

5 种豆科植物对铜尾矿的适应性研究

田胜尼^{1,2}, 刘登义³, 彭少麟^{1,5*}, 孙庆业⁴, 夏汉平¹

(1. 中国科学院华南植物研究所, 广州 510650; 2. 安徽农业大学生命科学学院, 合肥 230036; 3. 安徽师范大学生命科学学院, 芜湖 241000; 4. 南京大学生命科学学院, 南京 218000; 5. 中山大学生命科学学院, 广州 510275)

摘要:针对铜陵市铜尾矿废弃地的复垦, 选用了 5 种豆科植物在 5 种不同的改良方式上进行盆栽试验研究, 5 种供试物种为: 大豆 (*Glycine max*)、赤豆 (*Phaseolus angularis*)、赤小豆 (*P. calcaratus*)、绿豆 (*P. radiatus*)、山绿豆 (*P. mininus*)。研究结果发现, 抑制植物生长的主要因素是尾矿基质极端贫瘠, 重金属铜含量过高的缘故; 5 种豆科植物在 5 种改良方式上均可以萌发, 但在基质上尾矿所占的比例越高, 种子的萌发越晚; 间苗后, 供试物种大豆、赤豆和赤小豆植株全部成活, 另外 2 种因不适应尾矿, 有死亡现象。在同一改良方式中, 第 50 天时, 大豆及赤小豆叶片中叶绿素的含量比其它 3 种高; 第 70 天时, 大豆及赤小豆的株高及生物量也高出另外 3 种供试物种。综合生长期各方面生物学指标, 5 种豆科植物中, 大豆和赤小豆比其它 3 种植物具有较强的耐性, TA75 的改良方式比较合理, 可用于尾矿的复垦。

关键词:铜尾矿; 基质改良; 豆科乡土植物; 复垦

中图分类号: X753 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2004)03-0138-06

Studies on the Adaptation of Five Legumes Species to Copper Tailings

TIAN Sheng-ni^{1,2}, LIU Deng-yi³, PENG Shao-lin^{1,5}, SUN Qing-ye⁴, XIA Han-ping¹

(1. South China Institute of Botany, CAS, Guangzhou 510650, China; 2. School of Life Sciences, Anhui Agricultural University, Hefei 230036; 3. School of Life Sciences, Anhui Normal University, Wuhu 241000; 4. School of Life Sciences, Nanjin University, Nanjin 218000; 5. School of Life Sciences, Zhongshan University, Guangzhou 510275)

Abstract: Pot experiments with five legumes were conducted in five different amendment substrates for the reclamation of copper tailings in Tongling, Anhui province. The five tested legumes species are *Glycine max*, *Phaseolus angularis*, *P. calcaratus*, *P. radiatus*, *P. mininus*. The results showed that the main factors to restrict growing of the vegetation are poor nutrient and high concentration of Cu. The seeds of the legumes species could germinate, but they germinated later in the substrates with higher proportion of copper tailings than in the substrates with lower proportion of copper tailings. After clipping, *G. max*, *P. angularis*, *P. calcaratus*, *P. radiatus* were alive all the time, but some of the other two legumes species were dead because of the their non-adaptation to the copper tailings. At the same amendment group, the chlorophyll contents of *G. max* and *P. calcaratus* were higher than that of other three experimental species on the 50th day. The height and the biomass of *G. max* and *P. calcaratus* were higher than that of other three experimental species on the 70th day too. According to the biological characteristics of the five species during the growth periods about indexes of the seeding survival, chlorophyll content, height and biomass, *G. max* and *P. calcaratus* are more adaptive and tolerant than the other legumes and the TA75 amendment approach is the more reasonable for the reclamation of copper tailings.

Key words: copper tailings; substrate amendment; local leguminous plant; reclamation

铜尾矿 (Copper tailings), 又称铜尾沙, 是矿业部门在开采过程中, 将矿石经粉碎、浮选中矿、精矿铜后产生大量的固体粉末。这些尾矿除少量作为旧矿井的填充料之外, 其余绝大多数还以填充洼地或筑坝堆放的方式储存^[1]。堆置的铜尾矿不仅占用了大量土地, 而且覆盖了原有的植被, 生态系统遭到破坏^[1]。尾矿因其特殊的理化性质, 重金属含量特别高, 植物很难在尾矿上自然生长。同时尾矿因随风飞扬、雨水流失, 对周边地区的居民生活环境造成污染^[2,3]。

在尾矿的治理过程中, 植被重建是尾矿治理的最好方式, 复垦的关键在于基质的改良和耐性的选择^[4~7]。物种的选择应强调物种对基质的适应性和

物种对基质的改良效果, 因此具有固氮能力的豆科植物应作为优先选择的对象^[1,2,7~10]。铜陵市位于安徽南部, 地处长江中下游南岸, 该市现有大型的尾矿(场): 五公里尾矿场、黑沙河尾矿场、铜官山尾矿库、狮子山尾矿库, 累计占地面积 578.8 hm²。本文针对铜陵铜尾矿废弃地的复垦, 选用 5 种豆科植物, 在 5 种不同的改良方式进行试验研究, 寻求豆科植物对铜尾矿基质的耐性或适应性以及不同的改良方式

收稿日期: 2003-08-11; 修订日期: 2003-11-17

基金项目: 国家自然科学基金项目(30170147, 30270282); 广东省团队基金项目(003031); 安徽省高校优秀青年教师基金及安徽农业大学校青年基金资助项目

作者简介: 田胜尼(1971 年~), 男, 安徽枞阳县人, 博士生, 主要从事植物生态与恢复生态学研究。

* 通讯作者

对豆科植物生长有何改良效果,为尾矿废弃地的复垦实践提供理论依据和实践经验.

1 材料与方法

本试验采用的种子为大豆(*Glycine max*)、赤豆(*Phaseolus angularis*)、赤小豆(*P. calcaratus*)、绿豆(*P. radiatus*)、山绿豆(*P. mininus*)、大豆、赤豆、绿豆种子购于铜陵市种子公司,赤小豆和山绿豆种子采集于芜湖市范罗山铁矿废弃地.

1.1 盆栽改良试验

盆栽所用的尾矿采集于铜陵五公里尾矿场未复垦区域,对照用的土壤采自安徽师范大学生命科学学院植物园,土壤类型为黄红壤,二者自然风干,研碎过 60 目筛备用.

将尾矿与土壤按体积比以 TA100(100 %尾矿)、TA75(75 %尾矿 + 25 %土壤)、TA50(50 %尾矿 + 50 %土壤)、TA25(25 %尾矿 + 75 %尾矿)和 TA00(100 %土壤)方式充分混合,装入直径为 15cm,深为 20cm 的盆钵中,每盆约 2.0kg,每种改良方式 15 盆,共 75 盆.

实验时间为 2000-04-23,将 5 种豆科植物的种子用 5 %的次氯酸钠溶液浸泡 10 min,然后用自来水冲洗数次后再用蒸馏水冲洗 3 次,挑去有虫蚀、裂口或成熟低度的种子,置于 40 ℃的温水中浸泡,在室温下让其自然冷却后,播种于盆钵中,每盆 15 粒种子,每种设置 3 个重复.实验地点在安徽师范大学生命科学学院植物园进行,定期浇水,记录种子萌发率、各时期株高,测定叶绿素含量.生长至第 70 天时,将各盆移到室内,小心倒盆,用自来水和蒸馏水冲洗,晾干,然后在 80 ℃的烘箱中烘 24h,称其干重及供测定植物体内重金属元素含量用^[7,8].

1.2 分析测试方法

pH 值:水土比 2.5:1 浸提,pH-3C 酸度计测

定^[11];EC 值:水土比 1:1 浸提,DDS-11 型电导率仪测定^[11];有机质:由于尾矿中含有大量的硫元素,不能直接用重铬酸钾容量外加热法,改用腐殖质总碳的方法测定^[5];TN:凯氏定 N 法^[11];TP: H₂SO₄-HClO₄ 溶解,钼锑抗比色法测定^[12];TK、有效 K:火焰分光光度计测定^[12];TCu:硝酸高氯酸消化, WFX-IF2 原子吸收分光光度计测定;速效 Cu: DPTA 浸提, WFX-IF2 原子吸收分光光度计测定^[12].

2 结果与分析

2.1 尾矿基质的理化性质

尾矿的理化性质不仅与矿石中所含的矿物质有关,而且与矿石的粉碎、提取方法、排放的时间等因素有关^[5].不同地区的尾矿其理化性质各有不同,即使是同一种金属尾矿,由于矿石成分及选矿工艺的差异,其理化性质也存在一定差异.表 1 为铜陵铜尾矿及尾矿与土壤按照 100:00、75:25、50:50、25:75 和 00:100 的 5 种方式组合而成的理化性质.

本试验用的尾矿采集于铜陵市五公里尾矿场未复垦处,排放停滞时间约为 6a.从表 1 中可以看出,对于排放停滞时间短的铜尾矿,略呈碱性,pH 值为 8.27,与土壤混合后,基质的 pH 值逐渐趋向中性.但铜尾矿常含有硫的化合物,选铜时尚未提取,直接排放到库区.在自然环境条件下,随着堆放时间过长,往往会发生氧化酸化,其 pH 值下降,有时达到 2.8 左右^[5],会造成对植物生长定居更为不利的恶劣环境.基质中电导率也表现如 pH 值相似的规律,未混合改良,EC 值达到 $3.6 \times 10^2 \mu\text{m}/\text{cm}$,从 TA100 到 TA00 组 EC 值逐渐降低,这说明尾矿中含有过高的可溶性的金属离子.与土壤混合后,随着尾矿在混合基质比例的下降,其 EC 值逐渐下降,这对基质的可溶性重金属离子起到缓和作用.EC 值很高,说明尾矿中含有一些可溶性的矿质元素,对新排放的

表 1 盆栽基质 5 种改良尾矿的理化性质¹⁾

Table 1 The physio-chemical properties of the five amendment substrates of the copper tailings in the pot trail

组别 Group	pH 值 pH value	EC 值($\times 10^2 \mu\text{m}/\text{cm}$) Electrical conductibility	有机质 Organic matter / $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	全 N Total N / $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	全 P Total P / $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	速效 P Available P / $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	全 K Total K / $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	速效 K Available K / $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	全 Cu Total Cu / $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	速效铜 Available Cu / $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$
TA100	8.27	3.6	3.489	0	4.290	3.208	2.153	13.328	872.270	0.198
TA75	8.16	3.1	6.970	0	4.237	4.121	2.619	33.134	557.637	3.797
TA50	8.15	3.0	7.36	0.0078	4.142	5.846	5.975	34.106	379.772	6.787
TA25	8.05	2.5	9.04	0.1089	3.084	10.693	5.222	63.760	280.265	10.774
TA00	7.50	0.82	14.17	0.506	3.729	20.442	9.253	104.060	88.883	23.770

1) TP 的含量以 P₂O₅ 计,TK 的含量以 K₂O 计.

尾矿而言,主要含有 Cu、Pb、Zn、Cd 等重金属元素,对植物生长产生毒害作用。

有机质、TN、TP、TK、速效 P、速效 K 等是植物生长所需的营养成份,从表 1 中可以看出,铜尾矿中的有机质含量很低,不能满足植物体正常生长的需要。特别是 N,含量难以测出。与土壤混合后,随着尾矿在基质中所含比例的下降,有机质、TN、TK、速效 P、速效 K 的含量有所升高。采自植物园的 TA00 土样位于荒地,营养成份也表现为不高。铜尾矿中铜的含量高达 872.270 mg/kg,对植物生长产生毒害作用,是铜尾矿上植物生长定居抑制的最主要因素。从表 1 中可以看出,尽管全铜含量很高,但有效铜的含量较低,如全尾矿中只有 0.198 mg/kg。因此尾矿中的铜基本上以结合态铜的形式存在。

综合铜尾矿的理化性质可以发现,尾矿是一种营养成份贫乏、重金属铜含量极高、不利于植物生长的特殊基质。将尾矿与土壤进行混合改良后,基质理化性质表现为:pH 值、电导率、全铜的含量得到了适当的缓和,有机质等营养成份得到了适当的提高。

2.2 不同改良方式对供试种子萌发和出苗的影响

播种 7d 时,5 种植物种子萌发出土数目如表 2 所示,表中的数据为 3 个重复的平均值。从表 2 中可以看出,在同一改良的方式中,不同物种萌发出土幼苗的数目各不相同,这与各物种的本身特性有关。但在同一物种中,随着尾矿在混合中比例的增加,种子的出苗率逐渐下降,这是因为尾矿的粒经常常在 0.15 mm 以下,当浇水时,微粒之间结合非常紧密,种子萌发所需氧气供给不足,造成种子萌发迟缓。铜

尾矿对 5 种豆科植物种子的萌发产生了阻滞作用,其原因是由于尾矿粒径太小的物理因素所致。在尾矿复垦实践中,为了便于种子萌发,辅以必要松土措施,会加快种子萌发。

表 2 播种第 7 天时 5 种植物种子的萌发数¹⁾

Table 2 Numbers of the germinated seeds for five seedlings species on the 7th day after being sown

组别 Group	大豆 <i>G. max</i>	赤豆 <i>P. angularis</i>	赤小豆 <i>P. calcaratus</i>	绿豆 <i>P. radiatus</i>	山绿豆 <i>P. mininus</i>
TAI00	6.3b	0b	4.3b	6.3b	4.7d
TA75	7.0b	0b	4.7b	6.7b	6.3c
TA50	8.0b	1.0ab	6.0ab	6.3b	6.7b
TA25	11.0a	1.7a	6.3a	7.7a	7.7b
TA00	11.7a	2.0a	7.3a	8.3a	9.3a

1) 表中同列不同字母表示在 0.5 %水平上有显著差异(新复极差法),下同。

表 3 为 5 种豆科植物在 3 个不同时期的出苗数。从第 10d 到第 13d,这一时期为种子萌发出土高峰期。从第 13d 到第 20d 种子萌发、幼苗的出土数目基本趋于稳定。从表 3 中可以得知,在同一改良方式的基质上,在第 10d、第 13d、第 20d 时,5 种豆科植物的种间萌发率有所不同,这可能与物种本身的特性有关。对于同一物种在 5 种改良方式上的基质上,其出苗率之间存在着显著的差异,这说明尾矿基质对供试种子的萌发产生一定的抑制作用。但从第 20d 的数据结果来看,对于同一种豆科植物,在 5 种处理方式中,最后的出苗率近乎相同,这说明豆科植物种子在尾矿基质是可以萌发的,而且受尾矿的影

表 3 第 10、13、20 天时 5 种植物出苗数

Table 3 The seedlings numbers of the five species on the 10th, 13th and 20th day

时间 / d	组别 group	大豆 <i>G. max</i>	赤豆 <i>P. angularis</i>	赤小豆 <i>P. calcaratus</i>	绿豆 <i>P. radiatus</i>	山绿豆 <i>P. mininus</i>
10	TAI00	9.7b	3.7d	6.3c	9.3a	7.7b
	TA75	8.3c	6.3c	8.7a	10.3a	8.3b
	TA50	10.3b	8.0b	7.7b	9.3a	11.0a
	TA25	11.3a	9.7b	9.3a	9.7a	10.0a
	TA00	11.7a	12.0a	7.7b	8.0b	9.7a
13	TAI00	12.3a	10.7c	9.3b	13.3a	11.0ab
	TA75	11.7a	12.0bc	10.3a	12.3a	8.33c
	TA50	12.0a	13.0b	10.7a	9.33c	12.3a
	TA25	12.0a	12.7b	10.7a	11.3b	12.0a
	TA00	12.3a	14.7a	11.3a	9.3c	10.0b
20	TAI00	12.7a	13.0b	10.3b	13.3a	13.0a
	TA75	11.7a	13.0b	10.0b	10.6b	7.0c
	TA50	12.0a	14.0a	11.0a	9.6b	13.3a
	TA25	12.0a	12.7b	10.7a	9.6b	11.7b
	TA00	12.3a	14.7a	12a	9.3b	10.0c

响不大.

2.3 尾矿对 5 种豆科植物幼苗成活的影响

当盆栽植物生长到第 20d 时,将盆中植株进行间苗.间苗的原则是 10 株以上的降为 10 株,10 株以下保持原有的植株不变.在 5 种不同的改良方式基质上,植株成活的情况如图 1 所示.从图 1 可以看

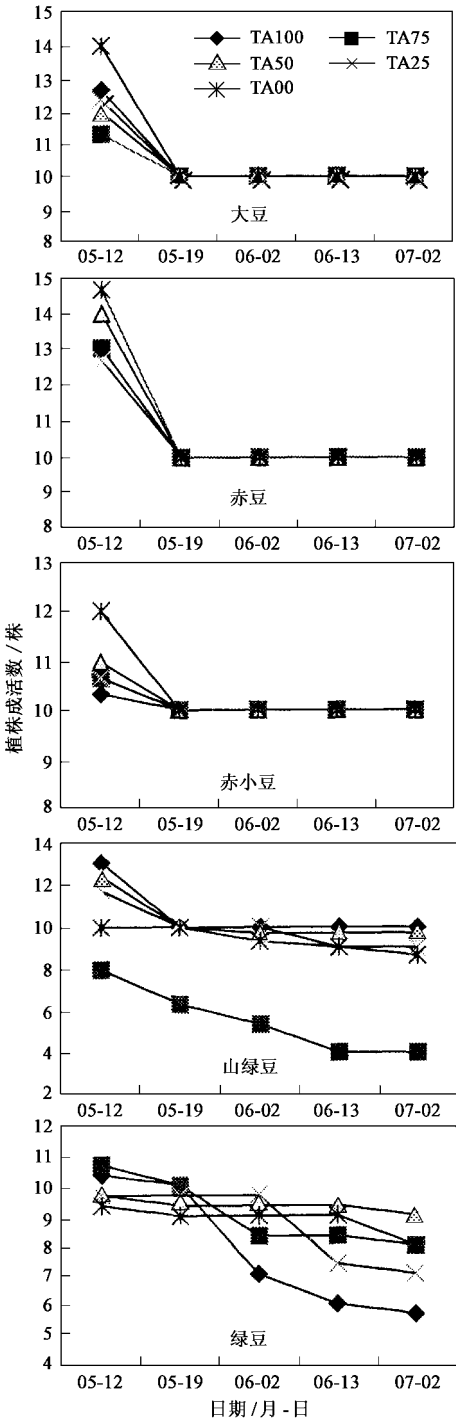


图 1 5 种豆科植物不同时期的植株成活变化

Fig.1 The change of the five legumes species alive at different stages

出,大豆、赤豆、赤小豆在间苗后,从 5 月 12 日到 7 月 3 日期间,每盆中植株完全成活.这表明大豆、赤豆和赤小豆对尾矿基质表现较好的适应性或耐性.绿豆在间苗前各组均出现了一定的死亡,间苗后,在 TA100 组中继续死亡,其死亡率达到了 62.2%.绿豆在全尾矿组或其它各改良组中也出现了不同程度的死亡,这表明绿豆对尾矿基质适应性较差.山绿豆在铁矿废弃地为一优势种群,对铁矿废弃地有较强的适应性.现将山绿豆引种在铜尾矿上进行盆栽研究,结果发现在 5 种改良方式的基质上,均有不同程度的死亡,特别是在 TA75 的基质中,只有一盆成活 4 株,其它 2 盆植物全部死亡.大豆、赤豆和绿豆均为乡土经济作物,赤小豆和山绿豆在铁矿废弃地长势良好,但对铜尾矿基质盆栽成活结果出现死亡现象,因此在尾矿废弃地复垦前,物种选择是必要的.通过 5 种豆科植物在尾矿基质上的成活结果表明,不同物种对尾矿基质的适应性存在着差异.大豆、赤豆、赤小豆有较强的适应性,可用作尾矿的复垦植物.

2.4 尾矿对 5 种豆科植物株高的影响

尾矿复垦目的之一,筛选出一些耐性植物在这种特殊的基质上能够正常萌发、生长、定居,达到一定的盖度,来掩盖这种丑陋的景观,以防止风沙的飞扬和雨水的浸蚀,对周围地区避免产生危害^[13].对同一种植物而言,株高越高其盖度越大,阻止尾矿的风蚀水蚀效果越好.植株死亡后,返回基质的有机质也相应增加.生长在不同的基质上植物在相同生长期,其株高的变化能反映了植物对该种基质的适应性.表 4 为 5 种豆科植物在第 70d 时的株高.表中可以看出,对于同一物种,在 5 种不同的改良方式上,植株的平均高度存在不同的程度的差异.TA100 组全尾矿基质上 5 物种植株高度均与其它 4 个改良组之间发生显著的差异.这说明,植物的高度与尾矿的基质有一定的关系,铜尾矿基质对物种生长产生着抑制作用,尾矿所占比例越高,重金属的毒害也就越明显.在同一改良方式中,除了 TA25 组和 TA00 组赤豆的株高比赤小豆的株高高出外,物种间的株高表现为大豆 > 赤小豆 > 赤豆 > 绿豆 > 山绿豆.综合株高的因素来看,大豆、赤小豆、赤豆对尾矿的适应性比绿豆、山绿豆要强,特别是大豆对尾矿基质表现较强的适应性和耐性.

2.5 尾矿对豆科植物叶绿素的影响

表 5 为 5 种豆科植物在不同的尾矿改良方式的基质上,生长到第 50d 的叶绿素含量.对于同一物种

表 4 5 种豆科植物在不同改良基质第 70 天时株高/cm

Table 4 The height of five leguminous plants in the amended substrates on the 70th day/cm

组别	大豆	赤豆	赤小豆	绿豆	山绿豆
group	<i>G. max</i>	<i>P. angularis</i>	<i>P. calcaratus</i>	<i>P. radiatus</i>	<i>P. mininus</i>
TAI00	42.2c	23.9c	32.6c	14.8c	11.9b
TA75	51.3a	42.8b	45.4b	22.1b	16.0a
TA50	51.2a	46.6a	54.6a	27.2a	15.2a
TA25	50.6a	46.0a	40.4b	24.7ab	16.8a
TA00	46.54b	48.17a	44.0b	27.2a	17.7a

在光照水分等生态因子相同的条件下,影响叶绿素的含量主要是基质的理化性质.从表 5 中可以看出,随着基质中尾矿含量的升高,各物种叶绿素的含量总体呈下降趋势.这表明,尾矿中各种重金属的元素通过根部吸收运输到叶片部分,抑制植物体叶绿素的合成,植物光合作用效率下降.因此对尾矿基质进行适量的改良,有利于提高植物光合作用的效率.在相同的改良方式中,各物种间的叶绿素含量不同,大豆和赤小豆叶绿素的含量较高,山绿豆含量最低,这一方面与物种本身的特性有关,同时也与物种对尾矿基质的适应性和耐性有关.因而要获得良好的复垦效果,对尾矿的改良是必要的.

表 5 第 50 天时各豆科植物叶绿素含量(f_w)/ $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$

Table 5 The chlorophyll contents of each legumes species on the 50th day/ $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$

组别	大豆	赤豆	赤小豆	绿豆	山绿豆
group	<i>G. max</i>	<i>P. angularis</i>	<i>P. calcaratus</i>	<i>P. radiatus</i>	<i>P. mininus</i>
TAI00	1.444c	0.794b	1.314c	0.576c	0.539b
TA75	2.529ab	1.104a	1.316c	0.837b	0.585b
TA50	2.268b	1.121a	1.822a	0.958b	0.436b
TA25	2.617a	0.994ab	1.172c	1.044ab	0.563b
TA00	2.496ab	1.058a	1.416b	1.264a	0.882a

2.6 尾矿对豆科植物生物量的影响

表 6 为 5 种豆科植物生长在尾矿基质上 70d 时植物体单株平均生物量(干重).对于不同的物种而言,在相同的时期内,生物量的差异,一方面与物种本身的特性有关,同时也与植物体对尾矿的适应性有关.对于同一改良方式,5 物种生物量的大小变化关系,除 T25 组赤小豆的生物量比赤豆的生物量小外,总体表现为:大豆>赤小豆>赤豆>绿豆>山绿豆.因此就植物体生物量而言,大豆的生物量一直高于同组其它 4 种植物生物量.在尾矿基质上,大豆具有较好的适应效果,其次为赤小豆.生物量大,植物体的盖度大,复垦的效果就越理想,植物体死亡后,枯枝落叶返回土壤的成份越多,能增加土壤中有机

质含量,基质理化性质得到改善,能进一步缓和尾矿对植物体的生长抑制作用.根据本研究的结果分析,大豆比其它 4 种豆科植物具有较强的耐金属特性,同时也能较好抵制基质贫瘠的不利因素,这为后期尾矿中种子库的萌发提供了合适的环境,植物自然定居的机会增加.在尾矿复垦中,植物的生物量是尾矿复垦效果的重要评价因子之一^[14].从 5 种植物的生物量来看,大豆和赤小豆可供铜尾矿复垦优先选择的物种.

表 6 植物体第 70 天时各组中植物单株平均生物量(干重)¹⁾/g

Table 6 The average biomass of the individual for each of the section on the 70th day (dry weight)/g

组别	大豆	赤豆	赤小豆	绿豆	山绿豆
group	<i>G. max</i>	<i>P. angularis</i>	<i>P. calcaratus</i>	<i>P. radiatus</i>	<i>P. mininus</i>
TAI00	1.2587c	0.4567c	0.7610c	0.2063d	0.1810c
TA75	1.6407ab	0.9217b	1.2130ab	0.6283c	0.3610b ²⁾
TA50	1.7863a	1.1625a	1.2345a	0.9717b	0.4463ab
TA25	1.6980a	1.2343a	1.1044b	0.9680b	0.5040a
TA00	1.6390b	1.3885a	1.4420a	1.9569a	0.5303a

- (1) 表中数据先求出盆中每一植株的生物量几何平均值,再求出 1 号、2 号、3 号盆的算术平均值;
- (2) 山绿豆 TA75 组生物量仅为 TA75 组 3 号盆单株生物量.

同一物种,在 5 种不同的改良方式上,各改良方式间生物量变化趋势也各不相同.表 7 可以得知,对于同一物种不同的改良方式,各种植物生物量,在 TAI00 组即全尾矿的基质上,植株生物量最低,与其它组之间存在着显著差异,见表 7 所示.赤豆、赤小豆、绿豆和山绿豆 TA00 组(即对照组)生物量值最大,有尾矿基质存在的盆中,植物体生物量有不同程度的下降.赤豆和山绿豆随着尾矿所占比例的增加,生物量逐渐降低.大豆在尾矿与土壤比 50:50 基质上生物量最大,表明尾矿与土壤按 1:1 的方式改良,大豆生长适应性较好,能抵制尾矿重金属含量高,营养成份差的基质环境.

3 讨论与结论

- (1) 铜尾矿营养成份含量低,基质极端贫瘠,重金属全铜的含量过高,是限制植物生长的重要因子.
- (2) 通过 5 种豆科植物在 5 种不同的改良方式种子萌发结果来看,制约着种子的萌发或幼苗出土的因素是尾矿透气性等物理因素所致.
- (3) 通过 5 种豆科植物在生长期内的植株成活状况、株高、叶绿素的含量及植物体的生物量来看,5 种豆科植物中,大豆、赤豆和赤小豆,在间苗后期,每

盆植株中没有出现死亡,而绿豆和山绿豆则有不同程度的死亡.5 种供试物种中,农作物大豆和野生植物种赤小豆在株高、叶绿素的含量及生物量指标优于其它 3 种供试植物,因而可作为尾矿复垦的优先选择的对象.

(4)通过 5 种豆科植物的生长情况来看,尾矿基质中含有较高的重金属成份,抑制植物体正常生长.综合 5 种不同豆科植物在 70d 的生长期成活、株高、植物体内的叶绿素的含量及生物量来看,TA75 的改良方式,不仅能有效地缓和尾矿重金属的毒害,生物量等指标也高出其它改良组指标.TA50 组改良方式,虽然改良效果较好,但在实践中工作量较大,费用较高.在铜尾矿复垦实践中,笔者建议采用 TA75 的改良方式,操作简单易行,经济有效.

参考文献:

- [1] 格尔默著,倪彭年等译.工业废弃地上的植物定居[M].北京:科学出版社,1987.1~21.
- [2] 蓝崇钰,束文圣,孙庆业.采矿地的复垦.持续发展与生态学(陈昌笃主编)[M].北京:中国科学技术出版社,1993.132~138.
- [3] 郭焕成.我国的土地恢复[J].生态学报,1990,10(1):24~26.
- [4] 蓝崇钰,束文圣.矿业废弃地植被恢复中的基质的改良[J].

生态学杂志,1996,15(2):55~59.

- [5] 孙庆业,刘付程.铜陵铜尾矿理化性质的变化对植被重建的影响[J].农村生态环境,1998,8(1):21~22.
- [6] 孙庆业,田胜尼.土壤污染与几种土壤酶的活性[J].土壤,2000,32(1):54~56.
- [6] 刘登义,田胜尼,杨世勇,等.尾矿对 5 种豆科植物种子萌发和幼苗生长的初步研究[J].应用生态学报,2002,13(5):596~600.
- [8] 束文圣,蓝崇钰,张志权.凡口铅锌尾矿植物定居的主要因素分析[J].应用生态学报,1997,8(3):314~318.
- [9] Marrs R H, Bradshaw A D. Nitrogen accumulation cycling and the reclamation of china clay wastes[J]. Journal of Environmental Management, 1982,15:139~157.
- [10] 张志权,束文圣,廖文波,等.豆科植物与矿业废弃地的植被恢复[J].生态学杂志,2002,21(2):47~52.
- [11] 中国科学院南京土壤研究所.土壤理化分析[M].上海:上海科学技术出版社,1977.62~132.
- [12] 南京农学院.土壤农化分析[M].北京:农业出版社,1980.203~221.
- [13] Tordoff G M, Baker A J M, Wills A J. Current approaches to revegetation and reclamation of metalliferous mine wastes[J]. Chemosphere, 2000,41:219~228.
- [14] Ye Z H, Shu W S, Zhang Z Q, et al. Evaluation of major constraints to revegetation of lead/zinc mine tailings using biomassay techniques[J]. Chemosphere, 2002,47:1103~1111.

化学工业出版社《环境生物技术丛书》出版

目前,环境生物技术已经在水污染控制、大气污染治理、有毒有害物质降解、清洁可再生能源开发、废物处置与资源化、环境监测、环境友好材料合成、生态环境修复和清洁生产等领域发挥着极为重要的作用,已经成为解决复杂环境问题的最有效、最经济的手段之一.

由哈尔滨工业大学环境科学与工程系环境生物技术学科部组织编写的《环境生物技术丛书》(6 本),从基础理论、工程设计、应用与发展前景等角度,对目前的环境生物技术进行了总体描述,并着眼于介绍环境生物制剂、环境中的分子生物学技术、环境污染与修复、废物资源化与能源化等生物技术领域的理论和应用成果.

《厌氧生物技术原理与应用》(48 元)一书总结凝练了十几年来在废水(物)发酵法生物制氢技术、厌氧生物技术等领域具有自主知识产权的创新性研究成果.

《环境中的分子生物学诊断技术》(56 元)一书着重阐述环境污染物和致病微生物的快速鉴别和检测;特定环境中微生物的多样性、微生物群落结构和群落动态的监测;环境微生物功能基因定位和原位表达等内容.

《环境生物制剂的开发与应用》(40 元)一书系统地阐述了生物制剂研究开发的方法、应用领域、安全性评价以及如何才能实现商品化,内容包括微生物絮凝剂、生物添加剂、工程菌的构建、微生物肥料、微生物饲料、生物表面活性剂、生物制剂的安全评价等.

《环境污染防治中的生物技术》(42 元)一书介绍了生物工程技术及其在环境防治中的应用、污水生物处理工程技术、有机固体废弃物的生物处理技术、工业废气的生物治理技术、有毒有害有机污染物的微生物降解、污染环境的生物修复以及环境污染预防生物技术和环境生物监测技术等内容.

《废物资源化与生物能源》(32 元)一书重点介绍了利用现代生物手段实现废弃物的资源化与能源化技术.既包括以有机废水发酵法生物制氢、利用有机废弃物生产乙醇、沼气发酵以及固体废物能源化等多种废弃物的能源化技术,也包括从有机废物制取生物降解性塑料、从有机废物生产单细胞蛋白、有机废物的高速堆肥和污水深度处理回用等多种废物的资源化技术.

《现代生物技术的环境工程中的应用》(46 元)一书主要介绍了现代生物技术概论、现代生物技术在环境检测与评价中的应用、生物强化处理技术、现代生物技术与生物能源、应用现代生物技术进行生态制品的设计与制备、新绿色革命与现代农业、几种典型的分子生物学技术与应用、现代生物技术风险分析等内容.

以上图书全国各大新华书店均有销售,邮购加收 10% 邮寄费.

邮购地址:(100029)北京市朝阳区惠新里 3 号;收款人:化学工业出版社发行部;邮购电话:010-64918013