



移动扫码阅读

景爽,陈娜,郝喆,等.螯合剂修复对尾矿土壤性质和紫穗槐生长影响及其相关性分析[J].能源环境保护, 2021, 35(2):30-36.

JING Shuang, CHEN Na, HAO Zhe, et al. Effect of chelating agents on properties of tailing soil and growth of amorpha fruticosa and the correlation analysis[J]. Energy Environmental Protection, 2021, 35(2):30-36.

螯合剂修复对尾矿土壤性质和紫穗槐 生长影响及其相关性分析

景爽¹, 陈娜¹, 郝喆^{1,*}, 滕达², 王晓明²

(1. 辽宁大学环境学院, 辽宁 沈阳 110036; 2. 辽宁有色勘察研究院有限责任公司, 辽宁 沈阳 110013)

摘要:针对不同螯合剂配比修复措施对尾矿土壤综合性质、植物生长指标的影响及二者相关性, 采用 IDS、EDTA 2 种螯合剂-紫穗槐联合修复尾矿土重金属进行盆栽试验。结果表明:(1)紫穗槐在不同的螯合剂配比改良处理措施下的株高、主根长、根茎均呈现先减后增的变化趋势, 单独加入 EDTA 比单独加入 IDS 的抑制作用强, 适当调整 IDS、EDTA 的混合处理配比可促进植物生长。(2)单一的 IDS 对电导率有抑制作用, 而 IDS 与 EDTA 混合处理、单一的 EDTA 对电导率有促进作用。(3)对照组(用水培养)Cu 含量最高, 单一的 IDS 对 Cu 含量有明显促进作用, 无论是单因素处理还是 IDS、EDTA 的混合处理对 Pb、Zn 含量均有抑制作用。(4)土壤有机质含量与植物生长指标呈负相关, 而电导率与植物生长指标呈正相关, 土壤电导率与植物的根茎相关性极高, 土壤 pH 值与植物生长指标的负相关性不大。(5)植物生长指标与 Cu 含量、Zn 含量有着较高的正相关性, 而 Pb 含量的高低对植物生长指标影响不太明显。

关键词:螯合剂-紫穗槐联合修复; 土壤理化性质; 土壤重金属; 植物生长指标; 尾矿土壤; 相关性

中图分类号:X53

文献标识码:A

文章编号:1006-8759(2021)02-0030-07

Effect of chelating agents on properties of tailing soil and growth of amorpha fruticosa and the correlation analysis

JING Shuang¹, CHEN Na¹, HAO Zhe^{1,*}, TENG Da², WANG Xiaoming²

(1. College of Environmental Sciences, Liaoning University, Shenyang 110036, China; 2. Nonferrous Geological Exploration and Research Institute Limited Liability Company, Shenyang 110013, China)

Abstract: In view of the effects of different chelating agent ratios on tailings soil properties, plant growth indexes and their correlation, a pot experiment was carried out by using IDS and EDTA chelating agents combined with *Afrua pseudoacacia* to remediate heavy metals in tailings soil. The results show that the plant height, main root length and rhizome of *Amorpha fruticosa* decrease first and then increase under different chelating agents ratios. The inhibition effect of EDTA alone is stronger than that of IDS alone, and appropriately adjusting the mixing ratio of IDS and EDTA can promote plant growth. Single IDS can inhibit the conductivity, while single EDTA, or IDS mixed with EDTA can promote the conductivity. The Cu content is the highest in the control group (water culture). The single IDS significantly promotes the Cu content, and either single factor treatment or the mixed treatment of IDS and EDTA inhibit the contents of Pb and Zn. Soil organic matter content is negatively correlated with plant

收稿日期: 2021-01-25; 责任编辑: 金丽丽

基金项目: 辽宁省自然科学基金项目(20180550192); 辽宁省科技计划项目(2019JH8/10300107); 辽宁省百千万人才资助项目(辽百千万立项[2015]33号) 辽宁省科技计划项目(2020JH2/10300100)

第一作者简介: 景爽(1998-), 女, 辽宁大连人, 硕士研究生, 主要从事矿山环境治理领域的研究工作。

通讯作者简介: 郝喆(1972-), 男, 辽宁沈阳人, 教授, 主要从事矿山环境治理领域的研究工作。E-mail: haozhe2004@163.com

growth indexes, while electrical conductivity is positively correlated with plant growth indexes. Soil electrical conductivity is highly correlated with plant rhizome. There was no significant negative correlation between soil pH and plant growth index. The plant growth index has a high positive correlation with the content of Cu and Zn, but the influence of Pb content on the plant growth index is not obvious.

Key Words: The chelating agent - amorphia fruticosa combined repair; Physical and chemical properties of soil; Heavy metals in soil; Plant growth index; Tailing soil; Correlation

0 引言

近年来,尾矿库生态修复和治理一直是人们密切关注的重点。尾矿库生态修复后的土壤综合质量主要体现在土壤理化性质和重金属污染指标,这些指标和植物生长状况之间存在着密切的相关性。螯合剂能很好地激发土壤重金属,提升土壤修复效能,具有良好的发展前景。

国内外学者在螯合剂修复土壤方面展开了相关研究。韩少华、崔锐等从不同方面探究了重金属污染土壤螯合诱导植物修复的研究进展^[1-2]。李晓宝等^[3]将螯合剂单独修复技术与多种联合修复技术进行对比分析,证明联合修复重金属效率要高于螯合剂单独修复重金属效率。杨建伟等^[4]在添加不同螯合剂的情况下,探究出能使香樟幼苗吸收土壤 Pb 的效果最佳的螯合剂是柠檬酸和苹果酸,并且最适宜的质量摩尔浓度为 4 mmol/kg。邓焱等^[5]研究发现尾矿库修复植物对重金属有修复作用,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。Li Di Gao 等^[6]研究了 EDTA 和 EDDS 对芥菜修复 Pb 和 Zn 污染土壤的影响,得出结论 EDTA(乙二胺四乙酸)和 EDDS(乙二胺二琥珀酸)均显著促进了土壤中铅、锌从根向茎部的迁移,且 EDDS 对甘蓝生长的抑制作用强于 EDTA。用 EDTA 对受污染土壤进行修复,可增加可溶性重金属的浓度,可能使其更适合植物吸收。Rachna Bhateria 等^[7]研究了 EDTA 对重金属吸收和向地上可收获植物部分转移的影响,以及它通过不同植物种类从污染土壤中去除重金属的行为。Bradshaw 等^[8]针对可降低重金属效能、改良尾矿理化性质、提供植物生长养分的常见有机物展开了阐述。曹明杰等^[9]开展了刺槐和紫穗槐盆栽试验,发现在相同处理措施下紫穗槐长势更好,更适合作为铁矿排土场生态修复的植物。

目前,螯合剂修复技术尚未在矿山尾矿土壤修复中开展应用;植物修复土壤重金属盆栽实验多采用草本类植物进行实验,灌木植物盆栽试验相对较少;螯合剂-植物联合修复盆栽实验中螯合剂多采用 EDTA、DTPA、NTA 等传统螯合剂,在螯合重金属的同时,会产生沉淀造成二次污染,缺少添加绿色螯合剂修复尾矿土重金属的盆栽试验研究。

本研究采用灌木植物紫穗槐和 EDTA、绿色螯合剂 IDS(亚氨基二琥珀酸)及 EDTA 与 IDS 混合溶液联合修复尾矿土重金属,分析不同螯合剂配比改良处理措施对尾矿土壤综合性质、植物生长指标的影响,以及螯合剂-植物联合修复后的尾矿土壤理化性质、土壤重金属含量与紫穗槐生长指标之间的相关性,为土壤基质改良以及植被恢复提供参考。

1 试验与方法

1.1 试验材料

螯合剂-紫穗槐联合修复尾矿土重金属的盆栽试验在直径 60 cm,高 1 m 的围树桶内进行。每个围树桶进行尾矿基质改良土和纯尾矿土两层填筑,上层 0~40 cm 为基质改良土层(70%尾矿土+30%田土+5%羊粪),下层 40~60 cm 为纯尾矿土填充。

盆栽试验选用市场购买的 50 cm 左右的紫穗槐幼苗,考虑各种环境因素导致死苗影响试验结果,每个围树桶内均栽植 3 棵紫穗槐。

螯合剂采取 EDTA、IDS、EDTA 和 IDS 混合三种螯合剂溶液进行盆栽试验,共设置水、3 mmol/kgIDS、5 mmol/kgIDS、3 mmol/kgEDTA、5 mmol/kgEDTA、3 mmol/kg (IDS + EDTA)、5 mmol/kg (IDS+EDTA)七种不同浓度配比(具体参见表 1),对植物进行根灌,每 15 天施用一次,共培养 3 个月。

表 1 螯合剂配比表
Table 1 Ratio of chelating agent

编号	处理措施	编号	处理措施
I	水	V	5 mmol/kgEDTA
II	3 mmol/kgIDS	VI	3 mmol/kg(IDS+EDTA)
III	5 mmol/kgIDS	VII	5 mmol/kg(IDS+EDTA)
IV	3 mmol/kgEDTA		

1.2 样品采集与处理方法 试验后,对各国树板内紫穗槐根、茎、叶及土样进行
螯合剂-紫穗槐联合修复尾矿土重金属盆栽 行取样和处理,具体内容详见表 2。

表 2 样品采集与处理方法
Table 2 Sample collection and treatment methods

采样名称	土样	紫穗槐
样品采集方法	利用土钻取样器对围树板内土壤进行取样,将采集到的样品按照根长将根系所在层的土样进行混合均匀后装入密封塑料袋编号,标明样品信息。	每个围树板内的紫穗槐植物分根、茎、叶三部分进行采样,密封包装编号后标明样品信息如采样人,采样日期等,送至实验室以对样品植物的株高、根茎、主根长等植物生长状态进行检测。
样品处理方法	根据植物根长,将土壤根系所在层的土样进行混合均匀后放置于风干室中进行自然风干(不可加热或阳光直射),将风干后的样品用木棒敲碎,并于模板上用木棒尽量碾碎,挑出石子、砂砾和动植物残骸,过 20 目尼龙筛,混匀后过 100 目尼龙筛混匀后置于自封袋中于室温状态下保存以备用于重金属含量的测定。	首先要将植物样品用自来水分别对根、茎、叶进行清洗,清洗后放置于 65 ℃烘箱内进行烘干至恒定质量,再将干燥的样品用打碎机打磨碎,过 20 目、100 目筛后混匀置于密封袋中以备用 ^[10] 。

1.3 样品检测及分析方法 土壤重金属含量、植物生长指标检测和分析,具体
针对螯合剂-紫穗槐联合修复尾矿土重金属 检测和分析方法见表 3。
的盆栽试验现有样品进行相关的土壤理化性质、

表 3 样品的检测和分析方法
Table 3 Sample detection and analysis methods

样品名称	检测内容	检测方法	分析方法
土壤	Cu、Pb、Zn 重金属含量	《火焰原子吸收光谱法》(GB/T 17138—1997) ^[11]	绘制土样中重金属含量分布图以及土壤理化性质数据图,分析不同螯合剂配比处理措施对土壤中的重金属含量以及理化性质的影响
土壤	pH 值、有机质、电导率	《土壤 pH 值的测定 电位法》(HJ 962—2018) 《土工试验方法标准第八章 灼失量法》(GB/T 50123—1999) 《土壤 电导率的测定电极法》(HJ 802—2016)	绘制紫穗槐生长状态图,分析不同螯合剂配比处理措施下的紫穗槐生长指标
植物样	株高、根径、主根长	量尺、游标卡尺直接测量法	

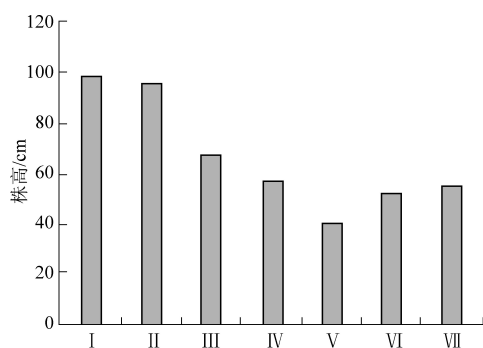
2 结果与讨论

2.1 螯合剂-紫穗槐联合修复对植物生长指标的影响

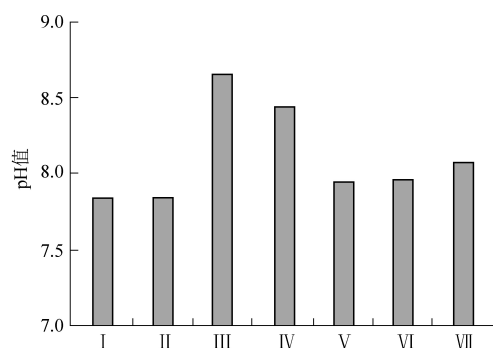
螯合剂-植物联合修复尾矿土实验旨在既能满足修复尾矿土重金属效果,又能使植物良好生长,螯合剂的种类及施入浓度均影响植物的生长^[12-15]。紫穗槐在不同的螯合剂配比处理措施下的株高、主根长、根茎见图 1。

紫穗槐在不同的螯合剂配比处理措施下的株高、主根长、根茎大体都呈现出先减少后增高的相同变化趋势。不难看出,在对照组(只添加水时)

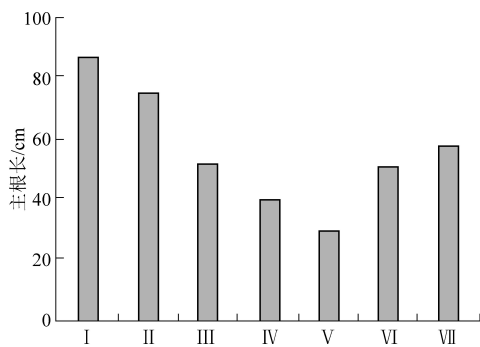
株高与主根长都具有最大值,但在单因素处理措施下即分别单独添加 IDS 和 EDTA 时,株高、主根长、根茎三者都呈现出明显的下降趋势,且浓度越大下降的就越多,但是同样浓度用量下 IDS 的株高、主根长、根茎均比添加 EDTA 的高一些,说明 IDS 和 EDTA 对植物生长均具有抑制作用且 EDTA 的抑制作用强于 IDS;在 IDS 和 EDTA 复合处理措施下紫穗槐的株高、主根长、根茎三者都呈现出明显的上升趋势,随着混合添加浓度的增大,紫穗槐的株高、主根长、根茎数值也越高,说明 IDS 和 EDTA 的复合处理对植物生长具有促进作用且混合浓度越大促进作用越强。



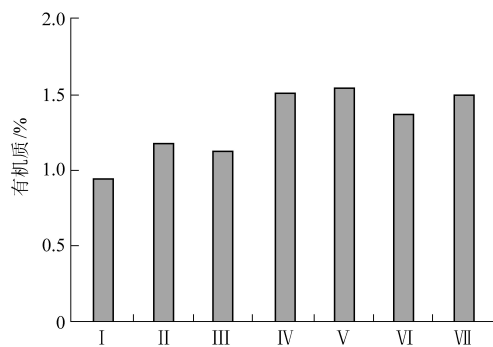
(a) 不同螯合剂配比下的株高



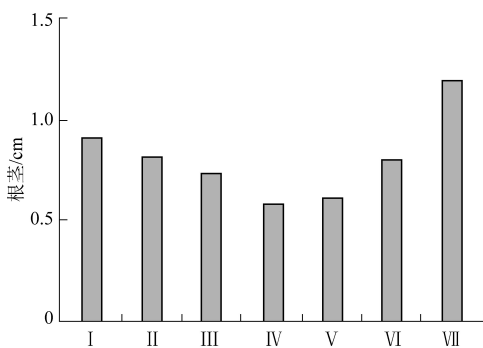
(a) 不同螯合剂配比下的pH值



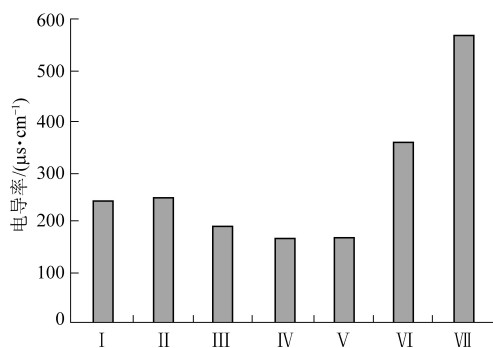
(b) 不同螯合剂配比下的主根长



(b) 不同螯合剂配比下的有机质



(c) 不同螯合剂配比下的根茎



(c) 不同螯合剂配比下的电导率

图1 不同螯合剂配比处理下的紫穗槐生长指标

Fig.1 Growth index of amorpha fruticosa under different chelating agent ratio

2.2 螯合剂-紫穗槐联合修复对土壤综合性质的影响

2.2.1 螯合剂-紫穗槐联合修复对土壤理化性质的影响

紫穗槐在不同的螯合剂配比处理措施下的pH值、有机质、电导率见图2。

在不同的螯合剂配比处理措施下土壤的pH值、有机质、电导率呈现出不同的变化趋势。不难看出,无论是在单因素处理措施下(分别单独添加IDS或EDTA)还是在IDS和EDTA复合处理措施下,pH值、有机质两者都未呈现出明显的上升或者下降趋势,说明IDS和EDTA对于pH值、有机质没有显著的作用;而单独加入IDS时电导率呈

图2 不同螯合剂配比处理下的土壤理化性质指标

Fig.2 Physical and chemical property indexes of soil under different chelating agent ratio

现出明显下降趋势,单独加入EDTA时电导率呈现出明显上升趋势,说明IDS可以抑制电导率而EDTA可以促进电导率,且浓度越增大抑制或者促进效果越显著;在IDS和EDTA复合处理措施下,电导率呈现出明显上升趋势,说明IDS和EDTA的复合处理对电导率具有促进作用且混合浓度越大促进作用越强。

2.2.2 螯合剂-紫穗槐联合修复对土壤重金属含量的影响

紫穗槐在不同的螯合剂配比处理措施下的Cu含量、Pb含量、Zn含量见图3。

在不同的螯合剂配比处理措施下土壤的Cu含量与Pb含量、Zn含量呈现出不同的变化趋势。

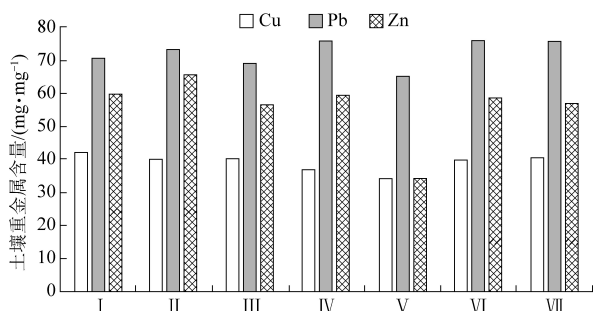


图 3 不同整合剂配比处理下的土壤重金属含量

Fig.3 Heavy metal content of soil under different chelating agent ratios

不难看出,无论是在单因素处理措施下还是在 IDS 和 EDTA 复合处理措施下,Cu、Pb、Zn 含量三者呈现出的上升或者下降趋势均不明显,说明 IDS 和 EDTA 对于 Cu、Pb、Zn 没有显著的作用;对于 Cu 含量在对照组(只添加水)时具有最大值,在分别单独添加 IDS 和 EDTA 时,Cu 含量分别呈现出上

升趋势和下降趋势,在 IDS 和 EDTA 复合处理措施下对比单因素处理呈现出上升趋势且浓度越大增加越多,说明 IDS 可以增加 Cu 含量而 EDTA 对 Cu 含量有抑制作用,IDS 和 EDTA 的复合处理对 Cu 含量具有促进作用且浓度越大促进作用越明显;对于 Pb 含量、Zn 含量在别单独添加 IDS 和 EDTA 时呈现出下降趋势,在 IDS 和 EDTA 复合处理措施下对比单因素处理呈现出上升趋势但随着浓度增大会呈现下降趋势,说明无论是单因素处理还是 IDS 和 EDTA 的复合处理对 Pb 含量、Zn 含量均具有抑制作用且浓度越大抑制作用越明显。

3 土壤综合性质与植物生长指标的相关性分析

3.1 土壤理化性质与植物生长指标相关性

植物生长指标与尾矿土壤理化性质相关性分析结果见图 4。

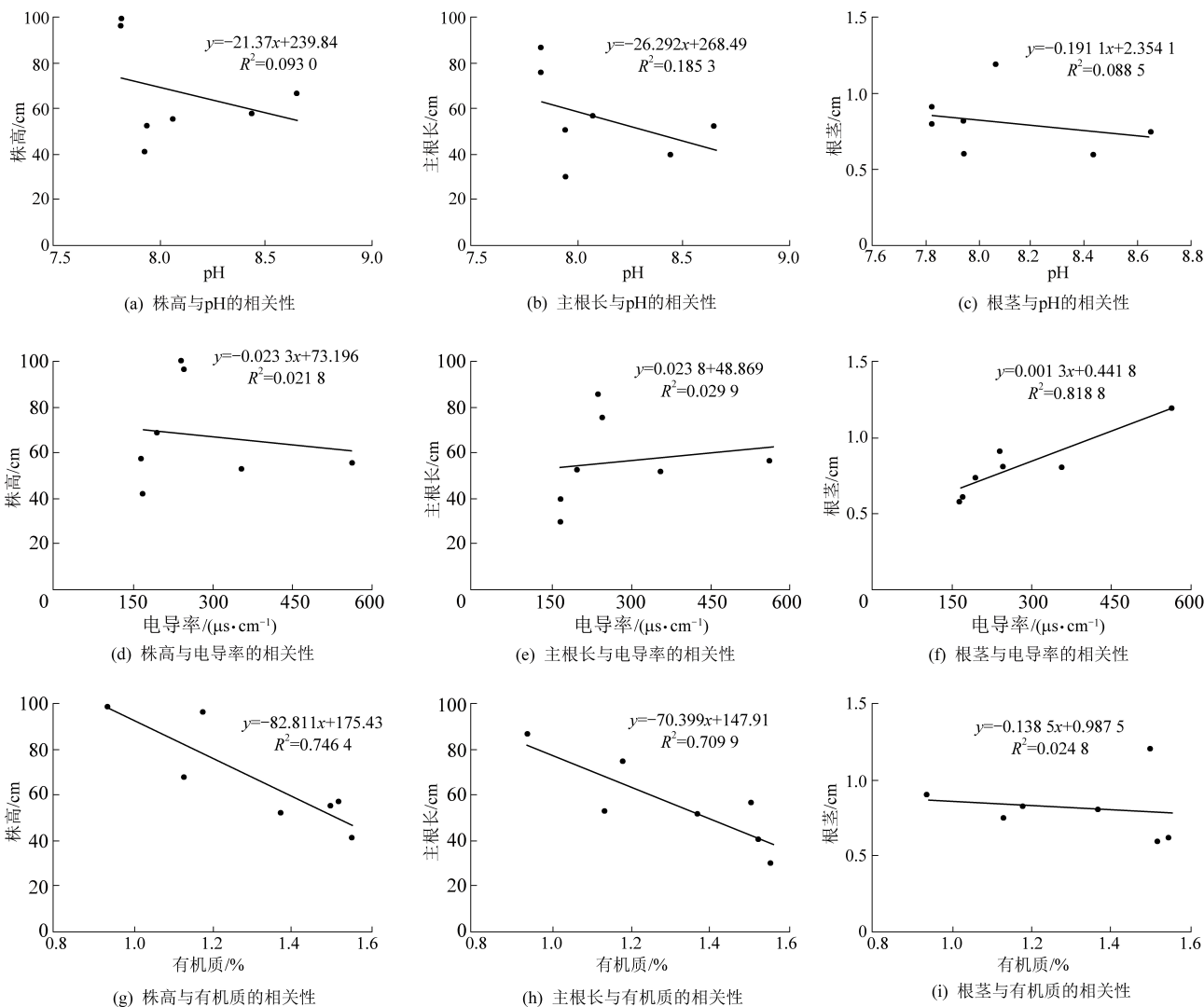


图 4 土壤理化性质与植物生长指标相关性

Fig.4 Correlation between soil physical and chemical properties and plant growth indexes

土壤 pH 值、土壤有机质含量与植物的株高、根茎、主根长总体都呈现负相关性,且土壤有机质与植物的株高、主根长的负相关性较高,这是由于土壤有机质过高会造成土壤中的碳氮比例失衡而影响植物的生长,进而抑制植物的株高、主根长的生长。电导率与植物生长状态大体呈正相关,土

壤电导率与植物的根茎相关性极高,说明有机质量越大,植物生长越差,电导率越高,植物生长越好。

3.2 土壤重金属含量与植物生长指标相关性

植物生长指标与尾矿土壤重金属含量两者关系见图 5。

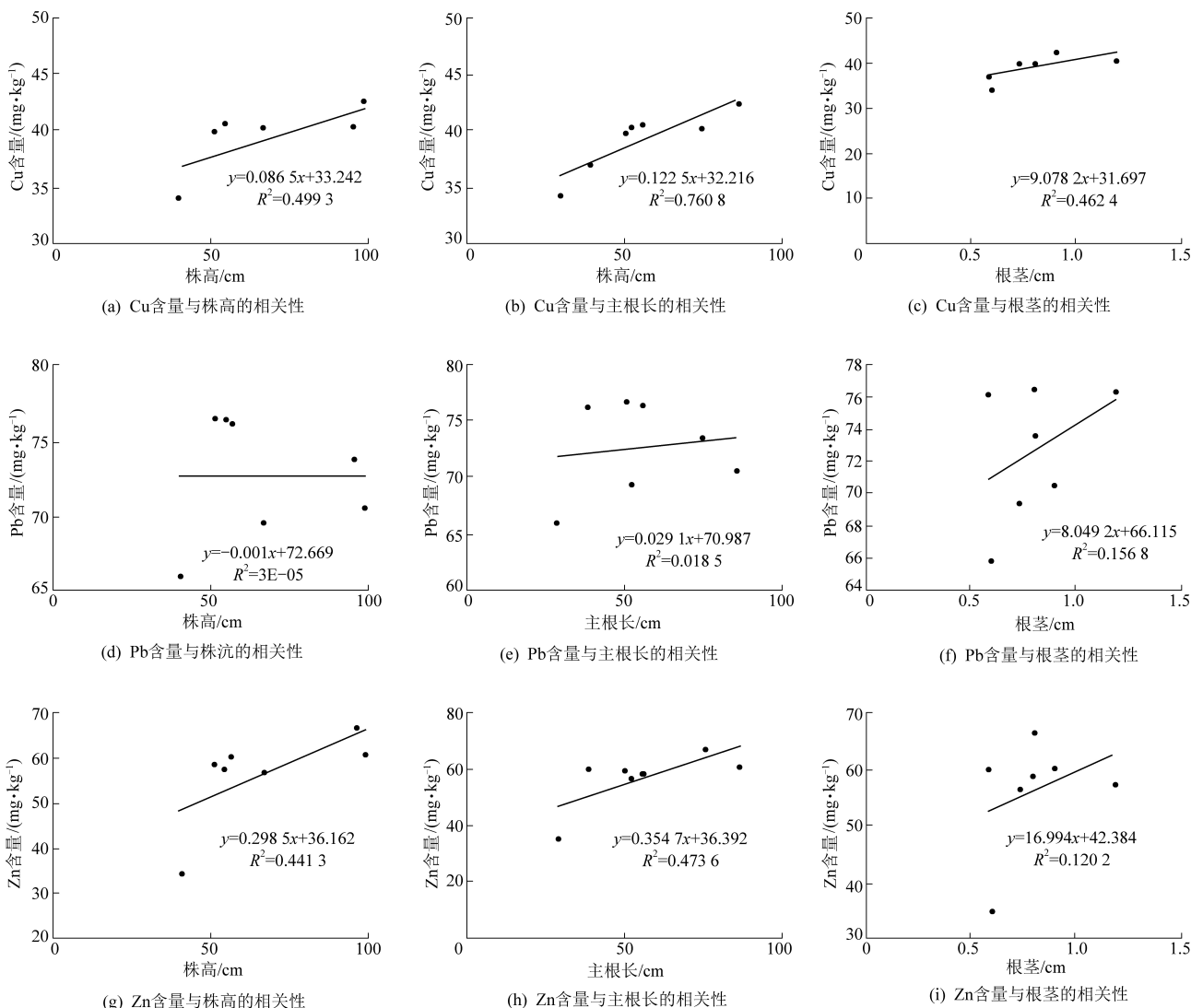


图5 土壤重金属含量与植物生长指标相关性

Fig.5 Correlation between soil heavy metal content and plant growth indexes

大体上看,植物生长指标与土壤重金属含量呈正相关,植物生长指标与 Cu 含量、Zn 含量有着较高的正相关性,这是由于 Cu、Zn 是植物生长所必须的微量元素,对植物生长起到促进作用,说明 Cu 含量、Zn 含量越高,植物生长越好,而与 Pb 含量的相关性极低,Pb 含量的高低对植物生长指标影响不太明显。Pb 不是植物生长发育所必须的元素,当被动进入植物根、叶片后会积累在植物根、茎影响植物有丝分裂速度,使植物生长缓慢。

4 结论

添加 EDTA 和 IDS 两种螯合剂不同配比对尾矿土壤进行修复,研究螯合剂对尾矿土壤性质及紫穗槐生长影响及其相关性,主要结论如下:

(1)紫穗槐在不同的螯合剂配比处理措施下的株高、主根长、根茎大体都呈现出先减少后增高的相同变化趋势。在对照组(只添加水)时株高与主根长都具有最大值,单因素处理措施下即分别单独加入 IDS 和 EDTA 对植物生长均具有抑制作

用且 EDTA 的抑制作用强于 IDS;在 IDS 和 EDTA 复合处理措施下紫穗槐的株高、主根长、根茎三者都呈现出明显的上升趋势,说明 IDS 和 EDTA 的复合处理对植物生长具有促进作用且混合浓度越大促进作用越强。所以适当调整 IDS 和 EDTA 的复合处理配比可以促进植物生长。

(2)在不同的螯合剂配比处理措施下土壤的 pH 值、有机质、电导率呈现出不同的变化趋势。无论是在单因素处理措施下还是在 IDS 和 EDTA 复合处理措施下,IDS 和 EDTA 对于 pH 值、有机质没有显著的作用;单因素处理下单独加入 IDS 对电导率具有抑制作用而单因素处理下单独加入 EDTA 对电导率具有促进作用,IDS 和 EDTA 的复合处理对电导率具有促进作用且混合浓度越大促进作用越强。

(3)在不同的螯合剂配比处理措施下土壤的 Cu 含量与 Pb 含量、Zn 含量呈现出不同的变化趋势。单因素处理下即分别单独加入 IDS 和 EDTA 对于 Cu 含量、Pb 含量、Zn 含量没有特别显著的作用;对于 Cu 含量在对照组(只添加水)时具有最大值,单因素处理下单独加入 IDS 对 Cu 含量具有促进作用而 EDTA 对 Cu 含量具有抑制作用,IDS 和 EDTA 的复合处理对 Cu 含量具有促进作用且浓度越大促进作用越明显;无论是单因素处理还是 IDS 和 EDTA 的复合处理对 Pb 含量、Zn 含量均具有抑制作用且浓度越大抑制作用越明显。

(4)土壤有机质含量、PH 值两者与植物生长指标大体呈负相关,而电导率与植物生长状态呈正相关,土壤有机质与植物的株高、主根长有极高的负相关性,土壤电导率与植物的根茎相关性极高,土壤 pH 值与植物的株高、根茎、主根长呈现负相关性,但相关性不大;说明有机质量越大,植物生长越差,电导率越高,植物生长越好。

(5)植物生长指标与 Cu 含量、Zn 含量有着较高的正相关性,而与 Pb 含量的相关性极低,说明 Cu 含量、Zn 含量越高,植物生长越好,而 Pb 含量的高低对植物生长指标影响不太明显。

参考文献

- [1] 韩少华,唐浩,黄沈发. 重金属污染土壤整合诱导植物修复研究进展 [J]. 环境科学与技术, 2011, 34 (S1): 157-163.
- [2] 崔锐,吕伟明,刘广明,等. 重金属污染土壤的整合诱导植物修复技术研究进展 [J]. 农业环境与发展, 2009, 26 (2): 69-73.
- [3] 李晓宝,董焕焕,任丽霞,等. 螯合剂修复重金属污染土壤联合技术研究进展 [J]. 环境科学研究, 2019, 32 (12): 1993-2000.
- [4] 杨建伟,杜瑞卿,夏敏,等. 3 种螯合剂对铅胁迫下香樟幼苗生长及铅富集的影响 [J]. 东北林业大学学报, 2020, 48 (1): 1-8.
- [5] 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 [J]. 能源环境保护, 2020, 34 (1): 8-14.
- [6] Li Di Gao, Naoki Kano, Yuichi Sato, et al. Effect of EDTA and EDDS on phytoremediation of Pb- and Zn- contaminated soil by Brassica Juncea [J]. Advanced Materials Research, 2012: 13-19.
- [7] Rachna Bhateria, Snehlata. Phytoremediation of heavy metals-enhanced by EDTA: A review [J]. International Journal of Earth Sciences and Engineering, 2016, 9 (4): 76-88.
- [8] Bradshaw A. D, Chadwick M. J. The restoration of land: The ecology and reclamation of derelict and degraded land [M]. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1980: 317.
- [9] 曹明杰,郝喆,周素航. 铁尾矿基质改良对典型乔灌草生长影响的实验研究 [J]. 能源环境保护, 2019, 33 (2): 33-36.
- [10] 江桂斌. 环境样品前处理技术 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2004: 431-432+456.
- [11] HJ 491—2019. 土壤和沉积物铜、锌、铅、镍、铬的测定火焰原子吸收分光光度法 [S].
- [12] 陈良华,徐睿,张健,等. 螯合剂对香樟生理特征和镉积累效率的影响 [J]. 云南大学学报(自然科学版), 2016, 38 (1): 150-161.
- [13] 宋清玉. 螯合剂对紫穗槐和栎树幼苗修复铅污染土壤的影响 [D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2017: 21-26.
- [14] 奉献. 整合诱导植物修复锰矿尾矿重金属污染土壤的研究 [D]. 长沙: 湖南大学, 2014: 116-124.
- [15] 李平,王兴祥,郎漫,等. 改良剂对 Cu、Cd 污染土壤重金属形态转化的影响 [J]. 中国环境科学, 2012, 32 (7): 1241-1249.