

林草植被土壤侵蚀控制作用的初步研究 ——以云南新平大红山铁矿为例

周跃¹, 付玉彬², 徐清艳¹, 曾镇涛²

(1. 昆明理工大学 环境科学与工程学院, 云南 昆明 650093; 2. 昆明钢铁集团公司 大红山铁矿, 云南 新平 653100)

摘要: 研究分析了云南新平大红山铁矿区植被对土壤侵蚀的控制作用。结果表明, 林草植被可以通过提高土壤持水性、增加土壤透水性和尽快降低土壤水分含量控制地表径流; 通过提高土壤水稳性和土壤抗蚀性、改善土壤肥力和促进植物生长增强土壤抵御侵蚀力的能力。研究结果还直接表明, 林草植被对土壤侵蚀有明显的控制作用。与裸地相比, 松林、阔叶林、草地对地表径流的控制率达到 63% ~ 89%, 对土壤流失的控制率达到 70% ~ 94%。该结果对于指导大红山铁矿乃至其他金属矿区水土保持工作具有重要意义。

关键词: 矿区植被; 土壤改良; 侵蚀控制; 水土保持

中图分类号: X17 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007 - 855X (2005) 06 - 0068 - 05

Study on Forest - Grass Vegetation of Soil Erosion Control

——Taking Dahongshan Iron Mine at Xiping of Yunnan Province as an Example

ZHOU Yue¹, FU Yu-bing², XU Qing-yan¹, ZENG Zheng-tao²

(1. Faculty of Environmental Science and Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China;

2. Dahongshan Iron Mine Bureau, Kunming Iron & Steel Group Corporation, Xiping, Yunnan 653100, China)

Abstract: The control effect of vegetation on soil erosion at Dahongshan Iron Mine of Xiping in Yunnan Province is studied in this paper. The results show that the forest - grass vegetation is able to increase soil infiltration and quickly reduce soil moisture in order to control surface runoff. Through enhancing soil resistance to erosion, the fertility of soil is improved and the growth capability of plants are promoted. It is also shown that the forest - grass vegetation has obvious control effect on soil erosion. Compared with bare soil, it can reduce surface runoff by 63% ~ 89% and soil loss by 70% ~ 94%. It is significant for water and soil conservation in Dahongshan Iron Mine and other metal mineral areas.

Key words: vegetation in the mining area; soil improvement; erosion control; soil and water conservation

0 引言

云南是矿业大省, 矿业是全省经济发展的五大支柱之一, 但是矿业开发也造成了严重水土资源破坏。一方面是矿区人为侵蚀、生态恶化和土地资源浪费形势严峻, 另一方面是相关的基础研究严重滞后, 使云南矿区水土保持和生态环境建设面临艰巨的任务。目前, 矿区土壤侵蚀和水土保持的实验研究资料比较缺乏, 人们对防治措施、特别是植被的作用了解甚少, 对大量的矿区 (尤其是金属矿^[1]) 水土保持工程实施效果认识非常有限, 不利于科学地、客观地评价和开展矿区水土保持规划设计。

植被作为大气与土壤间的保护层, 既影响坡面水文过程, 又改良土壤, 能够消弱降雨的侵蚀力并提高土壤的抗蚀性。这些作用使植被具有侵蚀控制和坡面保护的潜能^[2,3]。在过去几十年中, 国内外广泛利用

收稿日期: 2005 - 05 - 16 基金项目: 云南省自然科学基金 (项目编号: 2002D0017M) 和云南省人才基金项目 (项目编号: 1999D0027G)。

第一作者简介: 周跃 (1958 ~), 男, 博士, 主要研究方向: 水土保持。E-mail: zhouyue@oxbridge.cn

植被进行矿区的水土保持生态环境建设,比如云南昆阳磷矿的实践,充分证明了植被手段的有效性。然而,在广大的云南山地,如何认识和利用好这一生物学途径,尚需积累研究资料,开拓和完善相关的工作。2003年我们在云南省基金的资助下,以云南新平大红山铁矿为例,进行了矿区水土保持和土地生物复垦的研究。本文探讨了矿山植被对土壤侵蚀因子的影响和抑制水土流失的作用,为深入认识植被在矿山生态修复建设中的有效性提供依据。

1 研究方法

1.1 研究地区选择

大红山铁矿地处云南省新平县嘎洒镇、老厂乡和新华乡的结合部,东经 $101^{\circ}39' \sim 101^{\circ}42'$,北纬 $24^{\circ}06' \sim 24^{\circ}10'$,海拔范围 $600 \sim 1850 \text{ m}$ 。整个矿区位于曼冈河与肥味河相交的三角地带,属中低山侵蚀地貌,层状地形和冲沟发育,一般山坡坡度为 $25^{\circ} \sim 40^{\circ}$;山顶和局部坡段 $5^{\circ} \sim 20^{\circ}$ 。矿区年降雨量 $700 \sim 1100 \text{ mm}$,大约 75%的降雨集中在 5~10月间的雨季,多有阵雨、暴雨。中低海拔地带有燥红土、赤红壤,中高海拔有黄壤。海拔 800 m 以下河谷属干热河谷植被,多为低矮灌木草丛覆盖; $800 \sim 1100 \text{ m}$ 多为灌木和稀疏乔木群落,高海拔地区植被较好。在各个海拔范围有耕地、经济果木林分布。

1.2 土壤因子分析方法

根据大红山矿区的具体情况,采用常规分析方法进行各项土壤理化性质分析^[4]。其中,土壤渗透性采用渗透筒方法观测,一次渗透 100 mL ,共渗透 400 mL ,根据所需时间及渗透深度可求出土壤的渗透速度和渗透系数。通过典型分析,在整个矿区划分为林地(针阔混交林)、草地(以禾草为主)以及裸地(对照样地)三种地类,分别选择每一地类具有代表性的三个样点采集土样进行土壤因子分析。

1.3 地表径流和土壤流失量观测

选择设置了 6 个具有较好代表性的径流小区(表 1)观测地表径流量和土壤侵蚀量,小区设置方法根据水土保持监测技术规范进行^[5]。小区附近安装有一个自动雨量计和一个标准雨量计测定当地降雨量和降雨强度。

表 1 各径流场小区一览表

Tab 1 Basic situation of the 6 runoff plots

场号	地类	海拔 /m	坡度 / (°)	投影面积 /m ²	覆盖度 /%	径流小区特点
1	草地	854	18.5	25	75	禾草高 15~35 cm,盖度 80%,地面平坦
2	芒果	865	19	25	70	小区内 13 棵芒果树,局部覆盖禾草,地面平坦
3	甘蔗	844	22	25	70	甘蔗在雨季中后期盖度达到 40%~60%,有横向沟壑
4	裸地	950	24	25	5	原有稀疏杂草,小区建立后全部清除,地面平坦
5	阔叶林	1010	25	25	40	以栓皮栎为主,乔灌层盖度 85%,枯落层 10 cm
6	松林	1020	20.0	25	70	以云南松为主,乔木层盖度 70%,草本层盖度 85%,均枯落层 10 cm

小区投影面积均为 $S_{\text{小区}} = 10 \text{ m} \times 2.5 \text{ m} = 25 \text{ m}^2$,集流池底面积为 $S_{\text{水池}} = 40 \text{ cm} \times 80 \text{ cm} = 3200 \text{ cm}^2$,野外量取得到的集流池水深为 $h(\text{cm})$,在集流池中取水的采用瓶体积为 $V_{\text{采样}} = 600 \text{ mL}$,水样瓶中泥沙过滤、烘干、称重得到的重量为 $W_{\text{水样}}$ 。这样,地表径流量(S, mm)和土壤侵蚀量($W, \text{t}/\text{km}^2$)可用以下式(1)式(2)计算得到:

$$S = (S_{\text{水池}} \cdot h) / (S_{\text{小区}} \times 10^3) = 0.128h \quad (1)$$

$$W = (S_{\text{水池}} \cdot h \cdot W_{\text{水样}}) / (V_{\text{采样}} \cdot S_{\text{小区}}) = 0.213hW_{\text{水样}} \quad (2)$$

2 实验结果

2.1 土壤因素受植被的影响

2.1.1 土壤透水性

在同样深度采样分析,林地、草地、裸地三种情况下得到的土壤性质差异很大。裸地(对照样地)的土壤容重达到 $1.31 \text{ g}/\text{cm}^3$,林地和草地的只有 $1.036 \text{ g}/\text{cm}^3$ 和 $1.156 \text{ g}/\text{cm}^3$,分别比裸地减少 26.45%和

10.98% (表2). 裸地的总孔隙度以裸地最低, 只有42.76%, 松林地和草地的分别比裸地提高24.57%和20.94%. 林地和草地的土壤渗透系数高于裸地, 分别是裸地的7.36倍和4.62倍(表2); 土壤渗透速度也分别是裸地的4.31倍和3.16倍. 土壤渗透性以林地最好, 草地次之, 林地的土壤渗透更强.

表2 不同地表覆盖条件下土壤的透水性*

Tab 2 Soil infiltration under different cover conditions

植被类型	采用深/cm	土壤/ $g \cdot cm^{-3}$	总孔隙度/%	自然含水/%	渗透深/cm	渗透速度/ $mm \cdot min^{-1}$	渗透系数 K_{25}
林地	10**	1.036	56.69	17.31	13.7	23.38	24.23
草地	10	1.156	54.72	14.86	12.5	17.16	15.20
裸地	10	1.310	42.76	8.37	9.2	5.42	3.29

*土壤容重——环刀法测量, 土壤含水量——烘干法测量, 土壤总孔隙度 = $(1 - \text{容重} / \text{比重}) \times 100\%$. **表中数值为各种地表类型3个代表样点的平均值.

三种地表类型的土壤水分动态变化不同. 以2003年7月26日为例, 当天降雨量为70.0 mm, 降雨期间土壤水分含量增加. 雨停后在20 cm深度林地土壤湿度迅速回落, 雨停2 h后含水量递减率为12.84%, 4 h后递减率20.15%, 12 h后为28.73%, 24 h后为30.68% (图1). 草地的土壤湿度也较快回落. 在同样深度、同样时段, 裸地土壤含水量下降速度较前两者缓慢很多.

在降雨后每间隔2 h用铝盒采取土样, 用烘干法测定土壤含水量. 图中数值为各种地类3个代表样点的平均值.

2.1.2 土壤抗蚀性测定

本研究用土壤受水浸泡时的分散速度表示土壤的抗蚀性, 并以土壤的水稳性指数反映土壤抗分散能力. 观测发现, 裸地土壤的土粒在浸水后分散速度很快, 60%的土粒在浸泡2 min内分散, 82%的在5 min内分散(表3); 林地、草地土粒的分散速度却相对缓慢, 2 min内两者分散的土粒占40%~43%, 5 min内也只有65%~72%. 从水稳性指数看, 裸地的 K 值仅仅为0.35, 林地的为0.43, 草地的更高达到0.70; 水稳性指数的高低顺序为: 草地 > 林地 > 裸地.

表3 土壤抗蚀性测定结果*

Tab 3 Analysis results of soil resistance to erosion

地表类型	浸泡时间和分散土粒数/粒										未分散土粒/粒	水稳性指数 (K 值)**
	1min	2min	3min	4min	5min	6min	7min	8min	9min	10min		
林地平均	12.33	6.33	5.00	3.67	3.67	2.67	2.33	2.33	2.67	2.00	7	0.43
累计/%	28.68	43.41	55.04	63.57	72.09	78.29	83.72	89.15	95.35	100.00		
草地平均	6.33	3.67	2.67	1.67	2.00	1.33	1.67	1.67	1.67	2.33	25.00	0.70
累计/%	25.33	40.00	50.67	57.33	65.33	70.67	77.33	84.00	90.67	100.00		
裸地平均	19.00	8.00	3.00	3.50	3.50	2.50	2.00	2.00	1.00	0.50	5.00	0.35
累计/%	42.22	60.00	66.67	74.44	82.22	87.78	92.22	96.67	98.89	100.00		

*土壤抗蚀性采用土壤浸泡法观测, 用土壤团聚体在静水中的分散速度表示. **水稳性指数的计算方法根据文献[6]. 表中数值为各种地表类型3个代表样点、分别三次观测数值的平均值.

2.1.3 土壤养分

结果表明, 有植被覆盖的土壤的速效养分和全量养分均高于裸地(表4), 林地和草地的有机质含量分别比裸地高出21.4%和32.1%. 林地和草地的阳离子代换量分别是裸地的1.50倍和1.64倍.

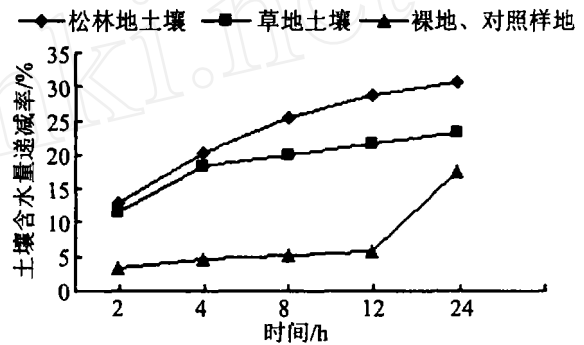


图1 三种地表类型土壤在20 cm深处水分动态变化
Fig.1 Moisture dynamic change of soil at 20 cm below surface under three cover condition

2.2 水土流失观测

水土流失观测样地有松林、阔叶林、草地、甘蔗地、芒果地和裸地 6 种类型。2004 年雨季的观测表明,松林、阔叶林、草地的地表径流量累计分别为 5.50 mm、12.80 mm、18.43 mm,而裸地的径流量高达 49.792 mm,是松林、阔叶林和草地的 3~10 倍(表 5);径流量高低排序为:裸地 > 芒果地 > 甘蔗地 > 草地 > 阔叶林 > 松林。由此可见,由于林草和经济果木的存在,地表径流量不同程度降低了。松林、阔叶林、草地三者降低地表径流量的比例(即地表径流量的控制率)为 63%~89%不等,甘蔗与芒果地也达到 44%~62%。

表 4 不同地类土壤的肥力性状*

Tab 4 Fertility of soil under different cover conditions

地类	速效 N /mg·kg ⁻¹	速效 P /mg·kg ⁻¹	速效 K /mg·kg ⁻¹	有机 / %	pH	全 N / %	全 P / %	全 K / %	阳离子代 /cmol·kg ⁻¹
松林地	93.99**	9.42	135.73	2.72	5.94	0.142	0.066	0.881	11.49
草地	95.92	9.74	128.07	2.96	6.06	0.158	0.071	0.944	12.55
裸地	55.74	6.41	120.39	2.24	6.21	0.109	0.042	0.440	7.65

*土壤速效 N——扩散皿法,土壤速效 P——Olsen法,土壤速效 K——原子吸收法,土壤有机质——K₂C₂O₇法,土壤全 N——开氏定 N法,土壤全 P,全 K——NaOH碱熔法。 **表中数值为各种地表类型 3 个代表样点的平均值。

表 5 2003 年雨季不同径流场水土流失量的比较

Tab 5 Comparison of amounts of surface runoff and soil loss among 6 plots in rainy season of 2003

测定指标	不同植被覆盖条件下的水土流失量					
	松林	阔叶林	草地	甘蔗地	芒果地	裸地
雨季降雨量 / mm	703.90					
雨季地表径流量 / mm	5.504	12.8	18.43	18.82	27.90	49.79
相对于裸地的径流控制率 / %	88.95	74.29	62.98	62.21	43.96	0.00
雨季土壤流失量 / t·km ⁻²	108.09	490.57	547.08	715.19	1 149.85	1 792.22
相对于裸地的流失控制率 / %	93.97	72.63	69.47	60.09	35.84	0.00

土壤流失量同样是裸地最高,松林地最低,两者分别为 1 792.22 t/km² 和 108.086 t/km²,其他介于两者之间。裸地流失量是松林、阔叶林和草地的 3~16 倍。土壤流失量排序与径流量的相同。与裸地相比,松林、阔叶林和草地三者降低土壤流失量的比例(即相对于裸地的流失控制率)为 70%~94%。甘蔗地和芒果地在雨季期间有一定比例的地表裸露,产生了较高的土壤流失量,但也比裸地减少了 36%~60%。

3 讨论

3.1 关于土壤因素受植被的影响

林草植被对土壤透水性有明显的影响。地表径流是水力侵蚀的主要外动力,其量值大小与土壤的透水性高低有密切关系。一般情况下,透水性越高,地表径流量越低。土壤透水性又进一步受土壤空隙度的影响,后者决定着前者的高低。观测结果显示,大红山铁矿林区地和草地的土壤质地比较疏松,总空隙度明显高于裸地,透水性好。另外,土壤透水性与土壤湿度有密切关系,土壤湿度下降时,通常其吸水性提高,透水性也相应提高。铁矿区林草土壤含水量在大雨过后能够很快回落,为土壤进一步吸收更多的水量腾出空间。林草土壤较高的透水性增强了土壤渗透作用,有效降低了地表径流量,削弱了土壤侵蚀水动力条件,缓解地表径流的形成及其对地表的冲刷。其中林地的作用强于草地。

林草植被对土壤抗蚀性有突出影响。抗蚀性是指土壤抵抗径流对其分散和悬浮的能力;抗蚀性强则土壤团粒结构稳定,不容易被径流破坏和夹带迁移;抗蚀性弱则结果相反,而且引起土壤透水性降低和形成泥浆层,即便在较弱的径流冲刷下也能导致强烈的土壤侵蚀。观测结果表明,铁矿区林草覆土壤遇水后分散相对缓慢,水稳性系数相对较高,抵御径流分散和悬浮的能力较强,土壤抗蚀性明显强于裸地。一般情况下,土壤有机质与土壤抗蚀性和水稳性系数有正相关关系,铁矿区草地、林地的有机质含量高于裸地,为其土壤具备较强的抗蚀性提供了保证。

土壤阳离子代换量是土壤胶体数量和品质的反映,代换量越高,表示对阳离子吸附力强的土壤胶体数量越多,土壤保肥力一般也较好。铁矿区林草地阳离子代换量高于裸地,其土壤养分含量也高于裸地,说明林地和草地的土壤肥力和保肥力均好于裸地,有利于植物、土壤微生物的生长,改良了土壤;这反过来有助于持续保持土壤的孔隙系统,加强土壤透水性,更增强了土壤的抗蚀性,可以有效减少土壤流失量。

3.2 关于植被对水土流失的影响

如果说前面对土壤因素的讨论间接说明了植被对土壤侵蚀的积极作用,这里的讨论则直接证明了植被控制水土流失的作用和效果。铁矿区林草生长地的地表径流量与土壤流失量一般都低于裸地,其地表径流控制率为63%~89%,土壤流失控制率为70%~94%,水土保持作用比较明显,尤其是松林、阔叶林的作用尤其突出。2004年雨季(5~10月)的降雨量接近当地水平,上述结果对当地具有普遍意义。

3.3 关于林草植被水保作用的意义

大红山铁矿区水土保持和生态复垦的重要内容是改善和恢复当地的植被面貌,利用植被手段保持水土。由于没有相关的研究资料,不能说明治理和复垦的效果,也不知能否达到国家强制性要求,矿区原有的水土保持和生态修复规划具有盲目性和风险性,而缺乏指导性。本研究以当地主要植被类型为例,初步揭示了大红山铁矿区原地貌林草植被的水土保持作用和潜能,为重新编制治理和复垦规划提供了依据。我们基于林草植被的作用和潜能,探讨过最终实现植被恢复后的矿区土壤流失状况^[1]。结果表明,矿区目前的土壤流失量为4.83万t/a;规划50a后完成植被恢复,届时强度及其以上级别的土壤流失量将会下降,中度及其以下强度的侵蚀量将会增加;虽然土壤流失面积变化不大,但是土壤流失总量将会下降为2.74万t/a,减少了43.27%。该结果证明大红山铁矿区运用林草植被控制水土流失将可能获得很好的治理效果。

4 结论

本研究从对土壤因子和对水土流失的影响两个方面,分析了林草植被对大红山铁矿区水土流失的控制作用,对比分析了裸地土壤与林草覆盖地土壤诸方面的差异,并用这些差异的量值代表植被的作用程度。结果表明,林草植被可以通过提高土壤持水性、增加土壤透水性和尽快降低土壤水分含量控制地表径流(侵蚀水动力条件);通过提高土壤水稳性和土壤抗蚀性、改善土壤肥力和促进植物生长增强土壤抵御侵蚀力的能力。研究结果还直接表明,林草植被对土壤侵蚀有明显的控制作用,与裸地相比,松林、阔叶林、草地对地表径流的控制率达到63%~89%,对土壤流失的控制率达到70%~94%,在云南山地处于比较明显的位置。本文是云南省首次对金属矿植被侵蚀控制作用的研究成果,对于大红山铁矿的水土保持具有一定的指导意义。随着研究的进一步深入,将能够为云南省的其他矿区提供借鉴。

参考文献:

- [1] 周跃,付玉彬,徐清艳,等.对云南新平大红山铁矿区土壤侵蚀预测技术的初步研究[J].云南地理环境研究,2005,17(1):19~23.
- [2] 周跃.山地灾害与生态工程[M].昆明:云南科技出版社出版,2004.
- [3] 周跃,李玉辉,Watts D. Potential of Yunnan pine forest on soil erosion control in the Hotiaoxia Gorge area, SW China[J].植物生态学报,2000,24(1):74~81.
- [4] 中科院南京土壤所.土壤理化分析[M].上海:上海科技出版社,1978:21~82.
- [5] 水利技术标准汇编编委会.水利技术标准汇编·水文卷·水文测验[M].北京:中国水利水电出版社,2002:181~192.
- [6] 查轩,唐克丽,张科利,等.植被对土壤特性及土壤侵蚀的影响研究[J].水土保持学报,1992,6(2):52~58.
- [7] 周跃.A Case Study on Effect of Yunnan Pine Forest on Erosion Control[M].成都:西南交通大学出版社,1999:32~49.