

文章编号: 0529-6579 (1999) 03-0068-04

广东乐昌铅锌尾矿废弃地酸化控制研究^{*}

胡宏伟¹, 姜必亮¹, 蓝崇钰¹, 王伯荪¹, 黄铭洪²

(1. 中山大学生命科学学院, 广东 广州 510275;

2. 香港浸会大学生物系, 香港 九龙塘)

摘 要: 对建立在乐昌铅锌尾矿废弃地的复垦实验地进行了调查分析. 结果表明, 在 12 种不同的改良措施中, 在废弃地上铺盖厚约 20 cm 垃圾及 20 kg/m² 石灰的改良效果最好. 这一措施不仅提高了尾矿 pH 值和降低电导率, 而且较有效地防止了下层尾矿的酸化, 2 年后收获的生物量也最高.

关键词: 铅锌尾矿; 酸化; 植被恢复

中图分类号: X 171 **文献标识码:** A

铅锌尾矿废弃地植被恢复能否成功很大程度上依赖于种的选择和基质的改良^[1]. 一般而言, 尾矿改良后的效果评价指标主要是: 能否抑制尾矿酸化和减轻重金属毒害; 能否提供植物生长所必需的营养; 能否改良基质的理化性质; 及能否取得最大效益^[2]. 石灰渣处理含硫较高的尾矿能抑制酸化, 提高 pH, 降低盐分, 但不同的酸化潜力需不同量的石灰来中和, 因此, 加入多少石灰才能控制酸化又不致于使基质的碱性过大, 是铅锌尾矿废弃地复垦能否成功的主要问题. 为此, 本研究根据上述原则和已有的研究成果^[3~5], 针对不同的处理措施^[6], 进行了各种酸化指标的分析测定, 从中筛选出控制酸化效果较好的改良措施, 为控制铅锌尾矿地的酸化, 保持植被的稳定发展提供科学依据.

1 材料和方法

实验地设于乐昌铅锌矿的尾矿地, 该铅锌矿位于广东北部, 属亚热带气候. 实验于 1996 年 3 月进行, 方法见表 1^[6]. 实验进行 2 年后, 分别取各处理的 0~20 cm 和 20~40 cm 处土壤或尾矿, 风干后, 过 2 mm 筛分别分析 pH、电导率 (EC)、酸中和能力 (ANC)、净产酸 (NAG)^[7] 以及重金属 Cu, Pb, Zn, Cd^[8].

在每种处理按 10 cm×10 cm 的样方, 用收获法测定供试植物狗牙根 (*Cynodon dactylon*) 地上部和地下部的生物量.

^{*} 基金项目: 国家自然科学基金 (39770154) 资助项目

收稿日期: 1999-02-01

作者简介: 胡宏伟, 男, 1967 年生, 博士研究生.

表 1 各实验处理方法¹⁾
Tab 1 The list of measures

编号	与尾矿混合	编号	铺盖于尾矿上	编号	铺盖于尾矿上
A	10 cm RS+L1	E	10 cm RS+L1	I	20 cm 100%生活垃圾+L2
B	20 cm RS+L1	F	20 cm RS+L1	J	20 cm 50%生活垃圾+50%土壤+L2
C	10 cm RS+L2	G	10 cm RS+L2	K	20 cm 25%生活垃圾+75%土壤+L2
D	20 cm RS+L2	H	20 cm RS+L2	L	20 cm 100%土壤+L2

1) RS, 75%生活垃圾+25%土壤; L1, 石灰渣 10 kg/m²; L2, 石灰渣 20 kg/m²; 每处理 4 个重复, 每年 5 次按照第 1m² 施 m (N) 150 kg 复合肥 (N:P:K=1:1:1)

2 结果和讨论

2.1 改良后尾矿 pH 及盐分变化

试验前土壤 pH 为 6.62, 生活垃圾 pH 为 6.43, 土壤和生活垃圾的 pH 较为接近, 尾矿的 pH 为 1.67~3.74。试验后 2 年, 各处理的 pH, EC 测定结果见表 2。除 A 处理上层土壤 (0~20 cm) 稍偏酸性外, 各种处理的 pH 均为中性或接近中性。其中以 I 处理其 pH 值最高, 为 7.4; 其次为 K 处理。而 EC 值则与此相反。下层尾矿 (20~40 cm), 除 I 处理外 (pH 平均值为 6.7), 所有处理均已发生酸化, 个别处理 pH 低至 1.85, EC 低至 5.6。I 处理的 EC 值仍较低, 平均为 1.5。

表 2 各处理层上层与下层 pH 值及 EC 值比较

Tab 2 The comparison of pH and EC between upper layer and lower layer for each improvement

上层	pH	EC	下层	pH	EC	上层	pH	EC	下层	pH	EC
A	5.86	1.49	A	3.69	3.16	G	6.63	1.36	G	3.66	2.76
B	5.75	1.48	B	3.01	4.25	H	6.35	1.42	H	4.46	1.74
C	6.02	1.51	C	3.62	2.31	I	7.49	1.17	I	6.77	1.50
D	4.81	2.35	D	3.65	3.51	J	6.31	1.68	J	4.63	2.41
E	5.22	1.98	E	3.29	2.80	K	7.31	1.16	K	4.55	1.83
F	7.20	1.33	F	2.86	2.76	L	7.12	1.40	L	5.41	1.78

实验结果还表明, 将改良物质覆盖于尾矿处比将改良物与尾矿相混合, 其 pH 值略高, 而 EC 值稍低。生活垃圾结合施用较多的石灰 (I 处理), 对于抑制尾矿的酸化、降低盐分 (EC) 方面效果较好, 并能有效防止下层尾矿酸化。

2.2 ANC, NAG 和最后 NAG-pH 的评价

不同改良措施的酸中和能力 (ANC)、净产酸 (NAG) 和最后的 NAG-pH 见表 3。各种改良措施中, I 处理的 NAG 值最小, 并且其最后的 NAG-pH 均大于 5, 平均为 6.64。按照 NAG-pH 的阈值划分^[7], 属无产酸危险。并且下层 NAG 值也较小, 最后的 NAG-pH 也均大于 5, 平均为 5.90, 亦属无产酸危险。实验结果还表明, 垃圾和石灰的混合处理具有最大的酸中和能力, 可以有效地预防酸化。改良物与尾矿相混合的改良措施其 NAG 比将改良物覆盖在尾矿的改良措施的 NAG 高, 这在 20~40 cm 深处尤为明显。

2.3 不同改良措施对狗牙根生物量的影响

由表 4 可知, 地上部和地下部生物量干质量 I 处理显著高于其他处理, 其次为 J 处

表 3 乐昌铅锌矿尾矿各处理的酸化指标¹⁾

Tah 3 The acidification parameters after different improvements in Lechang Pb/ Zn tailings

处理	上层	NAG	ANC	pH	下层	NAG	ANC	pH
混合处理	A	9.27	27.70	4.08	A	15.26	—2.78	2.94
	B	15.88	29.05	4.37	B	31.21	—16.41	3.19
	C	4.28	33.19	4.65	C	24.17	—10.03	2.71
	D	4.22	35.80	5.55	D	12.81	8.83	3.70
	平均值	8.41	31.44	4.66	平均值	20.86	—5.10	3.14
覆盖处理	E	9.75	18.26	4.47	E	15.02	1.89	3.35
	F	1.26	56.13	6.84	F	18.29	9.92	2.83
	G	4.45	43.00	6.14	G	15.96	17.45	3.55
	H	7.13	48.21	5.23	H	11.52	10.29	3.87
	I	0.23	19.55	6.65	I	1.69	25.19	5.90
	J	4.90	25.64	5.46	J	18.25	14.98	4.44
	K	5.76	38.64	5.54	K	11.80	16.58	3.20
	L	9.24	54.52	6.26	L	7.92	13.33	5.20
	平均值	5.34	37.99	5.82	平均值	12.56	13.70	4.04

1) $\rho(\text{H}_2\text{SO}_4)$ 的单位为 $\text{kg} \cdot \text{t}^{-1}$

理, C 处理的生物量干质量最少. 将改良物质覆盖在尾矿上的改良措施, 其狗牙根地上部干质量和地下部干质量都高于将改良物质与尾矿混合的改良措施, 说明前者对尾矿的改良效果优于后者.

表 4 各处理收获的生物量¹⁾

Tah 4 The comparison of biomass among improvements

处理	地上部	地下部	总质量
A	1 254.44±200.85 ^{gh}	372.22±122.92 ^{ab}	1 626.67±313.45 ^{df}
B	1 627.78±197.78 ^{cd}	360.00±132.04 ^{ab}	1 987.78±73.15 ^{cd}
C	1 005.56±173.14 ^h	360.00±104.48 ^{ab}	1 365.56±72.52 ^f
D	1 248.89±256.63 ^{eg}	281.11±35.25 ^{ab}	1 530.00±227.71 ^{df}
平均值	1 284.17±207.10	343.33±98.68	1 627.50±171.71
E	1 447.78±273.21 ^{eg}	285.56±76.33 ^{ab}	1 733.33±334.66 ^{de}
F	1 764.44±180.86 ^{bcd}	362.22±187.49 ^{ab}	2 126.67±23.38 ^{bc}
G	1 500.00±244.23 ^{de}	305.56±52.63 ^{ab}	1 805.56±283.71 ^{de}
H	1 832.22±264.97 ^{bc}	270.00±78.20 ^b	2 102.22±193.18 ^{bc}
I	2 413.33±263.11 ^a	334.44±110.57 ^{ab}	2 747.78±179.23 ^a
J	2 001.11±182.18 ^b	342.22±56.68 ^{ab}	2 343.33±129.65 ^b
K	1 714.44±175.14 ^{bcd}	298.89±57.08 ^{ab}	2 013.33±187.16 ^{cd}
L	1 374.44±173.86 ^{fg}	413.33±61.9 ^a	1 787.78±129.90 ^{de}
平均值	1 755.97±219.70	326.53±85.11	2 082.50±182.61

1) $(\bar{x} \pm \text{sd})/\text{g}$, $n=4$; 不同字母表示在 0.05 水平上的差异显著性

3 结 论

所有制订的改良措施对于稳定尾矿酸化, 降低盐分方面都有一定效果, 但垃圾+20

kg/m^2 石灰处理(I)效果最好, 且能防止其下层尾矿酸化, 降低盐分. NAG-pH 的测定表明, 除 I 处理外, 其他的处理均有一定程度的轻度产酸危险.

所有制订的改良措施, 除采用土壤+石灰外, 均能有效减少上层基质的重金属总量, 其中以 I 处理和 K 处理效果最为明显.

所有改良措施收获的狗牙根生物量, 地上部分高于地下部分. 垃圾+ 20 kg/m^2 石灰处理方法(I)生物量最高. 就草本植物狗牙根而言, 将改良物质覆盖在尾矿上的处理方法所获生物量, 高于将改良物质与尾矿相混合的处理方法所收获的生物量.

参考文献:

- [1] WILLIAMSON N A, JOHNSON M S, BRADSHAW A D. Mine wastes reclamation[M]. London: Mining Journal Books Ltd 1982
- [2] BECKETT P, WILLIANEN S P. Techniques for establishing aquatic vegetation in permanently flooded tailings[M]. National Meeting of the American Society for Surface Mining and Reclamation, 1998. 72 ~ 77.
- [3] COSTIGAN P A. Characterisation and treatment of acid-producing colliery spoil[A]. In: WALI M K, ed Ecology and coal resource development[C]. New York: Pergamon Press 1979. 987 ~ 993.
- [4] GEMMELL R P. Colonization of industrial wasteland[M]. London: Edward Arnold 1977.
- [5] RITCEY G M. Tailings management: problems and solutions in the mining industry[M]. Elsevier, Amsterdam, Netherlands, 1989.
- [6] 束文圣. 铅锌尾矿的植被重建[D]. 广州: 中山大学, 1997.
- [7] MILLER S D, JEFFERY J J, WONG J W C. In-pit identification and management of acid forming waste rock at the Golden Cross Gold Mine, New Zealand[A]. Proceedings of the second international conference on the abatement of acidic drainage[C]. Canada: British Columbia 1991. 16 ~ 18. 137 ~ 151.

Effects of Different Improvements on Controlling Acidification of Pb/Zn Tailings

HU Hong-wei^{*}, JIANG Bi-liang, LAN Chong-yu, WANG Bo-sun, WONG Ming-hong

Abstract: Field survey and lab. assay on the tailings-improving experimental site of Lechang Pb/Zn tailings showed that all improvements made various effects on controlling acidification of tailings. Among 12 improvements, the best one was the I improvement(all covered by municipal waste mingled by 20 kg lime per one square meter), it not only better controlled the acidification of upper tailings layer ($0 \sim 20 \text{ cm}$), but also better controlled the acidification of the lower tailing layer than others. In addition, its biomass was the most one. This demonstrated the I improvement had better improving effect on controlling acidification of Pb/Zn tailings.

Keywords: Pb/Zn tailings; acidification; vegetation re-establishment

^{*} School of Life Sciences Zhongshan University, Guangzhou 510275, China