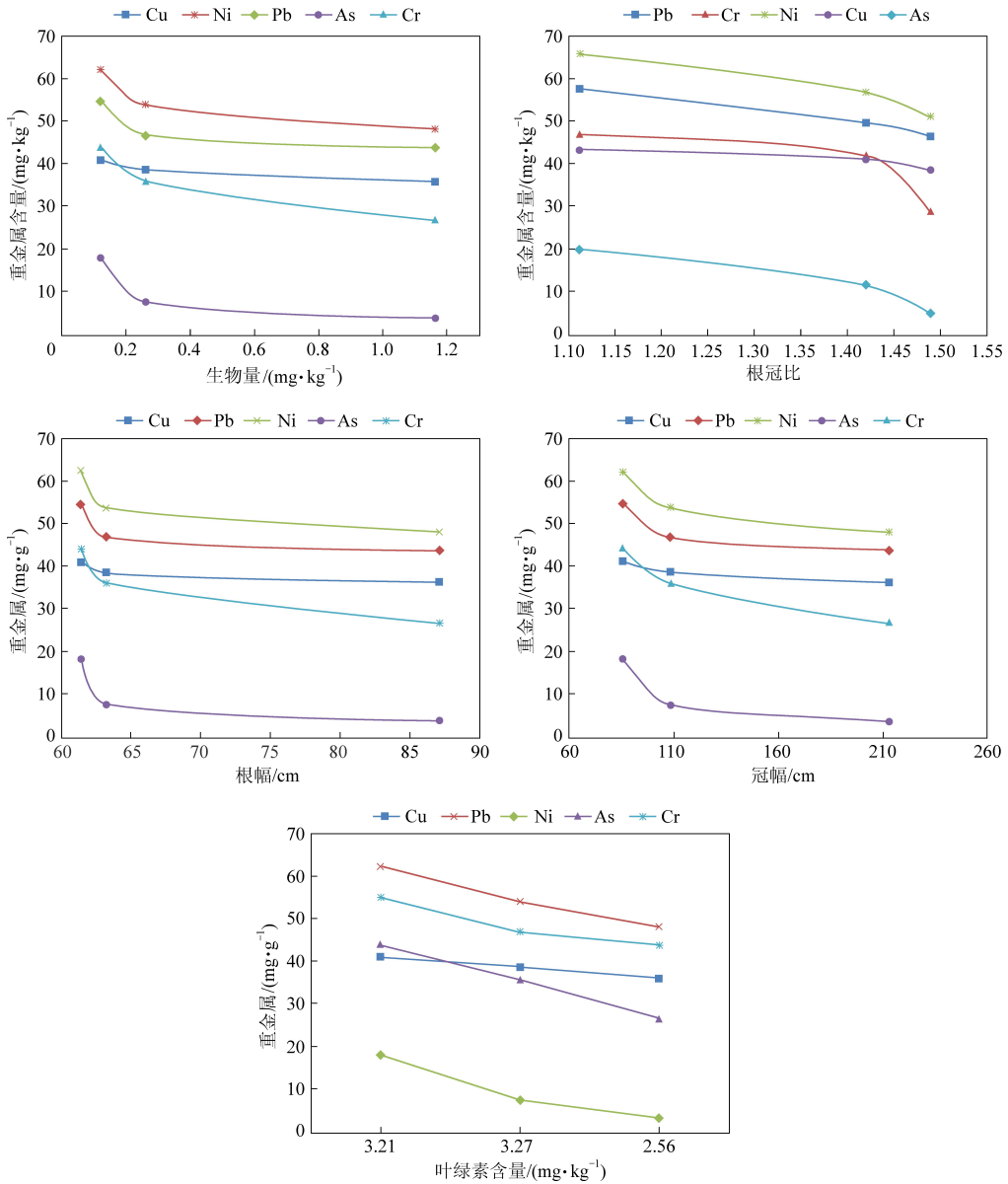


图3 植物生长对尾矿土中重金属含量的影响分析

由图3看出,随着沙棘的生物量的增加,植物根际尾矿土中的Cu、Ni、Pb、As和Cr的含量呈总体下降趋势,且生物量较小时,重金属含量快速变化。随着植物的生长,生物量的增加,重金属含量下降速度减慢。随着植物的生长根冠比的增大,植物根际尾矿土中的重金属Cu、Ni、Pb、As和Cr含量减少,且对Cr的影响最大减少37.5%。随着沙棘的根幅的增大,植物根际尾矿土中的Cu、Ni、Pb、As和Cr的含量呈总体下降趋势,且根幅较小时,重金属含量快速下降,随着植物的生长,根幅的增大,重金属含量下降速度减

慢。随着沙棘的冠幅的增大,植物根际尾矿土中的Cu、Ni、Pb、As和Cr的含量呈总体下降趋势,且冠幅较小时,重金属含量快速下降。随着植物的生长,冠幅的增大,重金属含量下降速度减慢。随着植物的生长叶龄的增大,植物叶片中的叶绿素含量会出现先增大后减小的情况。植物根际尾矿土中的重金属含量随着植物体内叶绿素含量的减小还是有一定程度的降低,呈现正相关性。

### 2.3.2 土壤重金属含量对植物生长的影响

根据植物根际尾矿土部分重金属含量和植物生

长指标生物量(kg)、根冠比、叶绿素含量(mg/g)、

根幅(cm)和冠幅(cm)变化绘制图 4。

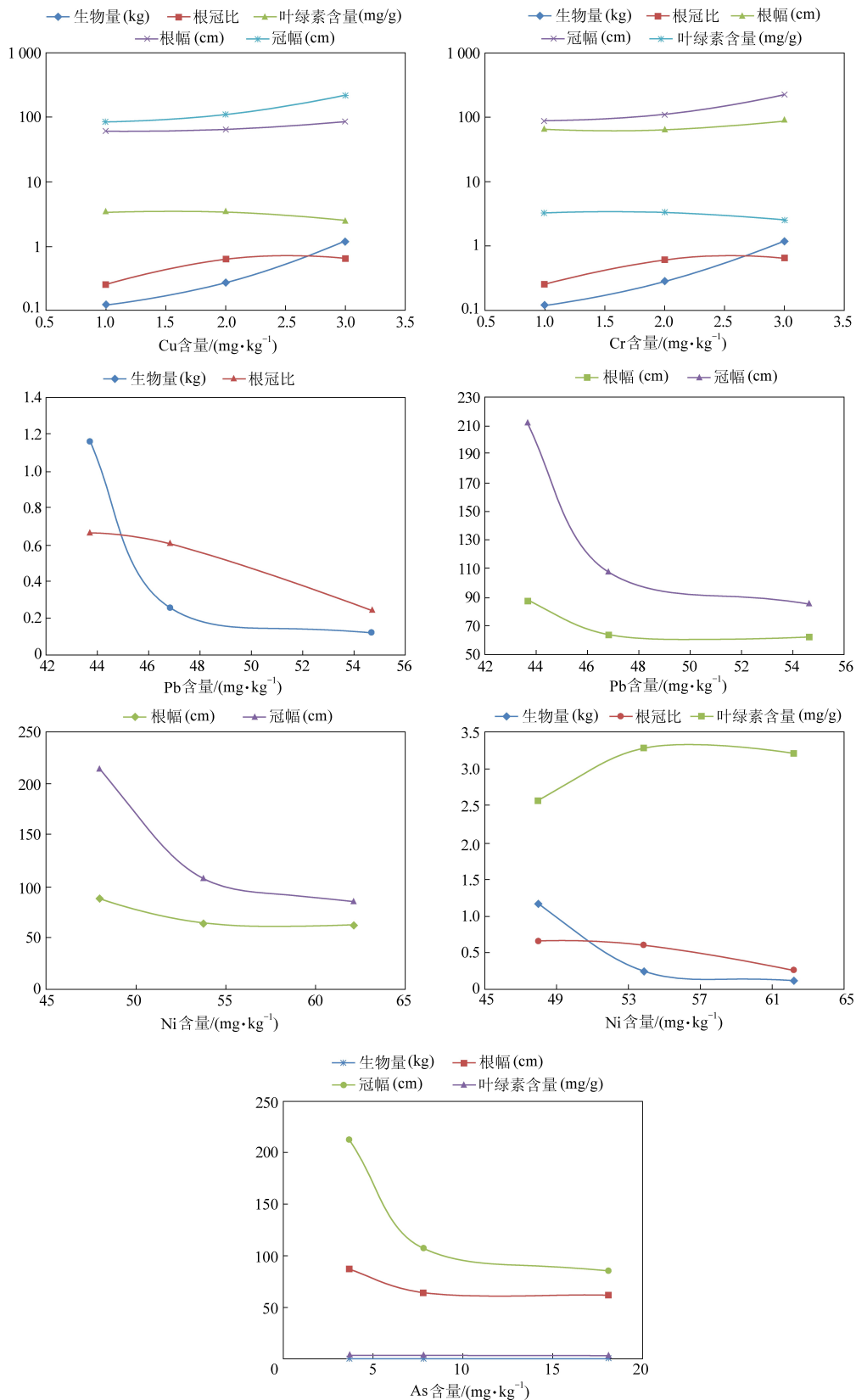


图 4 尾矿土中重金属含量对植物生长指标的影响分析

由图 4 看出,由于外界等环境因素导致植物根际尾矿土中 Cu 的含量减少时,生物量、根冠比

变化不大,根幅、冠幅的变化量很大,叶绿素含量出现下降趋势。随着植物根际尾矿土中的 Pb 含

量减小,植物的生物量、根冠比、根幅、冠幅变大,冠幅增长比根幅快,生物量随着 Pb 的含量减小增速加快。由于外界等环境因素导致植物根际尾矿土中 Cr 的含量减少时,生物量、根冠比变化不大,根幅、冠幅的变化量很大,叶绿素含量出现下降趋势。随着 Ni 含量的减小,植物的根幅和冠幅有明显的增长,且冠幅增长幅度比冠幅大,生物量和根冠比也有小幅度的增长,生物量随着重金属含量的不断减少,增幅变大,根冠比的增速趋向平缓。叶绿素含量出现先增大后减小的趋势。植物根际尾矿土中重金属 As 含量减少,根幅、冠幅增长得很快,生物量有增长,叶绿素含量由于其植物本身的性质,出现先增长,后降低的趋势。

#### 2.4 植物修复前后尾矿土重金属含量对比分析

由图 5 可见,对比未修复时纯尾矿砂中重金属含量,除重金属 Cd 含量基本保持不变外(图中未列出),其余五种重金属在植物修复作用下含量都有不同程度的降低,10 年修复后,重金属 Cu 含量为 36 mg/kg,下降 27.1%,重金属 Pb 含量为 44 mg/kg,下降 24.1%,重金属 Cr 含量为 26 mg/kg,下降 49%,重金属 Ni 含量为 48 mg/kg,下降 32.4%,重金属 As 含量为 4 mg/kg,下降 83.3%。说明植物对尾矿土中的重金属进行吸附,对尾矿库中重金属含量起到修复作用。

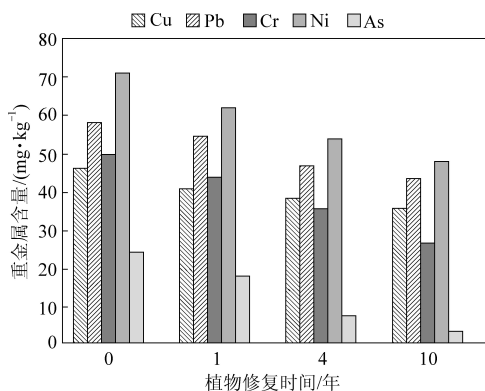


图 5 植物修复时间与重金属含量的关系

### 3 结论

本文通过对现场尾矿库的不同树龄修复植物生长指标和根际土中重金属含量检测,从而探究尾矿库植物修复与重金属含量之间的相互关系,掌握植物修复对重金属含量的修复作用效果,为尾矿库植物修复提供依据,得出以下结论:

(1)植物生长指标与土壤中重金属含量总体呈负相关性,但叶绿素含量与重金属正相关性比较明显。

(2)分析同一树龄不同生长状况的植物与其根际尾矿土中重金属的关系表明:随着植物生物量、根冠比、根幅、冠幅增大,重金属 Cu、As、Cd 的含量基本保持不变,即不同生长状况同龄植物对这 3 种重金属的含量影响不大,重金属 Ni、Pb、Cr 的含量变小;叶绿素含量的变化对重金属的含量无明显影响。

(3)随着植物的生长,植物生物量、根冠比、根幅、冠幅的增大,植物根际尾矿土中的各个重金属含量都有不同程度的降低。

①随着沙棘的生物量、根幅和冠幅的增加,植物根际尾矿土中的 Cu、Ni、Pb、As 和 Cr 的含量呈总体下降趋势,且生物量、根幅和冠幅较小时,重金属含量减小很快,随着植物的生长,生物量的增加,重金属含量下降速度减慢。重金属 Cu 的含量随生物量、根幅和冠幅的增大变化最小,Cr 的变化最大。

②随着植物根冠比的增大,植物根际尾矿土中的重金属 Cu、Ni、Pb、As 和 Cr 含量减少,且根冠比对重金属的影响出现先缓慢减小后快速减小的趋势。

③叶绿素的含量减少,植物根际土中重金属含量减少。

(4)随着植物根际尾矿土中重金属含量的降低,生物量和冠幅增速持续上升,根幅增速较慢,根冠比随着重金属含量的增加增速逐渐趋于平缓,叶绿素含量先增大后减小。随着重金属含量的降低,重金属对植物的胁迫作用减弱。

(5)对比未修复时纯尾矿土中重金属含量,除重金属 Cd 含量基本保持不变外,其余五种重金属在植物修复作用下含量都有不同程度的降低,10 年修复后,重金属 Cu 含量为 36 mg/kg,下降 27.1%,重金属 Pb 含量为 44 mg/kg,下降 24.1%,重金属 Cr 含量为 26 mg/kg,下降 49%,重金属 Ni 含量为 48 mg/kg,下降 32.4%,重金属 As 含量为 4 mg/kg,下降 83.3%。说明植物对尾矿土中的重金属进行吸附,对尾矿库中重金属含量有修复作用。

### 参考文献

- [1] 常前发. 我国矿山尾矿综合利用和减排的新进展 [J]. 金属矿山, 2010, 39 (3): 1-5.
- [2] 郝喆, 徐连满, 毛伟伟, 等. 矿山生态退化区修复治理关键技术研究 [M]. 沈阳: 辽宁大学出版社, 2019.
- [3] 郝喆, 陈殿强, 侯永莉. 尾矿库加高扩容稳定性及监测

- 技术研究 [M]. 沈阳: 东北大学出版社, 2018.
- [4] 许志中, 张海峰. 歪头山铁矿上盘排土场稳定性研究 [J]. 矿业工程, 2007 (1): 12-15.
- [5] 程程, 周威, 王晓冰, 等. 不同树龄国槐光合特性和抗氧化酶活性比较研究 [J]. 西北林学院学报, 2018, 33 (3): 7-13.
- [6] 刘蕊. Pb、Zn 复合胁迫对台湾泡桐生长及生理指标的影响 [J]. 安徽农业科学, 2013, 41 (18): 7890.
- [7] 吴启明. 重金属矿山废弃地生态恢复新技术的应用 [J]. 铜业工程, 2018 (6): 17-19+40.
- [8] 敬路淮, 陈晓明, 肖伟, 等. 黑麦草修复重金属污染土壤与废水及富集植物的微生物降解 [J]. 环境工程学报, 2019, 13 (6): 1449-1456.
- [9] 董家华. 土壤植物多样性在重金属矿山生态恢复中的作用 [C]. 中国环境科学学会 (Chinese Society for Environmental Sciences). 2019 中国环境科学学会科学技术年会论文集 (第三卷). 中国环境科学学会 (Chinese Society for Environmental Sciences): 中国环境科学学会, 2019; 604-610.
- [10] 于广明, 宋传旺, 潘永战, 等. 尾矿坝安全研究的国外新进展及我国的现状和发展态势 [J]. 岩石力学与工程学报, 2014, 33 (S1): 3238-3248.
- [11] Petra Zústřerová, Niemiec D, Marschalko M, et al. Analysis the purposes of land use planning on the hard coal tailing dumps [C]. Earth and Environmental Science, 2016.
- [12] 李子敬. 唐山迁安铁尾矿沙棘林生物量及其生长特性的研究 [D]. 河北农业大学, 2008: 2-5.
- [13] Zijian W, Xiaofu W, Zhihui Y, et al. Internal energy ratios as ecological indicators for description of the phytoremediation process on a manganese tailing site [J]. Ecological Modelling, 2018, 374: 14-21.
- [14] 孙晨, 程一松, 王兴明, 等. 植被恢复对露天铁矿排土场土壤理化性质及重金属污染特征的影响 [J]. 现代矿业, 2017 (4): 218-220.
- [15] 邓惠静, 李运舟. 本钢歪头山铁矿迹地植被恢复的研究 [J]. 辽宁科技学院学报, 2013, 15 (3): 40-42.