

黄土丘陵区山坡植物路防蚀效益试验研究^{*}

刘雪英¹,张芳琴²,郑世清^{3,4},王占礼^{3,4},田凤霞³,朱 磊⁵

(1. 延安市水土保持工作队,陕西 延安 716000;2. 咸阳市农牧局,陕西 咸阳 712000;

3. 中国科学院 水利部水土保持研究所,陕西 杨陵 712100;4. 西北农林科技大学

水土保持研究所,陕西 杨陵 712100;5. 榆林市榆阳区草原工作站,陕西 榆林 719000)

摘 要:黄土丘陵区土质道路侵蚀严重,在很大程度上影响了当地人们的生产和交通。在野外调查研究与定位监测的基础上,对该区土质道路硬地面次降雨侵蚀产流、产沙防蚀效益及其影响因素进行了初步探讨,为该区土质道路的侵蚀防治提供了科学依据。

关键词:道路侵蚀;植物路;防蚀效益;

中图分类号:S157.433

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2007)04-0016-04

Study of Biological Road Controlling Erosion in Loess Hilly Region

LIU Xue-ying¹,ZHANG Fang-qin²,ZHENG Shi-qing^{3,4},

WANG Zhan-li^{3,4},TIAN Feng-xia³,ZHU Lei⁵

(1. Soil and Water Conservation Station of Yan'an City, Yan'an, Shaanxi 716000, China;2. Agricultural and Husbandry Bureau of Xianyang, Xianyang, Shaanxi 712000, China;3. Institute of Soil and Water Conservation, CAS & MWR, Yangling, Shaanxi 712100, China;4. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;5. Yuyang Grasslands Station of Yulin City, Yulin, Shaanxi 719000, China)

Abstract :The earth road erosion is very serious in Loess hilly region ,which affects the local agro-productive activity and traffic.Based on the survey and monitoring data ,in this paper ,the preliminary results were reported about the runoff ,controlling erosion benefits and impact factors during rainfall event on the hard surface roads in this region ,which offeres scientific evidence for controlling road erosion in this region.

Key words :road erosion ;biological road ;control erosion benifits

山坡土质道路是处于村庄、田间之间,以实现田间生产、运输为主要目的而修建的农田作业道路。伴随着西部大开发及新农村建设以来黄土地区农业经济及生态环境建设的蓬勃发展,山坡土质道路被大量修建,以满足持续增长的各种农业生产与经济建设活动、资源开发、水土流失治理工程 etc 对山坡交通的需求与要求。然而,山坡土质道路的发展也使道路侵蚀问题进一步变得更加突出,带来了山坡新的水土流失等诸多问题。已建设的山坡土质道路忽视道路路面、边坡开挖面、边坡松散堆积物的防治,使其成为新的环境脆弱带,其水土流失程度明显高于非道路区,路面侵蚀更是如此。大量的山坡土质

道路路面土壤裸露,没有任何工程或生物措施保护,旱季通行时尘土飞扬,雨季泥泞或侵蚀沟纵横深切,通行能力极低且维护费用极高,形成了年年修路无路走的被动局面,并且对周围土地和环境造成不良生态危害,造成人力、物力、财力的严重浪费,对山区农业经济健康发展及生态环境建设造成不良影响。

山坡土质作业道路侵蚀严重的根源在于这种道路的裸露路面,经长期的人畜践踏和车辆碾压后,路面土壤结构破坏、地形下凹,不仅抗侵蚀能力降低,入渗能力减弱,而且还成为周围水沙汇集与输送的通道,因此产生的侵蚀及其危害相当严重。研究表明,山坡道路侵蚀已成为黄土地区侵蚀产沙的主要

^{*} 收稿日期:2007-06-23

基金项目:中科院知识创新项目(SW05105);国家重点基础研究发展计划(2007CB407200-5)

作者简介:刘雪英(1971-),女,陕西延安人,工程师,主要从事水土保持专业技术与管理。

通讯作者:郑世清,研究员。

来源之一,其土壤侵蚀模数是相同条件林地的250倍^[1]。不仅如此,山坡道路侵蚀还是沟谷系统演化发展的重要途径,黄土丘陵沟壑区诸多现代沟谷就是古道路演化的结果。然而,从目前情况看,把广大山坡生产型道路都改造成柏油路或石子路面是不现实的,而传统的道路修筑技术,又无法克服道路坡面集水和排水等所造成的道路侵蚀问题。实践证明,山坡植物路路面建设是解决这一问题的有效途径。在土质道路上种植植物,一方面能保护路面免受降雨直接打击,提高路面土壤入渗能力和抗侵蚀能力,减少暴雨径流对道路的冲刷、破坏,节约道路日常维护费用,提高道路的使用程度,并能集蓄雨水,使雨水资源得到充分利用,另一方面能减少人、畜、车辆与路面土壤的直接接触,减轻路面土壤遭受人畜践踏和车辆碾压的破坏程度,降低道路沙尘污染危害,植物根系相互配合、网络、缠绕固结土壤,能使植物地上部分与地下部分有机地结合起来使土体连成一体,形成有效的植物保护层,改善道路的小气候条件。因此,针对黄土地区道路侵蚀问题,开展黄土山坡植物路防蚀能力与建造技术研究势在必行。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

燕沟流域位于延安市南3 km处,东经109°20′~109°35′,北纬36°28′~36°32′,属黄土丘陵区第二副区。主沟道长8.6 km,流域面积46.88 km²,流域内梁峁起伏,沟壑纵横,地形复杂,土地类型多样。流域大致呈东南-西北走向,主沟道纵比降为2.41%。海拔高度986~1 425 m。流域处于暖温带半湿润气候向半干旱气候带过渡。年平均气温9.8℃,多年降水量为558.4 mm,其中6~7月份降水量占全年的70%以上,且多以暴雨形式出现。通过暴雨频率的计算,燕沟流域3 h最大暴雨量10 a一遇为42.0~76.1 mm,20 a一遇为46.4~97.0 mm,6 h最大暴雨量10 a一遇为49.5~89.9 mm,20 a一遇54.1~114.0 mm^[2]。

近年来由于大规模实施以生态植被建设工程与封山育林为主的退耕还林还草生态工程,石油资源开发工程,从而使得土壤侵蚀来自面上的侵蚀呈现下降趋势,但由于人类经济活动的需要,村庄、道路、石油井场等硬地面产生的侵蚀则不可避免急剧增加。燕沟流域通过近10 a大规模的水土保持综合治理,流域生态景观结构与生态-经济功能已形成五种基本的生态经济带。位于三级梁峁山顶上部或下部形成水土保持带,位于二级梁峁形成基本农田

带,位于一级梁峁形成水土保持-经济带。位于沟道川台区则形成生态保护与川坝地高效经济带,同时,在流域河道左岸梁峁顶部与沟道形成石油开发与环境保护带。伴随着燕沟流域工、农业经济及生态环境建设的蓬勃发展,山坡土质作业道路被大量修建,以满足持续增长的各种农业生产活动、资源开发,水土流失治理工程等对山坡交通的需求和要求。

1.2 研究方法

本研究主要采用实地考察、布设野外路段定位监测、植物路径流小区与室内人工模拟降雨试验相结合的研究方法。

人工降雨试验在黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室降雨大厅完成的。实验用土为陕西省延安市黄绵土,试验前期土壤含水量基本控制在10%左右,土壤容重为1.35 g/cm³,装土时分层装填夯实。实验槽长200 cm,宽55 cm,深35 cm,可进行坡度调节。实验分5个雨强和5个坡度:雨强分别为0.5,1.0,1.5,2.0,2.5,3.0 mm/min,由降雨大厅降雨器自动控制,每次实验前进行雨量测定;坡度分别为6°,9°,12°,15°,18°,通过可移动式实验槽调节,降雨历时60 min。

野外6种不同坡度定位监测路段布设在燕沟流域四岔铺村,坡度分别为10°,12°,14°,16°,18°,20°,坡长为50 m。植物路径流小区布设在燕沟流域鸡蛋峁村峁顶,坡长20 m、坡度0~12°,覆盖度为60%,在降雨停止后,径流泥沙监测数据通过对路边修建蓄水池径流搅浑取样烘干分析获取,在监测过程中不排除有农事活动。

2 道路侵蚀规律调查研究

随着延安石油资源开发与农业经济及生态环境建设的发展,大量的坡耕地退耕后,修筑梯田、筑坝造田、兴建道路网络已成为人们争取生存空间,缓和土地压力的有效途径,山坡道路网的建设不仅在区域开发与整治中,而且在小流域综合开发中,能加快物流循环进程,使劳动力进一步外延,提高土地质量的潜在价值,还可获取明显的社会、经济、生态效益。但从景观生态学角度看,道路既是连接相邻地域及社会单元的纽带,又是一种屏障,起着分离和隔离作用,道路的分割使的景观破碎,将原来完整自然坡面切割成孤立地块,并带来一系列生态问题,在一定的程度加剧了水土流失。山区道路建设与开通,打破了山坡地带封闭状态,促进沿线的人流、物流强度,同时也扩大了人类活动范围,使许多难以进入的地区变的可达或易于进入,从而使天然林保护区、生态

用地,矿藏资源等遭受人为破坏,诱发新的水土流失。研究表明,缺乏防护措施配置的作业道路侵蚀已成为黄土地区生态环境危害最集中,单位面积危害最严重的生态问题,并最终制约经济的发展。

山坡作业道路坡面作为一个环境脆弱带,其侵蚀特征属于硬地面产流冲刷侵蚀,同其它侵蚀一样,可分为水蚀、风蚀、重力侵蚀。其中水蚀又包括面蚀、沟蚀、溅蚀、洞穴侵蚀与悬沟侵蚀。而重力侵蚀主要包括崩塌、滑坡、泻溜侵蚀等。沟蚀是道路侵蚀的重要方式,对于路面凹凸不平,质地不匀,人为扰动面、车辙印、路面回填交界处、弯道内侧和路堑下部,若不防护极易形成这种侵蚀方式,并且发展迅速,对道路危害最为严重,在暴雨期间,道路路面成为整个坡面汇流排流通道的路堤、路堑易发生崩塌与滑坡,往往使得路面被冲毁,造成道路中断。通过对燕沟流域 10°,12°,14°,16°,18°,20° 五种坡度全年道路侵蚀调查,年道路侵蚀模数为 24 759.75 ~ 40 287.75 t/km²,坡度 10% 与 20% 道路侵蚀模数相差 1.63 倍^[3],由此可见,控制道路坡度是降低道路侵蚀的首要条件。通过对道路侵蚀较重要的类型沟蚀的调查与总结,分别得出了路面的 3 项构造因素坡度、道路弯道曲率半径、路面位置与沟蚀形成的程度、机率的影响关系,并根据调查与分析结果尝试性的得出了一个判别方程:

$$L = 7.55x + 3.49y + 0.638z$$

式中: x ——曲率半径的倒数(取值范围为 5 m,10 m,15 m); y ——路面坡度(0 ~ 15°); z ——路面部位级别值(根据沟蚀出现的机率分级,5% 以下为 0 级、5% ~ 10% 为 1 级、10% ~ 20% 为 2 级、20% ~ 30% 为 3 级、30% 以上为 4 级);这样,通过对道路 3 项因素的调查分析,可以对道路的沟蚀发生的程度以及机率作出预测。

3 试验结果与分析

3.1 野外定位监测结果

侵蚀监测数据获取主要通过山坡植物路示范路段和径流小区定点监测来完成,在 2003 ~ 2005 年期间,我们选择延安燕沟流域四岔铺上山段至无枣园南梁刺槐林段 3.015 km 植物路段进行雨后侵蚀调查,道路容重为 1.3 g/cm³,植被盖度为 50% ~ 60%,侵蚀模数为 6 109.5 t/km²,结果见表 1。

四岔铺上山段 - 无枣园南梁刺槐林段 3.015 km 山坡植物路路面不仅无侵蚀沟发生,而且路边蓄水槽、蓄水窑窖拦蓄道路上坡面径流泥沙量达到 6 109.5 t/(km² · a)。此外,在 2003 ~ 2005 年期间,我们还对燕沟流域鸡蛋卵坡度为 0 ~ 11° 路宽

2.8 ~ 4 m,植物覆盖度 50% ~ 60%,坡长 20 m 的小区,连续监测了 27 场降雨后的路面产流、产沙情况,实验数据进行分析研究,研究结果对于流域水土保持规划路面生态工程建设,以及科学评价路面生态工程的水土保持功能有指导意义^[4]。道路种草是很好的防蚀减沙措施,目前在一定范围的试验结果表明了它的可行性与水土保持效果。我们对不同坡度植物路在 3 a 内 27 场降雨 - 径流事件和 25 次产沙事件的试验结果进行分析,研究区 2003 ~ 2005 年产流降雨量变化在 5.7 ~ 101.1 mm,平均次降雨量 27.7 mm。不同降雨量事件发生概率大致为:10 mm 占 10%,10 ~ 25 mm 占 55%,25 ~ 50 mm 占 15%,50 ~ 100 mm 占 15%,100 mm 占 5%。引起道路产流产沙的降雨全部发生在 6 ~ 9 月。坡度是道路侵蚀强度、径流产量的关键因子,5 ~ 10° 坡的侵蚀强度是 3 ~ 5° 坡的 3.7 倍,0 ~ 1° 坡的 6.5 倍,5 ~ 10° 坡的径流深是 3 ~ 5° 坡的 2.44 倍,是 0 ~ 1° 坡的 3.66 倍。在 0 ~ 11° 坡度范围的 12 个小区测定结果表明,3 a 平均侵蚀模数 2 825 t/(km² · a),平均次降雨径流率 0.15,折合年平均径流系数为 0.07。该结果对于修建道路拦蓄径流的设计有重要参考价值。

表 1 山坡植物路示范路段侵蚀量监测结果

编号	路宽/m	路段长/m	坡度/(°)	面积/m ²	侵蚀量/kg
1	3.8	144	24	547.2	0
2	3.8	141	3	535.8	366.6
3	3.8	345	3 ~ 5	1311	1924
4	3.98	460	5	1830.8	1804.76
5	3.4	630	4 ~ 6	2142	4208.98
6	4.0	220	4 ~ 6	880	5434
7	4.2	390	12 ~ 14	1638	14835.46
8	4.3	80	8 ~ 10	344	5255.89
9	3.0	96	10 ~ 12	288	8463.78
10	4.3	85	8 ~ 10	365.5	4130.1
11	4.3	84	8 ~ 10	361.2	3931.2
12	4.5	70	8 ~ 10	315	4320.49
13	5.3	62	8 ~ 10	328.6	1338.73
14	3.9	150	14 ~ 16	585	1467.76
15	3.57	58	4 ~ 6	207.06	572.09
3015				11679.16	71353.84

3.2 室内人工模拟降雨试验结果

植物路和土质路同一坡度(15°)、不同雨强(1.0,1.5,2.0,2.5,3.0 mm/min)(组合 5 和组合 1)及同一雨强(2.0 mm/min),不同坡度(6°,9°,12°,15°,18°)(组合 2 和组合 6)次降雨侵蚀强度分别如图 1 和图 2。

从图 1 可以看出,在相同条件下植物路的次降雨侵蚀强度都比土质路的小,当雨强分别是 1.0,1.5,2.0,2.5,3.0 mm/min 时,植物路的次降雨侵蚀强度分别是土质路的 96.75%,46.82%,97.21%,9.07%,14.03%,植物路相对于土质路侵

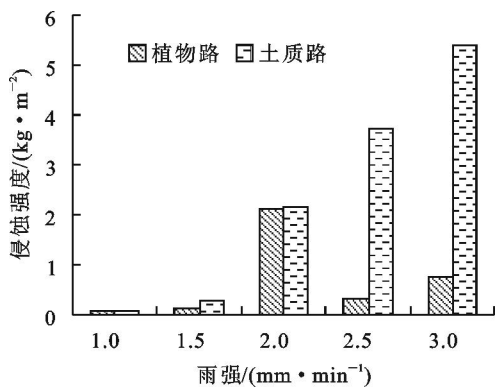


图 1 不同雨强侵蚀强度比较

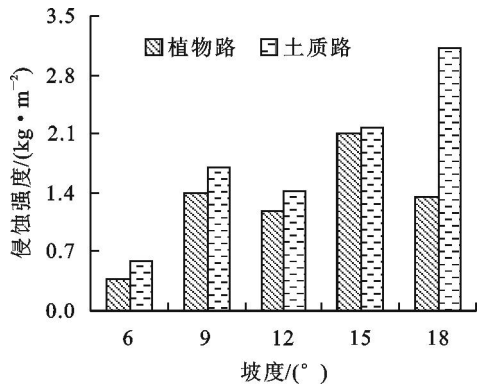


图 2 不同坡度侵蚀强度比较

蚀强度分别减少 3.25 % , 53.18 % , 2.79 % , 0.93 % , 85.97 % , 平均减少 47.22 % , 表明植物路相对于土质路起到了较好的防蚀作用。植物路相对于土质路侵蚀强度的减少率随雨强的增大其变化可用抛物线方程描述:

$$Y = 8.2126 X^2 + 7.7853 X - 5.3049 \quad R = 0.75$$

式中: Y ——植物路相对于土质路侵蚀强度的减少率(%) , X ——雨强(mm/ min)。

从图 2 可以看出,在相同条件下植物路的次降雨侵蚀强度也都比土质路的小,当坡度分别是 6 ° , 9 ° , 12 ° , 15 ° , 18 ° 时,植物路的次降雨侵蚀强度分别是土质路的 63.19 % , 82.39 % , 83.22 % , 97.21 % , 42.78 % , 植物路相对于土质路侵蚀强度分别减少了 36.81 % , 17.61 % , 16.78 % , 2.79 % , 57.22 % , 平均减少 26.24 % 。植物路相对于土质路侵蚀强度的减少率随坡度的增大表现为先下降后上升,并可用抛物线方程描述:

$$Y = 1.0643 X^2 - 24.675 X + 149.94 \quad R = 0.87$$

式中: Y ——植物路相对于土质路侵蚀强度的减少率(%) , X ——坡度(°)。

4 结 论

在对裸路与植物路小区侵蚀进行野外调研与定点监测的基础上,通过室内人工模拟降雨实验,对黄土丘陵区土质道路硬地面降雨产流产沙进行了分

析,得出如下结论:

(1) 通过对道路侵蚀较重要的类型沟蚀的调查与总结,分别得出了路面的 3 项构造因素坡度、道路弯道曲率半径、路面位置与沟蚀形成的程度、机率的影响关系,并根据调查与分析结果尝试性的得出了一个判别方程: $L = 7.55x + 3.49y + 0.638z$, 可以对道路的沟蚀发生的程度以及机率作出预测。

(2) 在 0 ~ 11 ° 坡度范围的 12 个小区测定结果表明,3 a 平均侵蚀模数 2 825 t/ (km² · a) , 平均次降雨径流率 0.15 , 折合年平均径流系数为 0.07 。通过对四岔铺至南梁刺槐林 3.015 km 道路生态工程调查,路面不仅无侵蚀沟发生,而且路旁蓄水槽、蓄水窑窖拦蓄泥沙量达到 6 109.5 t/ (km² · a) , 该结果对于修建道路拦蓄径流的设计有重要参考价值。

(3) 在相同条件下植物路的次降雨侵蚀强度都比土质路的小,当雨强分别是 1.0 , 1.5 , 2.0 , 2.5 , 3.0 mm/ min 时,植物路相对于土质路侵蚀强度分别减少 3.25 % , 53.18 % , 2.79 % , 90.93 % , 85.97 % , 平均减少 47.22 % , 表明植物路相对于土质路起到了较好的防蚀作用,其减少率随雨强的增大先增加最后又减小,并可用抛物线方程描述;当坡度分别是 6 ° , 9 ° , 12 ° , 15 ° , 18 ° 时,植物路相对于土质路侵蚀强度分别减少了 36.81 % , 17.61 % , 16.78 % , 2.79 % , 57.22 % , 平均减少 26.24 % , 其减少率随坡度的增大表现为先下降后上升,并可用抛物线方程描述。

(4) 在土质道路上种植植物,既能保护路面免受降雨直接打击,提高路面土壤入渗能力和抗侵蚀能力,减少暴雨径流对道路的冲刷、破坏,节约道路日常维护费用,提高道路的使用程度,并能集蓄雨水,使雨水资源得到充分利用,也能减少人、畜、车辆与路面土壤的直接接触,减轻路面土壤遭受人畜践踏和车辆碾压的破坏程度,降低道路沙尘污染危害,植物根系相互配合、网络、缠绕固结土壤,使植物地上部分与地下部分有机地结合起来,使土体连成一体,形成有效的植物保护层,改善道路的小气候条件。

参考文献:

[1] 曹世雄.在黄土高原丘陵区土质路面种草[J].生态学报,2005,25(7):1754-1763.

[2] 田均良,梁一民,刘普灵.黄土高原丘陵区中尺度生态农业建设探索[M].郑州:黄河水利出版社,2003.

[3] 郑世清,文婕英,殷振江.黄土山坡植物路防蚀理论与建造技术[J].水土保持研究,2005,12(5):95-98.

[4] 徐学选,琚彤军,郑世清.黄土丘陵区植物道路的降雨侵蚀试验研究[J].农业环境科学学报,2007,26(3):934-938.