

# 泥炭和化学肥料处理对黑麦草在铜矿尾矿砂上生长影响的研究\*

郝秀珍 周东美 王玉军 陈怀满 孙兆海

(中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

## STUDY OF RYEGRASS GROWTH IN COPPER MINE TAILING TREATED WITH PEAT AND CHEMICAL FERTILIZER

Hao Xiuzhen Zhou Dongmei Wang Yujun Chen Huaiman Sun Zhaohai

(Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

关键词 土壤; 尾矿砂; 黑麦草; 重金属

中图分类号 S153 文献标识码 A

金属采矿产生的尾矿不但粒度小、重量轻、表面积大, 堆放时易流动和形成塌漏, 而且含有高浓度的重金属, 对附近的村镇、农田、水源等构成极大威胁<sup>[1~3]</sup>。因此, 为保护环境、减小矿业开发对自然生态的破坏, 金属尾矿库的土地复垦将非常必要<sup>[4,5]</sup>。

早期的结果表明, 重金属的毒性和营养物质的缺乏是矿区植物定植的主要限制因子<sup>[6,7]</sup>。添加改良剂和化学肥料来改变矿砂性质从而改善植物生长条件, 实现尾矿库的植被恢复是一个可行的途径<sup>[8,9]</sup>。有机物料的施用不但改善了尾矿砂较恶劣的物理性状, 并且其分解产物具有一定的活性基团, 很容易作为配体与重金属元素进行配合或螯合作用, 从而影响重金属的生物有效性<sup>[10]</sup>, 改善植物生长。

本实验选用了有机物料泥炭作为在尾矿砂上种植黑麦草的改良剂, 并且采用不同的化学肥料处理, 研究了泥炭和化学肥料对黑麦草生长以及矿砂中重金属有效态、土壤 pH 等的影响过程及其规律, 优化了黑麦草的生长条件。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

2001 年 9 月采自安徽铜陵水木冲铜矿的尾矿砂, 晾干, 过筛, 去除大的石块和砂砾。所施用的泥炭采自东北佳木斯, 有机质含量为  $650 \text{ g kg}^{-1}$ 。供试作物为黑麦草。供试矿砂和泥炭的基本性质示于表 1。

表 1 尾矿砂和泥炭中的重金属含量 ( $\text{mg kg}^{-1}$ )

元素	尾矿砂		泥炭
	总量	有效态	
Cu	2354.7	20.49	3.64
Zn	266.61	5.18	11.37
Pb	39.61	3.33	34.92
Cd	2.27	0.08	— <sup>1)</sup>

1) 未检出

### 1.2 盆栽试验

试验共设 10 个处理(表 2), 重复 4 次。采用塑料盆钵, 每盆装尾矿砂 2 kg, 处理中添加肥料的用量 (F) 为: 2 kg 尾矿砂 + 2 g  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  + 2 g  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ 。

\* 中国科学院知识创新工程项目(KZCX2-401)和中国科学院南京土壤研究所所长基金项目资助

- 通讯作者

作者简介: 郝秀珍(1977-), 女, 硕士, 主要从事重金属的土壤环境化学与污染控制方面的研究

收稿日期: 2003-04-21; 收到修改稿日期: 2003-06-03

表2中F/4、F/2分别表示为添加上述肥料用量的1/4和1/2。

表2 盆栽试验处理

代号	处理
S1	尾矿砂
S2	尾矿砂+ F
S3	尾矿砂+ 1% 泥炭+ F
S4	尾矿砂+ 2.5% 泥炭+ F
S5	尾矿砂+ 5% 泥炭+ F
S6	尾矿砂+ 7.5% 泥炭+ F
S7	尾矿砂+ 10% 泥炭+ F
S8	尾矿砂+ 5% 泥炭
S9	尾矿砂+ 5% 泥炭+ F/4
S10	尾矿砂+ 5% 泥炭+ F/2

试验于2001年10月24日装盆,10月29日开始播种,每盆黑麦草的播种量为0.8 g。于2002年3月11日收割黑麦草地上部第一茬,并同时采集尾矿砂样品。4月19日在所有的处理中每盆施加的肥料用量皆为F/2,并于5月20日收割地上部第二茬,同时采集尾矿砂样品,将盆中尾矿砂敲碎分别取出每盆黑麦草的根。尾矿砂样品经室内风干后分析,植株洗净后70℃烘干,称重,磨碎分析。

### 1.3 样品分析

土壤样品分析采用常规分析方法<sup>[11]</sup>。其中,土壤pH采用1:2.5的土水比,并用pH玻璃电极进行测定,土壤重金属的有效态采用0.005 mol L<sup>-1</sup> DTPA提取,植株中的重金属待测液采用HNO<sub>3</sub>-HClO<sub>4</sub>消煮法制备,用原子吸收分光光度计测定土壤和植株中的重金属含量。

## 2 结果与讨论

### 2.1 泥炭和肥料对黑麦草在尾矿砂上生长的影响

尾矿砂中营养物质的缺乏比较普遍,致使植物在具有重金属毒性及恶劣理化性质的尾矿砂上定植非常困难<sup>[12]</sup>。表3显示了添加泥炭和化学肥料处理对黑麦草在尾矿砂上的两茬生物量及根重的影响。由表可见,对于第一茬黑麦草来说,既不加泥炭又不加肥料的纯尾矿砂处理(S1)生物量最小,干重仅为1.34 g。对于施用不同泥炭的处理(S2~S7),随泥炭施用量的增加黑麦草的生物量有增加的趋势,说明泥炭的加入增加了矿砂中的有机质,改善了不良的理化性状,促进了植物生长。与S2(泥炭施加量为0)相比,在泥炭高比例施用量(5%~10%)的情况下,黑麦草生物量表现出显著的差异,而在低

表3 泥炭和肥料对黑麦草生物量的影响(g pot<sup>-1</sup>)

处理	地上部生物量		根重
	第一茬	第二茬	
S1	1.34 h	2.07 f	0.69 e
S2	26.99 c	9.34 e	12.78 bcd
S3	23.86 cd	11.08 bc	16.99 b
S4	25.18 d	10.58 cd	10.49 cd
S5	33.01 b	11.93 b	26.04 a
S6	34.17 b	13.07 a	16.51 bc
S7	37.59 a	13.98 a	24.42 a
S8	8.58 g	9.74 de	7.38 d
S9	15.02 f	10.47 cd	12.41 bcd
S10	20.78 e	10.80 cd	13.75 bc

注:表中数据采用Duncan's法统计,同一列中有相同字母者,表示在5%水平上不显著(下同)

施用量时与S2相比没有差异甚至变小。对于相同量的泥炭而添加不同用量的肥料处理(S8~S10,S5)来说,黑麦草的生物量随着肥料施用量的增加而显著增加。这说明在矿砂上种植植物,肥料仍然是一个重要的限制因子。

对于第二茬黑麦草来说,收割第一茬后除S1处理均添加了相同的肥料,其生物量在前期生长不同的基础上仍然表现出不同的效果,但差距已经减小。纯矿砂的处理(S1)生物量仍最小。对于不同施用量的泥炭处理(S2~S7),随着泥炭施用量的增加生物量相应增加。施加同样比例泥炭的处理在添加相同用量的肥料情况下,S8~S10处理黑麦草的生物量没有表现出显著差异,说明在前期黑麦草的生长消耗掉了绝大部分养分,在后期补加肥料是十分必需的。

对于最后采集得到的根来说,出现了两个最大值,即泥炭施入量为5%和10%并加肥料的处理,而不加肥料的纯矿砂处理的根重最小,仅为0.69 g。对于泥炭施入量为5%的各处理来说,随着施肥量的增加根重也呈增加的趋势。

### 2.2 泥炭和肥料对黑麦草植株中重金属含量的影响

黑麦草是一种对重金属元素具有较高耐性的植物,盆栽试验中不但能够正常发芽、生长,并且植株体内也富集了不低的Cu、Zn含量。从表4可以看出,对于第一茬黑麦草,不加肥料的处理(S1,S8)的Zn含量较高,且以S1的处理最高。对于植株中的Cu来说,泥炭、肥料处理均降低了黑麦草中的Cu含量;而植株中的Zn则随泥炭的加入而增加,随肥料的加入而减少。

对于第二茬黑麦草来说,由于加入了相同用量的肥料,在促进黑麦草的生长和吸收方面起到了比

较一致的作用, 对于 Cu 和 Zn 的含量只有在纯矿砂处理中表现出最高, 而其它各处理没有显著差异。

对于根来说, 纯矿砂的处理含 Zn 和 Cu 的量最高。S2~ S7 处理随着泥炭施入量的增加根部含 Zn 量有降低的趋势, 但是无显著性差异。同样, 随着施肥量的增加具有相同泥炭比例的处理含 Zn 量也呈降低的趋势。这是由于肥料和泥炭的添加促进了移动性较强的 Zn<sup>[13]</sup> 向地上部的转移和运输, 在植株根部的积累就减少。未添加泥炭和加入 1% 泥炭的处理在根部的 Cu 含量较高, 其余处理无显著性差异。这种生物量增加, 而重金属含量却降低的现象可能是由于泥炭的加入, 改善了矿砂不良的理化性状, 促进了根系的伸展, 在这种生长稀释作用下, 重金属含量降低。这与改良剂对营养元素吸收的影响

结果类似<sup>[14]</sup>。

对于同一处理, 根部 Cu 要比 Zn 含量高, 而对于植株地上部分收割的两茬来说, 却表现相反, Zn 要比 Cu 含量高。这说明对于移动性强的元素 Zn 来说, Cu 在黑麦草根部产生滞留效应, 这可能是植物所采取的一种自我保护措施, 即避免过量的 Cu 进入茎叶, 因为茎叶往往比根系更易受到逆境的伤害<sup>[2]</sup>。这与陈世俭<sup>[15]</sup> 和夏汗平<sup>[2]</sup> 等的实验结果是一致的。虽然第二茬生长期要比第一茬短, 但是两种重金属的含量要高于第一茬, 对于 Zn 尤其明显, 说明经过黑麦草的生长, 通过根系以及所加入物质的共同作用, 降低了 pH<sup>[15]</sup>, 从而使重金属的移动性发生了变化。

表 4 泥炭和肥料处理后黑麦草植株中重金属含量变化(mg kg<sup>-1</sup>)

处理	Zn			Cu		
	第一茬	第二茬	根部	第一茬	第二茬	根部
S1	63.93 a	239.65 a	573.27 a	9.37 a	25.99 a	654.39 a
S2	27.27 f	139.92 b	203.98 bc	9.31 a	10.47 b	472.61 b
S3	32.50 def	141.74 b	152.24 def	8.67 abc	10.30 b	434.24 b
S4	39.12 bc	138.35 b	140.51 def	8.96 ab	9.57 b	269.89 c
S5	34.92 cde	148.46 b	120.29 ef	7.66 bc	10.07 b	350.16 bc
S6	38.67 bcd	137.08 b	110.94 f	7.96 abc	9.18 b	274.59 c
S7	44.31 b	118.78 b	102.40 f	7.49 bc	8.15 b	266.86 c
S8	58.22 a	148.79 b	233.24 b	7.53 bc	10.30 b	266.47 c
S9	32.09 def	124.78 b	180.14 cd	7.14 c	8.75 b	258.61 c
S10	31.12 ef	130.05 b	163.78 cde	7.15 c	9.17 b	224.16 c

### 2.3 泥炭和肥料对矿砂中重金属有效态和 pH 值的影响

从表 5 中可以看出第一次采样时, 肥料和泥炭的加入对土壤中有效态 Zn 影响不大。而对于有效态 Cu 来说, 在纯矿砂上添加肥料后, 使其含量降低, 而且在添加 5% 泥炭的处理中, 随着施肥量的增

加, 有效态 Cu 逐渐降低。泥炭低施入量情况下, 有效态 Cu 含量随着泥炭施入量的增加而增加; 而施入量为 10% 时却表现出有效态 Cu 的降低, 这是由于高含量的有机质有利于 Cu 的吸持, 从而降低了其有效性<sup>[16]</sup>。

表 5 泥炭和肥料处理对矿砂中重金属有效态(mg kg<sup>-1</sup>) 和 pH 值的影响

处理	有效态 Zn		有效态 Cu		pH 值	
	第一茬	第二茬	第一茬	第二茬	第一茬	第二茬
S1	18.87 a	26.59 a	31.23 g	31.04 d	8.38 a	7.54 a
S2	17.75 abc	22.32 b	22.70 f	21.70 e	7.41 e	7.11 d
S3	16.55 c	19.09 cd	34.63 e	33.79 d	7.23 f	6.96 f
S4	17.25 bc	19.79 cd	41.48 d	43.08 c	7.35 ef	7.02 ef
S5	16.61 c	16.69 e	44.88 c	44.68 c	7.32 ef	7.05 de
S6	17.10 bc	17.60 de	45.39 c	43.89 c	7.31 ef	7.01 ef
S7	17.15 bc	18.32 de	42.28 d	41.88 c	7.24 f	7.05 de
S8	18.99 a	21.21 bc	54.68 a	60.57 a	8.01 b	7.38 b
S9	18.73 a	18.96 cd	52.69 ab	55.84 b	7.87 c	7.34 bc
S10	18.20 ab	19.93 cd	50.85 b	53.56 b	7.65 d	7.30 c

而对第二次样品来说,纯矿砂上施肥降低了有效态 Zn 和 Cu 含量。对于加入 5% 泥炭处理,随着施肥量的增加有效态 Zn 和 Cu 含量呈降低趋势。

从两次 pH 的测定来看,与对照相比,施肥处理显著降低了矿砂中的 pH 值,使碱性矿砂的 pH 值降到中性附近。泥炭的加入也降低了 pH 值,但是与施入量并没有表现出明显的关系。

### 3 结 论

1) 虽然黑麦草的生物量有随着泥炭施入量的增加而增加的趋势,但是从经济方面考虑,以 5% 施入量较好。肥料仍然是限制植物在矿砂上定植的重要因子之一。

2) 添加泥炭增加了矿砂中有效态 Cu 含量,而肥料处理却降低了有效态 Cu 含量,这两种物质的加入对 Zn 有效态的影响均不大。

3) 在碱性矿砂上施入铵态氮肥和泥炭均降低了矿砂的 pH 值,改善了植物的生长。

### 参 考 文 献

- [ 1 ] 涂从,郑春荣,陈怀满. 铜矿尾矿库土壤-植物体系的现状研究. 土壤学报,2000,37(2):284-287
- [ 2 ] 夏汗平,束文圣. 香根草和百喜草对铅锌尾矿重金属的抗性与吸收差异研究. 生态学报,2001,21(7):1121-1129
- [ 3 ] Pichtel J R, Dick W A, Sutton P. Comparison of amendments and management practices for long-term reclamation of abandoned mine lands. *Journal of Environmental Quality*, 1994, 23: 766~ 772
- [ 4 ] 周东美,王玉军,郝秀珍,等. 铜矿区重金属污染分异规律初步研究. 农业环境保护,2002,21(3):225~227
- [ 5 ] 束文圣,张志权,蓝崇钰. 中国矿业废弃地的复垦对策研究. 生态科学,2000,19(2):24~29
- [ 6 ] Ye Z H, Shu W S, Zhang Z Q, *et al.* Evaluation of major constraints to revegetation of lead/zinc mine tailings using bioassay techniques. *Chemosphere*, 2002, 47: 1103~ 1111
- [ 7 ] Ye Z H, Wong J W C, Wong M H, *et al.* Revegetation of Pb/Zn mine tailings, Guangdong Province, China. *Restoration Ecology*, 2000, 8(1): 87~ 92
- [ 8 ] 郝秀珍,周东美,王玉军等. 不同改良剂对铜矿尾矿砂的改良效果研究. 农村生态环境,2002,18(1):11~15
- [ 9 ] 郝秀珍,周东美. 沸石在土壤改良中的应用研究进展. 土壤,2003,35(2):103~106
- [ 10 ] 陈世俭. 泥炭和堆肥对几种污染土壤中铜化学活性的影响. 土壤学报,2000,5(2):280~283
- [ 11 ] 中国土壤学会编. 土壤农业化学分析方法. 北京:中国农业科技出版社,2000
- [ 12 ] Pichtel J, Salt C A. Vegetative growth and trace metal accumulation on metalliferous wastes. *Journal of Environmental Quality*, 1998, 27: 618~ 642
- [ 13 ] 王新,吴燕玉,梁仁禄,等. 各种改性剂对重金属迁移、积累影响的研究. 应用生态学报,1994,5(1):89~94
- [ 14 ] 陈晓婷,王果,张亭旗,等. 石灰与泥炭配施对重金属污染土壤上小白菜生长和营养元素吸收的影响. 农业环境保护,2002,21(5):453~455
- [ 15 ] 陈世俭. 污染土壤添加有机质对黑麦草吸收铜的影响. 农村生态环境,2001,17(1):37~39
- [ 16 ] 陈怀满等著. 土壤中化学物质的行为与环境质量. 北京:科学出版社,2002. 116