

采石场松散体坡面平铺生态袋绿化的水土保持效应

张华^{1,2}, 赵廷宁^{1,2}, 白麟^{1,2,3},
张成梁⁴, 韩雪梅^{1,2,5}, 许宗文^{1,2}, 冯明明^{1,2}

(1. 水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室, 北京 100083; 2. 北京林业大学 水土保持学院, 北京 100083;
3. 北京夏都水利工程有限公司, 北京 102100; 4. 轻工业环境保护研究所, 北京 100089; 5. 中国环境科学研究院, 北京 100012)

摘要:为研究生态袋技术在采石场松散体坡面的水土保持效应,利用 2011 年北京市房山区周口店镇采石场的 10 次产流资料,采用径流小区观测法,研究了生态袋技术在不同平均雨强(1.02, 5.07 和 12.05 mm/h)和不同坡度(20°, 25°, 30°, 35°)条件下对裸露松散体坡面的水土保持效应。结果表明,生态袋技术可以显著减少松散体坡面径流深和泥沙含量,其径流深和产沙量均小于对照,在不同平均雨强和坡度下可平均减少 25.2% 的径流深和 53.1% 的产沙量,在不同坡度下可平均减少 23.5% 的径流深和 60.6% 的产沙量。当平均雨强为 12.05 mm/h 和坡度为 35° 时的减流减沙效应最显著。相关分析结果表明,径流深、产沙量和雨强、坡度呈良好的相关关系。平铺生态袋绿化是解决松散体坡面水土流失的重要措施之一。

关键词: 采石场; 松散体坡面; 径流深; 产沙量; 生态袋技术

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2013)02-0111-05

中图分类号: S157.1

Soil and Water Conservation Effects of Ecological Bag Mulching on Loose Media Slopes in Quarries

ZHAO Hua^{1,2}, ZHAO Ting-ning^{1,2}, BAI lin^{1,2,3}, ZHANG Cheng-liang⁴,
HAN Xue-mei^{1,2,5}, XU Zong-wen^{1,2}, FENG Ming-ming^{1,2}

(1. Key Lab. of Soil and Water Conservation and Desertification Combating of Ministry of Education, Beijing 100083, China; 2. College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 3. Beijing Summer Capital Water-engineering Co. Ltd, Beijing 102100, China; 4. Environmental Protection Research Institute of Light Industry, Beijing 100089, China; 5. Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China)

Abstract: The major objective of this study was to understand the effects of ecological bag mulching on soil and water conservation on the loose media slopes in quarries. Based on the observed runoff data in ten rainfall events in 2011, the authors studied the changes of runoff and sediment yields under three rainfall intensities and four types of slopes with mulching of ecological bags in the experimental plots, located in Zhoukoudian County of Fangshan District. It was found that ecological bag mulching reduced significantly water losses and soil erosion; with the different rainfall intensity and slope, the observed runoff depth and sediment yield of the plots with ecological bag mulching were 23.5%~25.2% and 53.1%~60.6% lower than that of the control plot, respectively. The effects of reducing runoff and soil loss were most notable with a rainfall intensity of 12.05 mm/h and slope of 35°. The regression analysis indicated that runoff and sediment yield correlated closely with rainfall intensity and slope in general, while no corresponding relation were found between runoff depth and sediment yield in different rainfall intensity, vegetation and slope conditions. The mulching technology with ecological bags was one of the important measures in controlling soil erosion.

Keywords: quarry; loose media slope; runoff depth; sediment yield; ecological bag technology

收稿日期: 2012-04-21

修回日期: 2012-05-24

资助项目: 林业公益性行业科研专项“建设工程损毁林地植被修复关键技术研究及示范”(200904030)

作者简介: 张华(1982—), 女(汉族), 山西省怀仁县人, 博士研究生, 研究方向为水土保持与工程绿化。E-mail: zhanghua1982219@163.com。

通信作者: 赵廷宁(1962—), 男(汉族), 河北阳原县人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事水土保持与工程绿化研究。E-mail: zhtning@bjfu.edu.cn。

近年来,由于人类无序开山采石而使采石场原有地貌形态和地层结构遭到破坏,水土资源的破坏和损失极易产生滑坡和泥石流等自然灾害^[1-4]。此外,生物种群逐渐丧失,生态系统极度退化,最终导致采石场土壤植被恢复能力下降甚至完全丧失^[5]。如何重建破坏地区结构合理和功能完善的生态系统,首先要通过人类在遵循自然规律的基础上进行植被恢复与重建,使得因人类工程建设活动遭到破坏的矿区自然环境(扰动土地)得到修复和再生。对于采石场小于45°的堆积体坡面的植被恢复方法而言,常规整地法(即对采石场松散体坡面进行全面整地)自然恢复不仅恢复年限长,也达不到短期的水土保持目标;而平铺生态袋植被恢复技术不仅能缩短植被恢复时间,而且可在能短期内有效防止坡面径流泥沙的产生。

生态袋是一种水土保持及工程绿化技术产品,应用该技术具有植被出苗齐、成坪快、施工操作简单、工厂化生产产品不受季节和气候限制,适用于不同坡面与施工环境,可以有效防止坡面水土流失和促进坡面植被迅速恢复。目前,生态袋技术已在各类工程建设植被恢复中广泛应用,而且绿化效果显著^[6-7],但目前大多数学者在定性研究的施工和应用效果等,只有彭超^[8]等人进行了生态袋理化性能定量研究,同时对生态袋水土保持效应的影响研究报道鲜见。因此,本研究选取雨强和坡度等因素研究生态袋技术在松散体坡面的水土保持效应,从而通过应用生态袋技术使松散堆积体坡面的水土流失得到有效控制,为今后华北地区采石场植被恢复与重建提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 试验区概况

试验区位于北京市房山区周口店镇建设工程损毁林地植被修复技术试验示范区(115°25′—116°15′E, 39°30′—39°55′N),海拔约124 m。地处华北平原与太行山交界地带,华北低山石灰岩岩溶地貌,属于暖温带半湿润地区,全年平均气温4.0~11.7℃,多年平均降雨量655 mm,降雨主要集中在6—8月份^[9],占全年降雨量的80%以上。试验区土壤为采石场废弃渣土,属于素填土,土壤质地为多砾石砂壤土。试验坡面由废弃渣土自然堆积而成,平均土壤硬度4.3 kg/cm²,土壤表层以下透水性强,土壤容重0.87 g/cm³,0—20 cm地表土壤平均含水量14.23%,pH值9.1,有机质含量5.41%,全氮含量0.42%,全磷含量1%,全钾含量13.8%。坡面无植被,覆盖度为零。各试验区布设条件及坡向、坡长、表层土壤结构和初始土壤含水量基本一致,可供试验比较。

生态袋是用高分子材料聚丙烯添加其它添加剂制成的一种新型土工合成材料,规格为80 cm×40 cm,表层具有种子生长层,耐腐蚀性强、抗UV、透水不透土,既能防止填充物(土壤和营养合成物)流失,又能实现水分在土壤中的正常流动,使植物生长所需水分得到有效保持和补充,使植物容易穿过袋体,且植物根系能够顺利进入基础土壤中^[8]。

1.2 试验设计

试验利用径流小区观测法在天然降雨条件下进行。取雨强和坡度2个因素,设平均雨强小雨(1.02 mm/h)、中雨(5.07 mm/h)和暴雨(12.05 mm/h)共3水平,设坡度20°,25°,30°和35°共4水平,水土保持措施为平铺生态袋绿化,取常规整地法(即对采石场松散体坡面进行全面整地)自然恢复(CK)对比,共8组处理(表1)。

表1 试验设计分组

处理	立地类型	坡度/(°)	水土保持措施
1	松 散 体 坡 面	20	平铺生态袋绿化
2		20	常规整地法自然恢复
3		25	平铺生态袋绿化
4		25	常规整地法自然恢复
5		30	平铺生态袋绿化
6		30	常规整地法自然恢复
7		35	平铺生态袋绿化
8		35	常规整地法自然恢复

在试验区布设8个径流小区,投影为20 m×5 m,四周用石棉瓦完全隔离,底部用集流桶收集径流和泥沙。处理编号1,3,5和7号采取平铺生态袋绿化措施,其余处理为对照。生态袋表层需添加混播种子用量15 g/m²、混播比例为1:0.5:0.5:0.5:1,种子有高羊茅(*Festuca arundinacea*)、紫花苜蓿(*Medicago sativa* L.)、波斯菊(*Cosmos bipinnatus* Cav.)、紫穗槐(*Amorpha fruticosa* L.)、荆条(*Vitex negundo* var. *heterophylla*)。试验时间为2011年4—9月。经过植被调查测得平铺生态袋绿化的植被盖度7.8和9月分别为75%,95%和90%,其余对照小区植被盖度7月低于5%,接近完全裸露,8月为15%,9月为10%,有本土植物猪毛菜(*Salsola collina* Pall.)、狗尾草(*Setaria viridis*(L.) Beauv.)和圆叶牵牛(*Pharbitis purpurea*(L.) Voigt)等。

1.3 试验方法

选取2011年7—9月自然降雨形成的10次产流资料进行结果分析。用Vantage Pro2自动气象站采集降雨量和降雨历时数据。用降雨后集流桶中的径

流高度来折算一次降雨径流深(mm),同时将径流和泥沙充分搅拌均匀混合后取样并过滤,之后在 105 ℃ 下用烘箱烘干 24 h 称重,计算得出径流小区的产沙量(g)^[10]。

1.4 数据处理

应用 SPSS 18.0 统计软件将对照和生态袋的径流深和产沙量进行独立样本 *t* 检验,分析二者的差异显著性。按照不同平均雨强计算 10 次产流的径流深和产沙量,分析生态袋的水土保持效应,并用 SPSS 软件进行简单二元相关分析得出雨强和径流深以及产沙量的相关关系。按照不同坡度计算 10 次产流的总径流深和总产沙量,分析生态袋的水土保持效应,并应用 SPSS 软件进行简单二元相关分析得出坡度与径流深、产沙量的相关关系。

2 生态袋对松散体坡面的水土保持效应

2.1 生态袋对松散体坡面的减流效应

不同产流条件下各处理的径流深见表 2。2011 年 7—9 月北京市房山区周口店镇总降雨量为 361.1 mm,期间共产流 10 次,日降雨量、雨强及径流深详见表 2。由表 2 可以看出,尽管坡度和雨强均发生了变化,但总体的径流深变化表现为:生态袋<对照小区。经过独立样本 *t* 检验统计分析得出,不同产流条件下,只有坡度为 35°时的对照和生态袋的径流深差异不显著($p>0.05$),其余坡度下对照和生态袋的径流深均具有显著差异($p<0.05$),即当坡度为 20°,25°和 30°时,应用生态袋可以显著减少松散体坡面的径流深。

表 2 不同产流条件下各处理的径流深

mm

产流日期	降雨量/mm	雨强/ (mm·h ⁻¹)	20°		25°		30°		35°	
			对照	生态袋	对照	生态袋	对照	生态袋	对照	生态袋
20110701	0.51	0.5	1.24	1.23	4.53	4.19	4.97	2.17	2.70	3.29
20110718	12.95	6.5	3.34	3.72	4.33	3.91	8.54	8.88	4.31	2.64
20110720	10.16	2.9	3.19	3.42	4.02	3.72	7.95	8.77	14.92	12.02
20110724	75.18	15.0	3.19	3.47	4.17	3.86	8.24	8.99	14.38	6.59
20110726	3.05	1.5	2.25	3.38	3.92	3.44	7.35	5.31	2.34	1.48
20110729	57.15	5.7	3.42	3.72	4.28	4.00	8.44	9.31	15.82	5.93
20110814	69.34	15.4	2.49	1.48	3.27	1.63	6.46	3.90	10.43	5.77
20110815	23.37	4.2	3.30	3.72	4.18	4.09	8.24	9.53	14.74	14.00
20110910	10.40	0.8	2.80	0.30	4.07	1.30	8.14	2.38	9.53	0.66
20110916	21.80	10.9	1.40	0.17	4.02	0.42	6.16	0.87	2.52	0.99

2.1.1 不同平均雨强下的径流深变化 由图 1 看出,随着平均雨强逐渐增大,对照和生态袋小区的径流深均有所增大,但生态袋的径流深增大趋势缓于对照,当平均雨强为 12.05 mm/h 时,对照和生态袋的径流深分别达到最大。对 3 种平均雨强分别计算平均径流深得出,在 1.02,5.07 和 12.05 mm/h 这 3 种平均雨强条件下,生态袋比对照减少径流深的百分比分别为 16.4%,28.6%和 30.7%,当平均雨强为 12.05 mm/h 时,生态袋减少径流效应最显著。这说明生态袋对坡面径流的减小作用与平均雨强呈正相关关系,即对松散体坡面减流效果,随着平均雨强增大而增大,从而减缓了雨强对松散体坡面的水土流失影响。

2.1.2 不同坡度下的径流深变化 由图 2 看出,随着坡度逐渐增大,对照小区的径流深逐渐增大,而当坡度为 35°时,径流深达到最大;而生态袋小区的径流深出现先增后减趋势,当坡度为 30°时,径流深达到最

大。对 4 种坡度分别计算总径流深得出,在 20°,25°,30°和 35°这 4 种坡度条件下,生态袋比对照减少径流深的百分比分别为 7.6%,25.1%,19.3%和 41.8%,当坡度为 35°时,生态袋减少径流的效应最显著。这说明生态袋对径流的减小作用与坡度基本呈正相关关系,即对松散体坡面减流效果,随着坡度增大而增大,从而降低坡度对松散体坡面的水土流失影响。

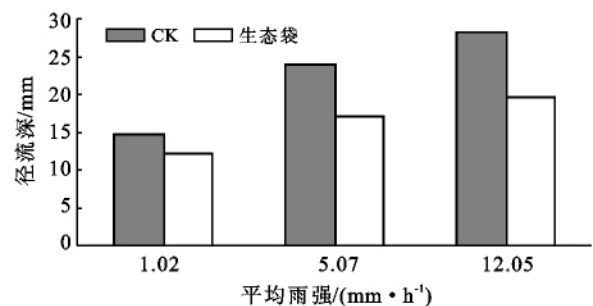


图 1 不同平均雨强下各处理的平均径流深

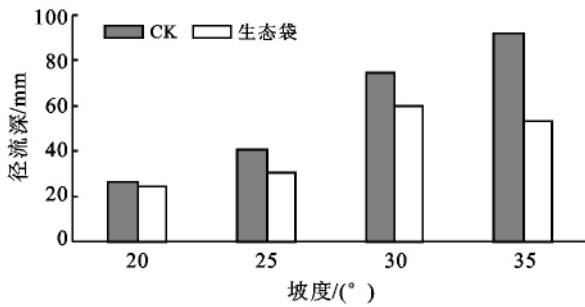


图 2 不同坡度下各处理的总径流深

2.2 生态袋对松散体坡面的减沙效应

不同产流条件下各处理的产沙量见表 3。由表 3 看出 10 次产流条件下, 尽管坡度和雨强均发生变化, 但总体的产沙量变化表现仍然是: 生态袋 < 对照小区。经过独立样本 t 检验统计分析得出, 不同产流条件下, 只有 35° 时的对照和生态袋的产沙量存在显著差异 ($p < 0.05$), 其余坡度下对照和生态袋的产沙量差异均不显著 ($p > 0.05$), 说明生态袋在 20°, 25° 和 30° 下对产沙量没有显著的减小作用, 只有在 35° 时才会对产沙量有显著减小的作用。

表 3 不同产流条件下各处理的产沙量

g

产流日期	降雨量/ mm	降雨强度/ (mm · h ⁻¹)	20°		25°		30°		35°	
			对照	生态袋	对照	生态袋	对照	生态袋	对照	生态袋
20110701	0.51	0.5	227.39	296.37	1 269.67	1 098.75	261.65	182.16	228.22	218.45
20110718	12.95	6.5	454.37	484.79	320.49	300.99	912.94	909.05	276.89	176.69
20110720	10.16	2.9	208.66	261.07	266.75	213.74	515.28	403.58	369.06	264.94
20110724	75.18	15.0	97.88	102.06	85.11	122.75	153.29	213.44	516.30	211.79
20110726	3.05	1.5	176.71	143.22	422.74	385.64	781.59	540.47	114.83	76.10
20110729	57.15	5.7	290.43	46.08	305.44	51.27	419.63	71.19	582.99	34.74
20110814	69.34	15.4	513.61	57.90	743.46	39.71	612.83	60.94	1 237.18	106.68
20110815	23.37	4.2	93.64	51.61	217.13	52.64	478.86	78.54	187.96	90.97
20110910	10.40	0.8	580.01	5.74	989.78	51.68	1 214.26	13.40	804.34	5.88
20110916	21.80	10.9	25.90	2.18	648.07	3.42	791.07	7.39	27.55	6.34

2.2.1 不同平均雨强条件下的产沙量变化 由图 3 看出, 随着平均雨强的增大, 对照的产沙量变化趋势不明显, 当平均雨强为 5.07 mm/h 时, 产沙量达到最大。而生态袋的产沙量随着平均雨强的增大逐渐减小, 且差异显著, 当平均雨强为 1.02 mm/h 时产沙量达到最大。

对 3 种平均雨强分别计算总产沙量得出, 在 1.02, 5.07 和 12.05 mm/h 这 3 种平均雨强下, 生态袋比对照减少产沙量百分比分别为 15.6%, 63.9% 和 79.9%, 当平均雨强为 12.05 mm/h 时, 生态袋减沙的效应最显著。这说明生态袋对产沙量的减小作用与平均雨强呈正相关关系, 即对松散体坡面减沙效果随着平均雨强增大而逐渐增加。

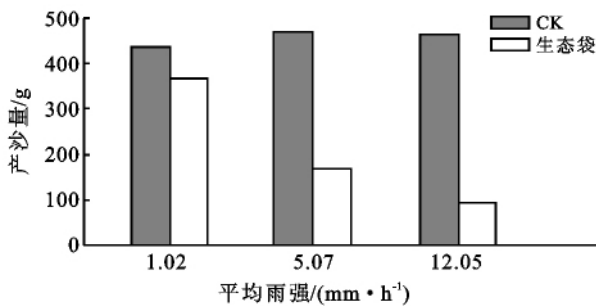


图 3 不同平均雨强下各处理的平均产沙量

2.2.2 不同坡度下的产沙量变化 由图 4 看出, 随着坡度的增大, 对照和生态袋产沙量变化趋势均为先增后减, 当坡度为 30° 时, 产沙量均达到最大。对 4 种坡度分别计算总产沙量得出, 在 20°, 25°, 30° 和 35° 这 4 种坡度下, 生态袋比对照减少产沙量分别为 54.2%, 56.0%, 59.6% 和 72.6%, 当坡度为 35° 时, 生态袋减少泥沙的效应最显著。这说明生态袋对产沙量的减小作用与坡度呈正相关关系, 即对松散体坡面减沙效果随着坡度增大而逐渐增加。

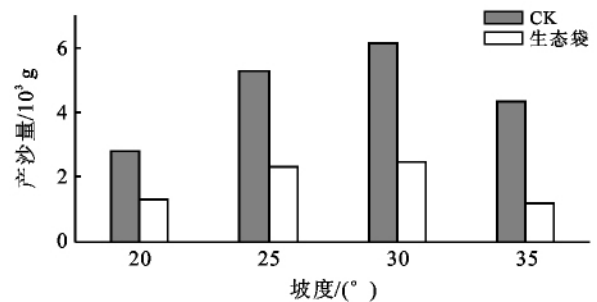


图 4 不同坡度下各处理的产沙量

由试验结果可以得出, 在不同平均雨强条件下, 生态袋可以显著减少径流深和产沙量, 即分别平均减少 25.2% 和 53.1%; 在不同坡度条件下, 生态袋同样可以显著减少径流深和产沙量, 即分别平均减少 23.5% 和

60.6%。生态袋减少松散体坡面径流和泥沙的效应均与平均雨强和坡度呈正相关关系,随着平均雨强和坡度的增大,生态袋防治水土流失的效应逐渐增强。

2.3 径流深和产沙量与各因素的相关关系

利用简单二元相关分析可以得出(表 4),除对照

的产沙量和雨强的相关程度不高之外,其余径流深、产沙量基本和雨强、坡度呈良好相关关系。相关关系的决定系数均值大小排序为:产沙量和坡度(0.98) > 径流深和雨强(0.88) > 径流深和坡度(0.84) > 产沙量和雨强(0.64)。

表 4 径流深和产沙量与各因素的相关关系

处理	径流深/mm				产沙量/g			
	雨强/(mm·h ⁻¹)		坡度/(°)		雨强/(mm·h ⁻¹)		坡度/(°)	
	R ²	p	R ²	p	R ²	p	R ²	p
对照	0.873	<0.05	0.970	<0.05	0.443	<0.05	0.989	<0.05
生态袋	0.888	<0.05	0.703	<0.05	0.845	<0.05	0.970	>0.05

3 结果讨论

生态袋技术可显著减少松散体坡面径流和泥沙,这与张旭昇^[11]研究雨强对产沙量减少的百分比可达 50% 以上及蔡强国^[12]在紫色土陡坡地应用石坎梯田减少侵蚀产沙量 97.8%~99% 的研究结果相似,说明常规整地方法下自然恢复受雨强和坡度等限制因素的影响较大,而生态袋技术具有较好的水土保持效应。

相关分析结果显示,除对照的产沙量和雨强的相关程度不高之外,其余径流深、产沙量基本和雨强、坡度呈良好的相关关系,产沙量与坡度和雨强具有良好的相关性这一结论与李君兰^[13]室内模拟降雨试验中得出的含沙量与雨强和坡度存在极显著相关的试验结果一致。这说明雨强和坡度是影响该地区水土流失的重要因素,而通过应用生态袋技术可以显著减少采石场松散体坡面的水土流失。有关铺设生态袋方式的水土保持效应研究以及生态袋技术的稳定性分析及成本分析还有待于进一步研究。

4 结论

(1) 生态袋可以显著减少松散体坡面径流泥沙,在不同平均雨强下平均减少 25.2% 的径流深和 53.1% 的产沙量,在不同坡度下平均减少 23.5% 的径流深和 60.6% 的产沙量。当平均雨强为 12.05 mm/h 和坡度为 35° 时,生态袋的水土保持效应最为显著。

(2) 径流深、产沙量基本和平均雨强、坡度呈良好相关关系。

(3) 平铺生态袋绿化是解决松散体坡面水土流失的重要措施之一。

[参 考 文 献]

[1] Giuseppe B, Laura C, Paolo M, et al. Monitoring of abandoned quarries by remote sensing and in situ sur-

veying[J]. *Ecological Modelling*, 2003, 170(2/3): 213-218.

[2] Carla K, Arnaud M, Jacques M. Spontaneous vegetation dynamics and restoration prospects for limestone quarries in Lebanon[J]. *Applied Vegetation Science*, 2003, 6(2):199-204.

[3] Jan N, Martin K. Proximity of valuable habitats affects succession patterns in abandoned quarries[J]. *Ecological Engineering*, 2006, 64(2):113-122.

[4] Clemente A S, Werner C, Máguas C, et al. Restoration of a limestone quarry: Effect of soil amendments on the establishment of native Mediterranean sclerophyllous shrubs[J]. *Restoration Ecology*, 2004, 12(1):20-28.

[5] 郝蓉,白中科,赵景逵,等.黄土区大型露天煤矿废弃地植被恢复过程中的植被动态[J]. *生态学报*, 2003, 23(8):1470-1476.

[6] 戴泉玉,晏晓林,顾卫,等.西北半干旱区公路下边坡植被建植技术的对比实验[J]. *公路交通科技:应用技术版*, 2007(3):50-53.

[7] 崔建国,田佳,赵廷宁,等.上辛庄开发建设项目水土保持试验示范基地植被调查[J]. *中国水土保持*, 2009(5): 22-24.

[8] 彭超,刘颖卓.论生态袋理化性能与生态护坡工程质量的内在关系[J]. *中国建材科技*, 2010(S2):237-241.

[9] 王淑玲.房山自然资源与环境[M].北京:中国农业科学技术出版社,2004:261-267.

[10] 喻定芳,戴全厚,王庆海,等.北京地区等高草篱防治坡耕地水土流失效果[J]. *农业工程学报*, 2010, 26(12): 89-96.

[11] 张旭昇,薛天柱,马灿,等.雨强和植被覆盖度对典型坡面产流产沙的影响[J]. *干旱区资源与环境*, 2012, 26(6):66-70.

[12] 蔡强国,吴淑安.紫色土陡坡地不同土地利用对水土流失过程的影响[J]. *水土保持通报*, 1998, 18(2):1-8.

[13] 李君兰,蔡强国,孙莉英,等.坡面水流速度与坡面含砂量的关系[J]. *农业工程学报*, 2011, 27(3):73-78.