

高速公路路堤边坡土壤侵蚀特征与保土效益研究

张春林¹, 张洪江¹, 江玉林², 张树华¹

(1. 北京林业大学, 北京 100083; 2. 交通部科学研究院, 北京 100029)

摘 要: 为研究高速公路路堤边坡土壤侵蚀特征以及拱形框架梁植物防护的水土保持效益, 选取了有代表性的三类植物配置进行定位观测和分析研究。结果表明: (1) 降雨量与土壤侵蚀量呈显著的正相关关系; (2) 在相同降雨条件下, 路堤弃土弃渣边坡坡面的土壤平均侵蚀量为 26 796. 7 t/km², 而拱形框架梁边坡三个实验区的土壤平均侵蚀量为 19 306. 4 t/km², 表明框架梁植物防护措施明显地减少了边坡土壤侵蚀量; (3) 在草本混播、草灌混播和草灌乔混播三类实验区中, 其土壤侵蚀量分别为 19 206. 4 t/km²、19 806. 6 t/km² 和 18 906. 3 t/km², 表明在植物生长初期一年内乔灌草混播类型保土效益优于草本混播和草灌混播类型。

关键词: 高速公路; 拱形框架梁; 土壤侵蚀

中图分类号: S157. 1; U412 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-3409(2007)03-0367-04

Study on Soil Erosion Characteristics and Soil Conservation Effect on Embankment Slope of Expressway

ZHANG Chun-lin¹, ZHANG Hong-jiang¹, JIANG Yu-lin², ZHANG Shu-hua¹

(1. Beijing Forestry University, Beijing 100083;

2. China Academy of Transportation Sciences, Beijing 100029, China)

Abstract: For studying soil erosion characteristics on embankment slope of expressway and soil and water conservation benefit of the combination between arching frame beam and vegetation, three representative plant allocations were selected to observe and research. The result shows as following: (1) It's significant relationship between precipitation and the amounts of the erosion; (2) Under the same rainfall term, the average amounts of soil erosion is 26 796. 7 t/km² on embankment slope of expressway, but the average amounts of soil erosion is 19 306. 4 t/km² on frame beam slope. It shows that vegetation protection measures with arching frame beam reduce clearly the amounts of the erosion. (3) In three experimental areas, the degree of soil erosion is different, the data expresses that the arbor-shrub-herb combination appear the better soil conservation benefit.

Key words: expressway; arching frame beam; soil erosion

近年,随着西部大开发的需要,大大地加速西部高速公路的建设,这不仅刺激了高速公路附近地区的经济繁荣和发展,同时对改善中国西部对外开放环境具有重要的作用,但是在高速公路建设中,对于环境与资源的破坏却是不得不面对的严峻事实^[1]。与不合理人类活动如陡坡种植、林木乱伐等相比,高速公路等开发建设项目对水土流失影响程度和作用方式与前者迥然不同,表现为特殊人为水土流失形式。高速公路水土流失是高速公路的施工建设活动为主要外营力的一种特殊的水土流失形式,是由于人为开挖坡面或堆放固体废弃物(废土、废渣及其它建筑材料)而造成的岩、土或其混合物的搬运、迁移和沉积过程,其结果导致高速公路建设中水土流失防治责任范围^[2-3]内水土资源破坏和损失。此外,高速公路水土流失是在强度人为扰动作用下形成的,与原地貌条件下水土流失发生发展迥异^[4-8]。

如何在修建公路的同时加强对生态环境的有力保护以及如何对破坏了生态环境进行有效恢复成为当前必须解

决的一道难题。本文旨在结合西部交通路域生态特征,研究高速公路边坡的植物恢复措施的水土保持效益,为今后建立公路水土保持技术体系提供参考依据。

1 研究区概况

本研究选择沪蓉西高速公路湖北宜昌至长阳(白氏坪)段作为研究区域,该段公路工程位于湖北省西南角,东接江汉平原,南邻湖南省,北部与湖北省神农架林区、秭归县相衔接,向西经过恩施、利川与重庆市相毗邻。介于东经 108. 23' ~ 111. 26', 北纬 29. 07' ~ 31. 24' 之间。路线所经过的行政区划有宜昌市所辖的宜都市、长阳土家族自治县。路线以宜昌长江公路大桥南岸为起点,长阳为终点,与沪蓉国道主干线长阳至利川段起点相连。

公路所经区域地形地貌复杂。地势西南高,东北低,自西向东呈梯级下降。沿线地貌是江汉平原向鄂西山区过渡的地带,绵延起伏,沟壑纵横。

* 收稿日期: 2006-11-09

基金项目: 交通部西部交通科技项目“公路路域与生态工程技术研究(20033182233)”的部分研究内容

作者简介: 张春林(1981-),男,硕士生,主要研究方向:生态环境工程; 责任作者: 张洪江(1954-),男,教授,博士生导师,主要研究方向: 流域管理和土壤侵蚀。

沿线所经历行政区域宜都市、长阳县地处中纬度,属亚热带大陆性夏热潮湿气候区,光照充足,雨量充沛,四季分明,雨热同期,无霜期长,据明显的大陆性季风气候特征。夏天受夏季风控制,降雨充沛,气候温暖湿润;冬天受冬季风控制,降雨较少,气候较寒冷干燥。年均气温 14~ 16. 7℃,极端最低气温为- 13. 8℃,最高气温 41. 2℃。无霜期 240~ 273 d。年均降水量 1 338~ 1 600 mm,年平均日照 1 571~ 1 704. 5 h。全年春秋短,冬夏长;夏季多梅雨,初冬至早春冷空气及寒潮频繁。主要气象灾害为干旱、暴雨和寒潮。

公路沿线土壤类型较多样,其成土母质主要是石灰岩、泥质岩类风化残积物、页岩、石英砂岩、第四纪黏土残积物和近代河流冲积物。不同母质在复杂的地势、水文、气候植被、自然因素和人为因素的影响下,形成不同类型的土壤,包括七大类,以黄棕壤面积最大,石灰土次之,再次之是黄壤、水稻土、棕壤、潮土等。土壤有机质含量中等、土层厚度、土壤类型成交叉垂直分布。

本项目区域内林草覆盖较高,宜都市地区内林草覆盖率达到 72%,长阳地区内林草覆盖率为 66. 1%。植被资源十分丰富、种类繁多,乔木 300 多种,灌木 200 多种,古老珍稀树种 10 余种。研究区分布较为广泛的是马尾松树,经济林果主要有柑橘、茶叶、油桐、板栗,主要造林树种有马尾松、杉木、柏木、紫穗槐、意杨及栎类。

2 研究内容和方法

为研究高速公路路堤拱形框架梁边坡的水土流失特征以及拱形框架梁植物防护的水土保持效益,以公路路堤边坡弃土弃渣观测小区和拱形框架梁观测小区作为对比进行分析。

2.1 实验小区概况

拱形框架梁小区布设在该段公路桩号为 ZK 10+ 918~ ZK11+ 080 之间,选取主体工程路堤边坡拱形框架梁作为实验观测区。实验选取的框架梁为路堤坡面平行上下两层框架,平均宽度为 2 m,坡度为 33. 7°,框架梁原始土壤含砾石较多。为了进行框架梁内植被的恢复,在路堤边坡的拱形框架梁格内覆填黄壤土,约 15 cm,该黄壤土含风化泥质页岩较多。另外,在植物措施中拱形框架梁内分别播种了不同的植物,并采取不用的混播类型进行对比,其具体植被配置如表 1。

表 1 拱形框架梁小区植物配置表

位置	混播类型	代号	植物组合及比例/%
ZK10+ 918~ ZK11+ 080 (拱形下边坡)	草本混播	H- 1	狼牙根(30)+ 白三叶(70)
	草灌混播	H- 2	高羊茅(8)+ 紫羊茅(2)+ 木豆(63)+ 山毛豆(14)+ 猪屎豆(13)
	草灌乔混播	H- 3	高羊茅(6)+ 紫羊茅(2)+ 木豆(48)+ 山毛 豆(11)+ 猪屎豆(9)+ 刺槐(11)+ 金合欢(13)

路堤边坡弃土弃渣观测小区位为公路桩号 ZK 10+ 794~ ZK10+ 915 之间,是路基开挖后的弃土弃渣顺坡堆砌于原路堤边坡上,经过削坡开级,成为两级边坡,总面积达 300 m²,中间为一个施工窄道隔开。一级边坡坡度为 35°,坡面植被覆盖不均匀,上侧覆盖率很低,有大量土壤裸露,下侧植被较多,但较集中,多为一年生和多年生草本,有鸡眼草(*Kummerowia striata*)、蒲公英(*Taraxacum mongolicum* Hand. - Mazz)、车前草(*Plantago asiatica* L)、艾蒿(*Artemisia argyi*)等,灌木则极少,种类有荆条(*Vitex negundo* var. *heterophylla*)、慈竹(*Dendrocalamus affinnis*)、葛藤

(*Pueraria libata*),植被总体覆盖率约为 30%。该坡面土壤为黄壤,砾石含量较多,主要粒径为 2~ 10 cm,最大直径达 60 cm;二级边坡坡度为 30°,植被覆盖率较低,大约为 10%。实验小区基本概括如表 2。

表 2 实验观测小区基本情况表

实验小区名称	坡度/°	土壤容重/ (kg·m ⁻³)	表面积 /m ²	植被状况
拱形框架梁防护边坡	33. 7	1500. 5	5132	-
路堤 级边坡	35°	1585. 6	150	块状分布
路堤 级边坡	30°	1585. 6	150	零星分布

2.2 研究内容

通过雨量计观测降雨量和降雨历时,以及由此计算出降雨强度,结合坡面土壤侵蚀深度分析研究拱形框架梁植物防护措施的保土效益,以及降雨因子对土壤侵蚀量的影响。

2.3 研究方法

在研究区内设置雨量计,观测每场降雨的降雨量及降雨历时。

路堤边坡土壤侵蚀厚度观测主要采取插钎法^[13],即在框架梁内均匀布设钢钎,根据框架梁大小竹钎分别在框架梁格内采取 2 行×2 列(宽 2 m,长 3. 5 m 框架梁)排列方式。在降雨后观测在不同植物混播类型下径流冲刷坡面的土壤侵蚀量。对每一种混播类型(包括草本混播、草灌混播和草灌乔混播三种)有代表地选取相邻 4 个框架梁,同等高度位置布设两个,同时下侧再布设两个,观测形成左右、上下对比其防护效果。观测时主要记录竹钎上红线标记距地面高度(即土壤侵蚀厚度),以及框架梁格内地表径流冲刷状况,由此计算土壤侵蚀深度以及土壤侵蚀量。在路堤边坡弃土弃渣观测小区同样采取插钎法,方法相同。

3 实验结果和分析

3.1 降雨特征分析

项目区地处鄂西南多雨区,属于亚热带季风气候,降雨充沛,一般较长的降水过程即雨季发生在 5~ 9 月份。根据雨量计观测和资料收集整理,实验区 2005 年 4 月 11 日到 2005 年 10 月 1 日的降雨纪录(间隔 12 个 h 以内的降雨量算作一次降雨),统计分析如表 3。

表 3 降雨量和降雨强度的量级分配

	降雨量量级/mm				平均强度量级/(mm·h ⁻¹)				总计
	< 5	5~ 15	15~ 30	> 30	< 2. 5	2. 5~ 5	5~ 10	> 10	
降雨场次	17	10	6	7	25	7	6	2	40
降雨总量/mm	50. 4	80. 4	127. 5	397. 1	204. 3	237. 6	180. 2	33. 3	655. 4

从表 3 中可看出,次降雨量小于 5 mm 的降雨即小雨共 17 次,降雨量合计 50. 4 mm,占总降雨量的 7. 7%,可见小雨场次虽多,但降雨总量很少;次降雨量大于 30 mm 的降雨(暴雨)量共 7 次,降雨量合计 397. 1 mm,占总降雨量的 60. 6%。由此可见,次降雨量大于 30 mm 的降雨量虽然次数不多,但所占比例最高,是总降雨量 655. 4 mm 的主要贡献者。次降雨量在 5~ 15 mm 和 15 mm~ 30 mm 降雨,两者基本接近,总比例为 31. 8%,而次降雨量小于 5 mm 的降雨量最少。平均降雨强度小于 2. 5 mm/h 的降雨量共 25 次,所占次数最多,降雨量合计 204. 3 mm,占总降雨量的 31. 2%,平均降雨强度在 2. 5~ 5 mm/h 的降雨 7 次,降雨量 237. 6 mm,占总降雨量的 36. 3%,平均降雨强度在 5~ 10 mm/h 的降雨 6 次,降雨量 180. 2 mm,占总降雨量的

27.5%, 雨强大于 10 mm/h 的降雨仅为 2 次, 降雨量为 33.3 mm, 占总降雨量的 5.1%。可见, 降雨强度主要集中在 10 mm/h 以下, 其降雨量占整个观测期间降雨总量的 95%。

3.2 降雨与坡面侵蚀量的关系

坡面土壤侵蚀发生除受土地利用、地表植物种类及其生长状况、地形、土壤和地质等因素影响外, 最根本的动因是外

表 4 降雨特征与土壤平均侵蚀量对应关系表

时间 2005 年)	5- 18	5- 22	5- 31	6- 7	7- 11	7- 26	8- 5	8- 17	8- 23	9- 7	9- 28
降雨量/mm	14.0	19.1	2.8	49.4	164.8	95.8	30.8	91.9	65.8	22.7	14.3
平均降雨强度/(mm·h ⁻¹)	1.75	0.96	0.56	2.15	19.39	5.12	6.16	4.70	1.40	0.40	0.90
平均侵蚀量/(t·km ⁻²)	H- 1	750.3	1200.4	150.1	1350.5	6302.1	3301.1	1200.4	3001.0	1800.6	750.3
	H- 2	900.3	1275.4	375.1	2100.7	5701.9	3901.3	1050.4	3151.1	1425.5	900.3
	H- 3	900.3	900.3	600.2	1950.7	5401.8	3151.1	1650.6	2700.9	1200.4	450.2

将降雨量、降雨强度分别与土壤平均侵蚀量进行相关性分析, 可得:

H- 1 植物类型实验区:

$M = 35.819R - 32.74(2.8 \leq R \leq 164.8, \text{相关系数 } r = 0.9823)$
(1)

$M = 1291.2\ln(I) + 890.86(0.40 \leq I \leq 19.39, \text{相关系数 } r = 0.8399)$
(2)

H- 2 植物类型实验区:

$M = 32.973R + 217.4(2.8 \leq R \leq 164.8, \text{相关系数 } r = 0.9707)$
(3)

$M = 1187.1\ln(I) + 1068.7(0.40 \leq I \leq 19.39, \text{相关系数 } r = 0.8290)$
(4)

H- 3 植物类型实验区:

$M = 29.884R + 180.05(2.8 \leq R \leq 164.8, \text{相关系数 } r = 0.9558)$
(5)

$M = 1186.9\ln(I) + 871.05(0.40 \leq I \leq 19.39, \text{相关系数 } r = 0.9005)$
(6)

式中: M ——平均侵蚀量(t/km^2); R ——降雨量(mm)。
 I ——平均降雨强度(mm/h)。

由式(1)、式(3)和式(5)可看出, 在拱形框架梁坡面上, 降雨量和与土壤侵蚀量进行线性拟合, 呈显著的一元线性正相关关系, 并且相关系数都大于 0.9, 说明研究区的土壤侵蚀量与雨量组合关系较好, 在不考虑影响坡面土壤侵蚀的其它因素的前提下, 随着降雨量增大, 土壤侵蚀量逐渐加大。见图 1、图 2 和图 3。由式(2)、式(4)和式(6)可以看出, 降雨平均强度与土壤侵蚀量关系不大。

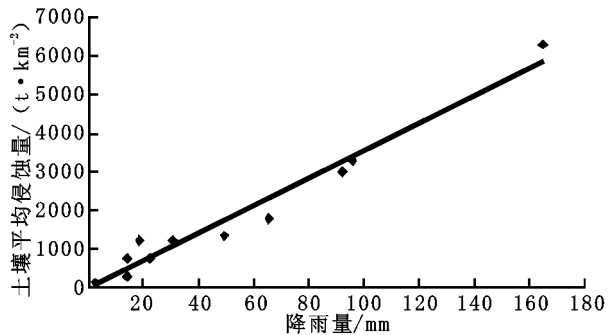


图 1 H- 1 植物类型实验区降雨量与土壤侵蚀量关系图

3.3 拱形框架梁植物防护措施的水土保持效益分析

根据已有研究成果^[18-20]可知, 植被在防治坡面土壤侵蚀的过程中具有很重要的地位。由于植被的存在, 不仅林冠层可以截留部分降水, 而且地表枯落物可以增加土壤涵养水

营力作用。本研究区导致坡面土壤侵蚀的外营力以水力为主, 包括降雨强度、降雨量等^[14]。由美国通用土壤流失方程式 $A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P^{f^{15-17}}$ 表明, 坡面土壤侵蚀与降雨侵蚀力 R 有关, R 的大小取决于降雨量、强度等。研究区 2005 年 5 月 18 日至 2005 年 10 月 1 日的降雨观测资料和拱形框架梁边坡土壤侵蚀量资料统计分析如表 4。

源和减弱地表径流流速, 具有较强的减少地表径流和土壤侵蚀量的作用。为了进一步探讨不同的植物混播类型对土壤侵蚀的影响, 在 标桩号 ZK10+ 918- ZK11+ 080 区段上, 选取主体工程路堤边坡拱形框架梁坡面作为研究对象, 分析不同的植物混播类型对土壤侵蚀的影响, 为高速公路建设中的植物筛选和配置提供参考。以下均为框架梁进行植物播种后植物生长 1 年内所起到的水土保持效果, 对于长期效果研究需建立长期观测实验站。

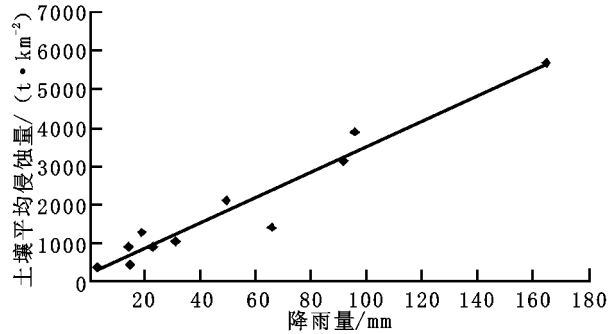


图 2 H- 2 植物类型实验区降雨量与土壤侵蚀量关系图

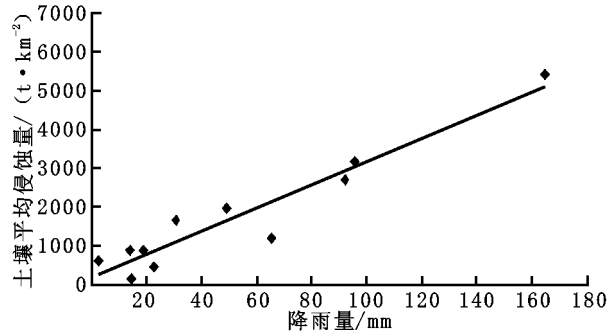


图 3 H- 3 植物类型实验区降雨量与土壤侵蚀量关系图

为分析拱形框架梁小区植物防护措施的水土保持效益, 特选取相临并坡向一致的一路堤弃土弃渣边坡作为参照对比。分析过程中选取了 5 月 18 日到 8 月 1 日共 8 场降雨, 总降雨量为 376.6 mm。经过计算得出, 见表 5, 在相同降雨条件下, 路堤边坡坡面的土壤平均侵蚀量为 26 796.7 t/km^2 , 而拱形框架梁边坡三个实验区的土壤平均侵蚀量为 19 306.4 t/km^2 , 即表明拱形框架梁植物防护措施明显减少了土壤侵蚀量(容重差异不大, 可忽略其影响)。

三种不同植物配置, 由于植物不同的生长周期以及植物特性等的影响, 在其生长初期(观测期为播种后一年时间) 内, 草灌乔混播类型的土壤侵蚀程度明显小于其它二者。不

过,需要注意的是,尽管草本混播植物类型单一,但是由于初期草本能够迅速郁闭地表,能够有效得拦截了降雨,减少了雨滴对地表的溅蚀作用,相比而言在生长初期能比灌乔发挥更大的水土保持作用。所以,在进行植物防护中,应合理搭配草灌乔,才能发挥最佳的水土保持效益。

表 5 拱形框架梁小区与路堤边坡土壤侵蚀对比表

小区	降雨总量 / mm	容重/ (kg·m ⁻³)	土壤侵蚀 厚度/ mm	土壤侵蚀量 /(t·km ⁻²)
H- 1	376. 6	1500. 5	12. 2	19206. 4
H- 2	376. 6	1500. 5	13. 2	19806. 6
H- 3	376. 6	1500. 5	12. 6	18906. 3
级边坡	376. 6	1585. 6	18. 3	29016. 5
级边坡	376. 6	1585. 6	15. 5	24576. 8

4 结 论

研究地区降雨量大部分是以暴雨产生的,次降雨量大于

30 mm 的降雨(暴雨)量共 7 次,降雨量合计 397. 1 mm, 占总降雨量的 60. 6%。将降雨量、降雨强度分别与土壤平均侵蚀量进行相关性分析,表明降雨量与土壤侵蚀有着显著相关关系,即降雨量越大,土壤侵蚀量相应也越大。

在相同降雨条件下,路堤弃土弃渣边坡坡面的土壤平均侵蚀量为 26 796. 7 t/km²,而拱形框架梁边坡三个实验区的土壤平均侵蚀量为 19 306. 4 t/km²,表明框架梁植物防护措施明显地减少了边坡的土壤侵蚀量。另外,在三种植物配置模式中,植被生长初期一年内草灌乔植物混播配置明显优于草本混播和草灌混播类型。但在生长初期,即郁闭前草本混播类型也具有不可替代的作用。

本次研究因受时间限制,降雨对公路边坡不用植物防护措施的土壤侵蚀分析研究还只是初步的,如能继续进行观测和分析不同防护措施下在整个植物生长期内公路边坡的土壤侵蚀规律以及水土保持效益,据以制定更加完善的水土保持措施,对于高速公路建设过程中的生态环境恢复将是非常有意义的。

(下转第 373 页)

(上接第 366 页)

图 4 和图 5 表明。因为生态垫可以抑制地表土壤蒸发,减少水分散失,覆盖生态垫的刺槐混交林林地与无覆盖刺槐混交林林地相比,各土层含水量变化幅度较小,在全年的各个月份,土壤含水量较高,林地土壤水分状况较好。

3.4 生态垫对人工林林下植被层物种多样性的影响

从林下植被层生物多样性指数(依植物群落调查统计重要值计算)计算结果(表 5)看,林外自然植被是自然群落,所以植物多样性最大,物种最均匀,群落中优势植物明显,虽然工程造林时,对自然群落干扰作用大,但人工林中植物多样性指数与林外相差较小,尤其是全覆盖刺槐混交林形成的植物群落接近自然群落。

表 5 试验区林下植被层物种多样性指数

林地类型	丰富度 指数/S	Simpson 指数优势	Shannon- Weaner 指数多样	Pielou 指数均匀
林外自然植被	27	0. 838	2. 163	0. 642
刺槐混交林	29	0. 632	1. 511	0. 454
全覆盖刺槐混交林	30	0. 834	2. 037	0. 599

3.5 生态垫对植物生长的影响

表 6 植物生长调查结果表明,除个别树种、个别指标以外,覆盖生态垫后的树种其 3 个调查指标值均增高,增加幅度的大小因树种而异,可见由于地表覆盖生态垫以后能防止地表吹蚀,抑制地表蒸腾,保存土壤水分,提高土壤温度,有利于植物生长。

4 结论和建议

龙庆峡荒滩植被恢复和重建中应用生态垫覆盖技术,具有以下效果。防止地表风沙活动,降低林内自然降尘量。在炎热的夏季,降低林内气温和气温日变幅,可降低植

物蒸腾,使其保持足够的水分维持正常生理活动。覆盖生态垫后地表温度升高,有利土壤保温,促进土壤微生物的活动,由于生态垫可以抑制地表蒸发作用,虽然林内空气湿度降低,但是能保持土壤水分,所以覆盖生态垫的林地土壤含水量高于未覆盖生态垫的林地。促进植株个体生长和林下植物群落的形成。

表 6 植物生长调查结果

cm

树种	一年生枝长	冠幅(平均值)	最长枝
全覆盖刺槐	19~ 31	300× 300	210~ 300
无覆盖刺槐	16~ 40	250× 400	300~ 450
全覆盖火炬	30~ 50	210× 230	180~ 220
无覆盖火炬	37~ 85	150× 170	95~ 110
全覆盖元宝槭	17~ 30	130× 155	140~ 210
无覆盖元宝槭	14~ 27	90× 125	90~ 150
全覆盖栾树	10~ 18	140× 160	80~ 100
无覆盖栾树	10~ 16	110× 130	80~ 90
全覆盖侧柏	15~ 38	80× 90	130~ 170
无覆盖侧柏	17~ 22	70× 80	120~ 170
全覆盖油松	3~ 20	230× 250	130~ 140
无覆盖油松	9~ 20	120× 130	110~ 120

荒滩人工植被恢复中使用的生态垫,虽然在防止地表吹蚀,抑制地表蒸腾,保存土壤水分,提高土壤温度等方面效果明显,适宜干旱及半干旱区土壤贫瘠的立地条件下造林使用。但是这类生态垫目前国内无法生产,依赖进口产品,成本较高,建议在以后植被恢复建设中,开展使用其他覆盖材料试验,用价格低廉、效果相当的覆盖材料代替生态垫。

参考文献:

[1] 刘平,马履一,郝亦荣.生态垫对河滩造林地土壤温度湿度和杂草的影响[J].中国水土保持科学,2006,(1):77- 81.
[2] 胡封兵,高甲荣,刘瑛.可降解生态垫在河滩区造林中对土壤含水量的影响[J].水土保持应用技术,2006,(3):1- 3.
[3] 王志泰.东祁连山柳灌丛群落物种多样性及干扰分析[J].山地农业生物学报,2005,(1): 22- 28.
[4] 阎传海.淮河下游地区针叶林群多样性研究[J].生态学杂志,1998,(2): 11- 15.

江流域地质构造和人类活动的影响,断裂带发育,岩石松软破碎,地表松散堆积物充足且植被破坏严重,为水土流失的形成提供了良好的条件^[3]。按县级行政单位汇总,屏山及以上金沙江流域 48 189 万 km²,水土流失面积 22 138 万 km²,占流域面积的 45.8 %^[4]。流域水土流失的这种特点,不仅可以使表土层的种子随水流走,由于根系不深,生长在土壤中的紫茎泽兰植株,也有部分会被水带至其他区域,尤其发生滑坡、泥石流等灾害时。

金沙江流域有大量紫茎泽兰分布。金沙江干流流经云南省的德钦、大理、楚雄、昆明、昭通等市(州),目前,大部分地区都有紫茎泽兰入侵的报道,尤其金沙江沿岸,更是紫茎泽兰入侵的重灾区^[7~8]。金沙江干流流经的攀枝花和凉山州都有大面积紫茎泽兰分布,并且金沙江岸边相对更严

参考文献:

[1] 毛榕,孟广涛,周跃. 云南省金沙江流域水土流失防治对策研究[J]. 水土保持研究, 2006, 13(1): 184– 185.

[2] 杨子生. 论水土流失与土壤侵蚀及其有关概念的界定[J]. 山地学报, 2001 , 19 (5) : 436– 445.

[3] 刘邵权,陈治谏,陈国阶,等. 金沙江流域水土流失现状与河道泥沙分析[J]. 长江流域资源与环境, 1999, 8(4): 423– 428.

[4] 李娜,林立相. 金沙江下游沿江七县滑坡灾害及其防治对策[J]. 水土保持通报, 1991, 11 (4) : 41– 46.

[5] 刘志民,赵晓英,刘新民. 干扰与植被的关系[J]. 草业学报, 2002, 11(4): 1– 9.

[6] 向业勋. 紫茎泽兰的分布、危害及防除意见[J]. 杂草科学, 1991, 5(4): 10– 11.

[7] 潘云祥,丁福先. 大理州关于紫茎泽兰的调查报告[J]. 云南畜牧兽医, 2003, (3) : 26.

[8] 赵国晶,马云祥. 云南省紫茎泽兰的分布与危害的调查研究[J]. 杂草科学, 1989, 3(2): 37– 40.

[9] 段惠,强胜,吴海荣. 紫茎泽兰(*Eupatorium denophorum*) [J]. 杂草科学, 2003, 17(2): 36– 38.

[10] 强胜. 世界性恶性杂草—紫茎泽兰研究的历史及现状[J]. 武汉植物学研究, 1998, 16(4) : 366– 372.

[11] 周俗,谢永良. 四川省毒害植物—紫茎泽兰调查报告[J]. 四川草原, 1999, (2) : 39– 42.

[12] 卢志军,马克平. 地形因素对外来入侵种紫茎泽兰的影响[J]. 植物生态学报, 2004, 28(6): 761– 767.

[13] 刘伦辉,刘文耀,郑征,荆桂芬. 紫茎泽兰个体生物及生态学特性研究[J]. 生态学报, 1989, 9(1) : 66– 70.

[14] 沈有信,刘文耀. 长久性紫茎泽兰土壤种子库[J]. 植物生态学报, 2004, 28(6): 768– 772.

(上接第 370 页)

参考文献:

[1] 房丹,张绪进. 公路工程水土流失与防治思路[J]. 重庆交通学院学报, 2006, 25(1) : 84– 86.

[2] 赵永军. 水土流失防治责任范围的界定[J]. 中国水土保持, 2005, (1) : 21– 23.

[3] 赵永军. 水土流失防治责任范围的界定(续) [J]. 中国水土保持, 2005, (2) : 19– 20.

[4] 史东梅. 高速公路建设中侵蚀环境及水土流失特征的研究[J]. 水土保持学报, 2006, 20(2): 5– 9.

[5] 余卫民. 渝湛高速公路水土流失的动态防治[J]. 公路, 2006, (7) : 223– 227.

[6] 钟元庆. 山区高速公路水土流失调查分析及保持措施[J]. 公路交通技术, 2003, (7) : 90– 92.

[7] 郭力,王小忠. 公路建设水土流失产生的机理及预测[J]. 公路交通科技, 2006, (6) : 141– 143.

[8] 王坚. 浅议高速公路建设项目的水土保持[J]. 科技情报开发与经济, 2006, 16(4): 96– 97.

[9] 李文银,王治国,蔡继清,等. 工矿区水土保持[M]. 北京: 科学出版社, 1996.

[10] 王礼先. 水土保持学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1995.

[11] 张洪江. 土壤侵蚀原理[M]. 北京: 中国林业出版社, 2000.

[12] 陈宗伟. 在建高速公路土壤侵蚀规律及其水土保持措施体系研究— 以湖北护蓉西高速公路宜长段为例[D]. 北京: 北京林业大学, 2006.

[13] 赵警卫,芦建国,王荣华. 七种生态护坡在高速公路边坡的应用效果[J]. 公路, 2006, (1) : 201– 204.

[14] 史志华,郭国先,等. 武汉降雨侵蚀力特征与日降雨侵蚀力模型研究[J]. 中国水土保持, 2006, (1) : 22– 24.

[15] Wischmeier W H. A. Rainfall erosion index for a univerasal soil loss equation[J]. Soil Science Society Prceedings, 1959, 23(3) : 246– 249.

[16] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting rainfall erosion losses, a guide to conservation planning[M]. Agricultural Hand Book US Department of Agriculture, Washington, DC, 1978. 537

[17] Jones J A , Swanson F J , etal. Effects of roads on hydrology, geomorphology, and disturbance patches in stream networks[J]. Conservation Biology, 2000, (14) : 76– 85.

[18] 毛榕,孟广涛,周跃. 植物根系对土壤侵蚀控制机理的研究[J]. 水土保持研究, 2006, 13(2) : 241– 243.

[19] 马金平. 植被保持水土效益研究综述[J]. 山西水土保持科技, 2005, (1) : 13– 15.

[20] 秦富仓,余新晓等. 小流域林草植被控制土壤侵蚀机理研究[J]. 应用生态学报, 2005, 16(9): 1618– 1622.