

高速公路不同边坡土壤保持措施对土壤侵蚀速率影响分析

田耀武<sup>1</sup>, 田国行<sup>1</sup>, 苏金乐<sup>1</sup>, 朱红梅<sup>2</sup>

(河南农业大学林学院园艺学院, 郑州 450002; 2. 河南大学新区建设指挥部, 开封 475001)

摘要: 研究郑州西南绕城高速公路边坡不同土壤保持工程措施, 在一定植被盖度(90%、70%、50%、30%、10%)下, 不同降雨强度对土壤侵蚀速率的影响。按照区组试验设计, 对郑州西南绕城高速公路小拱架、方形网状、未实施工程措施的三种类型边坡在不同降雨强度下产生的土壤侵蚀速率进行了测定。建立一定盖度下, 土壤侵蚀速率与降雨强度关系 15 种模型。利用模型和降雨强度区间的不定积分计算不同工程类型的土壤保持效率。结果表明: 三种类型边坡, 土壤侵蚀速率随降雨强度呈幂函数增加; 小拱架、方形网土壤保持效率随盖度的增大而增大, 当盖度为 50% ~ 70% 时达到最大值, 后随盖度的增大而减小。小拱架土壤保持效率平均为方形网防护的 1.28 倍。

关键词: 边坡; 土壤侵蚀速率; 模型; 降雨强度; 植被盖度; 土壤保持效率; 小拱架工程防护; 方块网工程防护

中图分类号: S 157; U 412.366 文献标识码: A 文章编号: 1005-3409(2006) 01-0080-03

Analysis on the Influence of Soil and Water Conservation Means  
on Soil Erosion Rate of Freeway Slope

TIAN Yao-wu<sup>1</sup>, TIAN Guo-hang<sup>1</sup>, SU Jin-le<sup>1</sup>, ZHU Hong-mei<sup>2</sup>

(College of Forestry and Horticulture, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002;

2. Construction Headquarters of Henan University New Development Area, Kaifeng 475001, China)

**Abstract:** Based on the observed data of Zhengzhou southwest exurban freeway, the effects between soil erosion and rainfall are discussed with the vegetative cover rate (90%, 70%, 50%, 30%, 10%). According to the experimental scheme, some indexes of soil erosion rate were measured in small arch protection slope, pane protection slope and nature slope. And it simulated the soil and water loss equations between the soil erosion and rainfall intensity in five vegetation coverage levels. And results indicated that soil loss ratio decreased exponentially with the increase of vegetation cover, while it increased powerfully with the increase of rainfall intensity. The different ecological protection measures reduced effect under different rainfall intensity with different vegetation cover ratio levels. The protection efficiency increased with coverage rate. When vegetative cover was 50% ~ 70%, it reached the maximum, and then it decreased with vegetative cover. The arch protection efficiency was aveavgely 1.28 times than pane protection.

**Key words:** slope; soil erosion rate; model; rainfall intensity; vegetative cover; soil conservation ratio; arch engineering protection; pane protection

1 引言

高速公路土壤侵蚀主要发生在边坡上。对边坡土壤保持措施有工程措施和生物措施等。工程措施一般为边坡硬化、浆砌、方形、菱形网格框架; 生物措施为乔灌、人工或喷播植草防护等。边坡经工程措施改造后, 坡度、坡长、人工措施因子大体相同。由土壤流失方程(USLE), 影响土壤侵蚀的主要因子为降雨侵蚀力因子和工程措施因子。1936 年, 植物覆盖就被列为土壤侵蚀的一个影响因素。1940 年 Zingg<sup>[1]</sup>第一次给出土壤侵蚀速率的定量表达式。江忠善<sup>[2]</sup>根据陕北黄土丘陵区径流小区试验结果得到种植作物的农地与裸露农地土壤侵蚀速率的比值, 其他学者通过建立植被覆盖度与 C 因子关系式, 估算 C 因子<sup>[3,4]</sup>。但对不同工程措施下对土壤侵蚀速率产生

影响的研究比较少。本研究主要讨论郑州西南绕城高速公路边坡采取小拱架生态防护、大方形网格生态防护类型后, 在一定植被盖度下, 土壤侵蚀速率与不同降雨强度的变化。依据数理统计随机区组试验设计原理, 设计试验, 测量土壤侵蚀速率和降雨强度, 建立黄土沟壑地带土壤侵蚀速率与降雨强度模型, 定量分析比较不同工程措施的土壤保持效率。

2 研究地区与研究方法

2.1 研究地区概况

郑州西南绕城高速公路(34°36'N, 113°07'E)位于郑州西南 8 km, 面积 343.5 hm<sup>2</sup>。属温带季风气候。夏季水量充沛, 冬春干旱, 雨雪较少。年平均气温 14.2 ~ 14.6℃, 极端最高气温 43.0℃, 极端最低气温-17.9℃。年蒸发量 1 300

<sup>1</sup> 收稿日期: 2005-01-22  
基金项目: 河南省科技攻关项目(0424450009); 黄土沟壑地带高速公路景观和生态防护体系研究与示范(部分); 河南省科技成果(9412004Y0822)  
作者简介: 田耀武(1972-), 男, 河南省禹州市人, 研究生, 研究方向为城市景观生态。

mm, 年均降雨强度为 640 mm。无霜期 219~229 d。地面高程 236.0~110.0 m。土壤侵蚀以沟蚀为主, 伴随面蚀。

边坡坡度 46~48°; 坡长 10~12 m, 边坡防护草种以天堂草(90%) 为主, 间有狗牙根(*Cynoden dactylon*)、细叶结缕草(马尼拉) (*Zoysia japonica*)、锦鸡儿[ *Caragana sinica* (Buchoz) Rehd. ]、扁穗鹧冠草(*Agropyron cristatum* (L.) Gaertn.) 等。边坡土壤保持工程模式有两种: 单双多层小拱架混凝土防护, 拱架外沿突出、单拱架面积 12~15 m<sup>3</sup>; 方形混凝土防护, 单方形面积 150~250 m<sup>2</sup>。

2.2 材料与研究方法

2.2.1 试验材料

设边坡土壤侵蚀试验调查场 15 个, 按边坡土壤保持工程分 X<sub>1</sub>、X<sub>2</sub>、X<sub>0</sub> 共 3 类: X<sub>1</sub> 为小拱架生态防护类 5 个, X<sub>2</sub> 为方形防护类 5 个, X<sub>0</sub> 为没有土壤保持工程防护措施的对照类 5 个。X<sub>1</sub> 类中, 一个小拱架作为一个调查场, 面积为 10~15 m<sup>2</sup>; X<sub>2</sub> 中, 一个方形面作为一个调查场, 面积为 150 m<sup>2</sup>; X<sub>0</sub> 为在自然坡面上建宽 3 m, 长(高)5 m 的调查场。四周用硬质透明胶带与外部隔离, 胶带厚 1.5 cm, 埋深 20 cm, 外露 15 cm, 下方设置集流装置<sup>[5]</sup>。X<sub>1</sub>、X<sub>2</sub>、X<sub>0</sub> 调查场植被覆盖度分别为 90%、70%、50%、30%、10%。

2.2.2 调查方法

调查时间为 2003 年和 2004 年。  
测定 15 个调查场在 18 次降雨中产生的土壤侵蚀量, 计算土壤侵蚀速率, 土壤侵蚀速率为产生土壤侵蚀量与产生时间之比; 降雨量数值采用虹吸式自记雨量器记录数据, 降雨强度为降雨量与降雨时间之比。

2.2.3 数据处理

使用 SPSS 11.5, 对土壤侵蚀速率(*V*) 与降雨强度(*P*)<sup>[6~8]</sup> 曲线估计, 建立一定盖度下土壤侵蚀速率(*V*) 与降雨强度(*P*) 模型。

$$V = f(P) \tag{1}$$

2.2.4 X<sub>1</sub>、X<sub>2</sub> 效率计算

土壤保持量可表为潜在土壤侵蚀量与现实土壤侵蚀量之差<sup>[11~13]</sup>, 土壤保持率则为土壤保持量与潜在土壤侵蚀量之比。由土壤流失通用方程(USLE)知, 研究区内边坡在降雨强度、土壤可蚀性、坡长、坡度、植被盖度相同的情况下, X<sub>1</sub>、X<sub>2</sub>、X<sub>0</sub> 土壤侵蚀速率(*V*) 之间的差异主要是由不同的土壤保持工程措施引起。X<sub>0</sub> 与 X<sub>1</sub>、X<sub>2</sub> 土壤侵蚀速率之差则为工程措施土壤保持速率。土壤保持速率与 X<sub>0</sub> 之比则为工程措施土壤保持效率。

$$\delta = (X_0 - X_n) / X_0 \quad (n = 1, 2) \tag{2}$$

式中:  $\delta$ ——工程土壤保持效率; X<sub>0</sub>——对照地下一定植被盖度和降雨强度土壤侵蚀速率; X<sub>n</sub>——不同工程措施下产生的土壤侵蚀速率。

2.2.5 求降雨强度区间的定积分, 计算土壤保持工程效率

由定积分的概念和定义, 曲线定积分表示曲线在一定区间的面积。则土壤侵蚀速(*V*) 与降雨强度(*P*) 关系曲线模型表示在降雨强度区间内土壤侵蚀速率之和。可以求 X<sub>1</sub>、X<sub>2</sub> 内的土壤保持效率。

$$\delta = \frac{a}{b} [f(P)X_0 - f(P)X_n] dp / \int_a^b f(P)X_0 dp \quad (n = 1, 2) \tag{3}$$

式中:  $\delta$ ——一定植被盖度下, *a*、*b*——降雨强度区间, 研究区内根据降雨资料取值为 *a* = 2, *b* = 0。

3 结果与分析

3.1 一定盖度下, X<sub>1</sub>、X<sub>2</sub>、X<sub>0</sub> 土壤侵蚀速率(*V*) 与降雨强度(*P*) 模型

运用 SPSS 对所测数据进行曲线估计, 得到植被盖度为 90%、70%、50%。30%、10% 时, X<sub>1</sub>、X<sub>2</sub>、X<sub>0</sub>, *V* 与 *P* 的回归模型见表 1。

3.2 X<sub>1</sub>、X<sub>2</sub> 效率点散图

利用(2)式计算, 在植被覆盖度(*C*) 为 90%、70%、50%、30%、10% 时, X<sub>1</sub>、X<sub>2</sub>、X<sub>0</sub> 不同降雨强度(*P*), 两种工程的土壤保持效率。如 *C* = 90%, *P* = 1.0 mm/min 时, X<sub>1</sub> 土壤保持效率为 11%, X<sub>2</sub> 土壤保持效率为 15%。图 1~5 为 *C* = 90%、70%、50%、30%、10% 时, X<sub>1</sub>、X<sub>2</sub> 在不同降雨强度下土壤保持效率点散对比图。

表 1 土壤侵蚀速率与降雨强度关系模型

盖度	模型	<i>R</i> <sup>2</sup>	类型
<i>C</i> = 90%	<i>V</i> = 0.9669 <i>P</i> <sup>2.2109</sup>	0.855	X <sub>1</sub>
	<i>V</i> = 1.2019 <i>P</i> <sup>1.9469</sup>	0.776	X <sub>2</sub>
	<i>V</i> = 1.3331 <i>P</i> <sup>2.0625</sup>	0.774	X <sub>0</sub>
<i>C</i> = 70%	<i>V</i> = 0.5081 <i>P</i> <sup>2.7688</sup>	0.853	X <sub>1</sub>
	<i>V</i> = 0.5971 <i>P</i> <sup>2.3732</sup>	0.790	X <sub>2</sub>
	<i>V</i> = 0.7356 <i>P</i> <sup>2.7884</sup>	0.856	X <sub>0</sub>
<i>C</i> = 50	<i>V</i> = 3.0349 <i>P</i> <sup>2.1739</sup>	0.910	X <sub>1</sub>
	<i>V</i> = 3.0929 <i>P</i> <sup>2.6490</sup>	0.821	X <sub>2</sub>
	<i>V</i> = 4.1041 <i>P</i> <sup>2.5333</sup>	0.791	X <sub>0</sub>
<i>C</i> = 30%	<i>V</i> = 1.3761 <i>P</i> <sup>2.1206</sup>	0.941	X <sub>1</sub>
	<i>V</i> = 1.5820 <i>P</i> <sup>2.1926</sup>	0.940	X <sub>2</sub>
	<i>V</i> = 1.9911 <i>P</i> <sup>2.2561</sup>	0.942	X <sub>0</sub>
<i>C</i> = 10%	<i>V</i> = 8.0535 <i>P</i> <sup>2.0851</sup>	0.919	X <sub>1</sub>
	<i>V</i> = 9.1319 <i>P</i> <sup>2.2230</sup>	0.890	X <sub>2</sub>
	<i>V</i> = 10.0082 <i>P</i> <sup>2.3325</sup>	0.899	X <sub>0</sub>

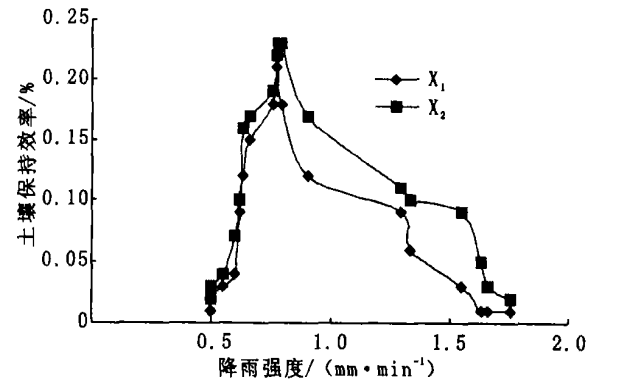


图 1 *C* = 90%, X<sub>1</sub>、X<sub>2</sub> 土壤保持效率点散对比图

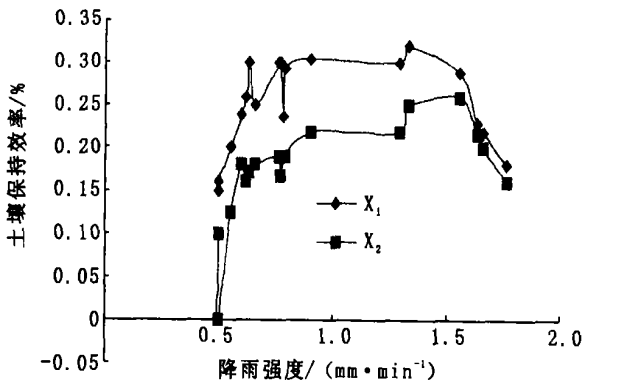


图 2 *C* = 70%, X<sub>1</sub>、X<sub>2</sub> 土壤保持效率点散对比图  
由图 1~5, 5 个植被盖度和降雨强度条件下, X<sub>1</sub> 土壤保

持效率都明显大于  $X_2$ ; 在  $P$  较小时,  $X_1$ 、 $X_2$  土壤保持效率 ( $\delta$ ) 都较小。随着  $P$  增大而  $\delta$  值逐渐增大。达到最大值后,  $\delta$  值逐渐减小; 最大  $\delta$  值降雨强度区间为  $0.5 \sim 1.0 \text{ mm/min}$ , 在  $P$  值较小和较大时,  $X_1$ 、 $X_2$  值都较小。

3.3  $X_1$ 、 $X_2$  在  $P=0.0 \sim 2.0 \text{ mm/min}$  降雨区间  $\delta$  对比分析  
利用表 1 各模型和 (3) 式, 求出  $P$  值在  $0 \sim 2.0 \text{ mm/min}$  区间的定积分、 $\delta(X_1)$ 、 $\delta(X_2)$  值(见表 2)。

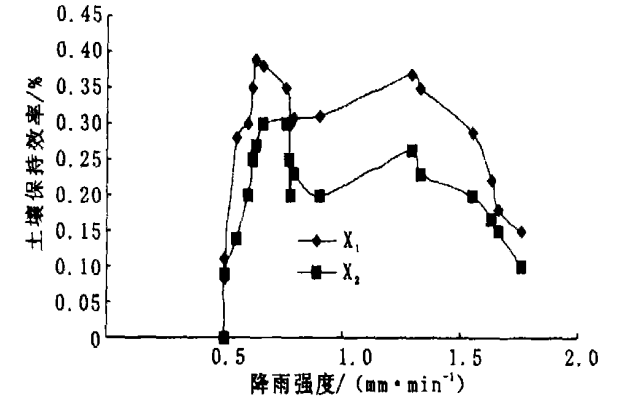


图 3  $C=50\%$ ,  $X_1$ 、 $X_2$  土壤保持效率点散对比图

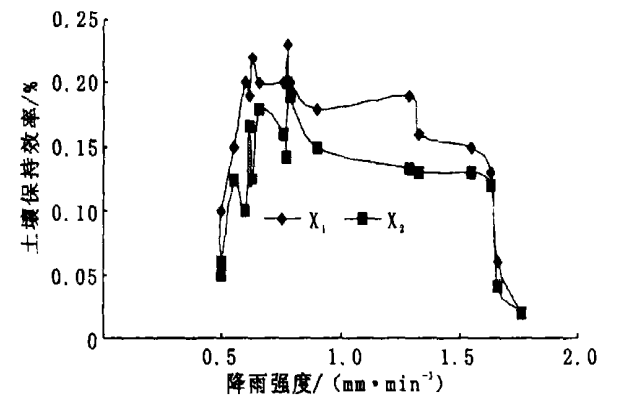


图 4  $C=30\%$ ,  $X_1$ 、 $X_2$  土壤保持效率点散对比图

$X_1$ 、 $X_2$  的  $\delta$  值随植被盖度( $C$ )的增大而增大。当  $C$  为  $50 \sim 70$  时,  $\delta$  值达到最大, 后随着植被盖度( $C$ )的增大而减小。 $\delta(X_1)/\delta(X_2)$  变化与  $\delta$  值相同。 $C=70\%$ ,  $\delta(X_1)/\delta(X_2)$  最大为 1.52;  $C=10\%$ ,  $\delta(X_1)/\delta(X_2)$  最小为 1.11;  $\delta(X_1)/\delta(X_2)$  的平均值为 1.28。

参考文献:

[1] Zinng A W. Degree and length of land slope as it affects soil loss in rainoff[J]. Agric ENG, 1940, 21: 59– 647.  
[2] 江忠善, 王志强, 刘志. 黄土丘陵地区小流域土壤侵蚀定量研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1996, 2(1): 1– 9.  
[3] 蔡庆, 唐克丽. 植被覆盖对土壤侵蚀的动力学分析[J]. 水土保持学报, 1992, 6(2): 47– 51.  
[4] Cook H L. The nature and controlling variables of the water erosion process[J]. Soil Sci Soc A M Proc, 1936, 1: 60– 64.  
[5] 水建国, 孔繁根, 郑俊臣. 红壤坡地不同耕作影响水土流失的试验[J]. 水土保持学报, 1989, 3(1): 84– 90.  
[6] 王万中, 焦菊英, 郝小品, 等. 中国降雨侵蚀力  $R$  值的计算与分布(1)[J]. 水土保持学报, 1995, 9(4): 5– 18.  
[7] 黄炎和, 卢程隆, 郑添发, 等. 闽东南降雨侵蚀力指标  $R$  值的研究. [J]. 水土保持学报, 1992, 6(4): 1– 5.  
[8] 周伏建, 陈明华, 林福兴, 等. 福建省降雨侵蚀力指标  $R$  值[J]. 水土保持学报, 1995, 9(1): 13– 18.  
[9] 谢云, 刘宝元, 章文波. 侵蚀性降雨标准研究[J]. 水土保持学报, 2000, 14(4): 6– 11.  
[10] 王万中, 焦菊英, 郝小品. 中国降雨侵蚀力  $R$  值的计算与分布( ) [J]. 水土保持学报, 1996, 2(1): 29– 39.  
[11] 章文波, 谢云, 刘宝元. 降雨侵蚀力研究进展[J]. 水土保持学报, 2002, 16(5): 43– 47.  
[12] 赵景柱, 肖寒, 吴钢. 生态系统服务的质量与价值量评价方法比较[J]. 应用生态学报, 2000, 11(2): 290– 292.  
[13] 吴钢, 赵景柱, 肖寒, 等. 长白山森林生态系统服务功能[J]. 中国科学, 2001, 31(5): 471– 480.  
[14] 肖寒, 欧阳志云. 森林生态系统服务功能及其生态经济价值评估初探[J]. 应用生态学报, 2000, 11(4): 482– 485.

表 2 一定盖度下, $X_1$ 、 $X_2$ 在 $P(0 \sim 2.0 \text{ mm/min})$ 上的 $\delta$ 值			
盖度/%	$\delta(X_1)\%$	$\delta(X_2)\%$	$\delta(X_1)/\delta(X_2)$
$C=90$	15.8	13.5	1.17
$C=70$	25.4	16.7	1.52
$C=50$	27.9	18.9	1.47
$C=30$	15.3	13.4	1.14
$C=10$	11.7	10.5	1.11

注:  $P=0 \sim 2.0 \text{ mm/min}$

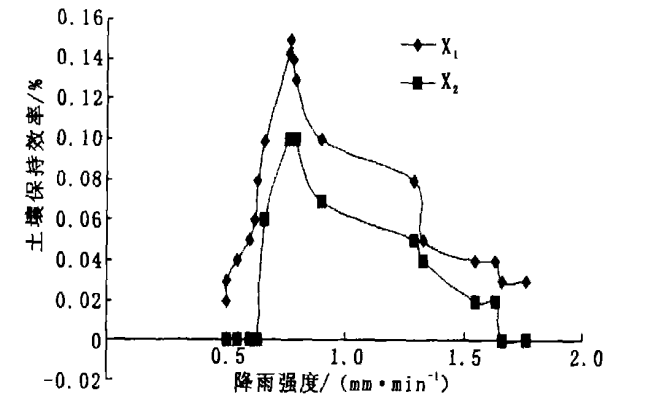


图 5  $C=10\%$ ,  $X_1$ 、 $X_2$  土壤保持效率点散对比图

4 结 语

- (1)  $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_0$  在一定植被盖度下的土壤侵蚀速率与降雨强度模型与有关研究结果一致, 土壤侵蚀速率随降雨强度的增大呈幂函数增大。
- (2) 小拱架边坡土壤保持类型效率高, 效果显著。方形框架土壤保持效率较低, 效果较差。小拱架边坡土壤保持类型效率平均为方形防护类型的 1.28 倍。
- (3) 土壤保持工程土壤保持效率随盖度的增大而增大, 当盖度为  $50\% \sim 70\%$  达到最大, 随后随盖度的增加而减小。
- (4) 充分利用各种园林绿化措施, 提高边坡植被覆盖率, 减少土壤侵蚀量。
- 土壤侵蚀工程措施影响方面, 文献研究较少, 本课题做了一些有益的探索。但是没有充分考虑土壤前期含水量和土壤可蚀性在公路景观改变中产生的变化等的影响, 在以后的研究加以考虑。