

黄土高原不同植被类型与降水因子对土壤侵蚀的影响研究

沈玉芳¹, 高明霞¹, 吴永红²

(1. 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨陵 712100; 2. 中国科学院水生生物研究所, 湖北 武汉 430072)

摘要: 根据辛店沟 1955 年到 1959 年坡面径流小区的观测资料, 分析了不同植被(高粱豇豆、苜蓿、草木樨)被覆度与降水(包括雨量(P)、雨强(I)以及 PI 乘积(PI_{30}))与侵蚀速率的关系。结果表明土壤侵蚀速率随雨量, 雨强及 PI 乘积的增加呈幂函数增加, 但随被覆度的增加呈下降趋势。在 PI_{30} 相同时, 不同植被对土壤侵蚀速率的影响也不同。应用 U SLE(The Universal Soil Loess Equation) 分别模拟了三种不同植被被覆度与降水因子对土壤侵蚀的关系方程和辛店沟全流域的水土流失方程; 深入探讨了植被被覆度和降水对土壤侵蚀的作用规律。

关键词: 水土流失; 被覆度; 侵蚀速率; 模型

中图分类号: S157.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2003)02-0013-04

Researches of the Effects of Vegetation Types and Rainfall on Soil Erosion on Loess Plateau

SHEN Yu-fang¹, GAO Ming-xia¹, WU Yong-hong²

(1. College of Resource and Environment, Northwest University of Agriculture and Forestry, Yangling 712100, Shaanxi, China; 2. Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, Hubei, China)

Abstract: Based on the observed data from 1955 to 1959 from runoff plots in Xindian Gully of Suide Soil and Water Conservation Experiment Station, effects of vegetation cover, vegetation types, rainfall and its intensity on soil erosion were discussed. And the results indicated that soil loss ratio decreased exponentially with the increase of vegetation cover, while it increased powerfully with the increase of rainfall, rainfall intensity and PI_{30} . Based on the principle of U SLE (The Universal Soil Loess Equation), soil and water loss equations were simulated across the whole watershed. The main characteristics and laws of soil and water conservation by vegetation and rain are comprehensively expounded, and its systematic summarization is made.

Key words: soil and water loss; vegetative cover; soil erosion ratio; model

1 前言

自从土壤侵蚀研究开始, 人们就认识到植被对于防止土壤侵蚀的重要作用^[1], 植被是防止水土流失的积极因素, 破坏地表植被, 必将导致水土流失的进一步加强。植被覆盖层减小了雨滴对地面的打击, 并由于增加地面糙率而减小了流速, 气流或者水流的作用力被分散在覆盖物之间, 地表的覆盖因素完全承受了原来作用于地表土粒上的力, 并且植被覆盖物腐烂后可以增加土壤有机质的含量, 进一步改善土壤的理化性质^[2-4]。

Barr 等人通过对许多作物小区径流与泥沙的统计分析, 利用非线性曲线拟和的方法, 得出了作物残渣覆盖下土壤流失与作物残渣覆盖度之间的关系:

$$M = ae^{-bF} \quad (1)$$

式中: M ——土壤流失量; a 、 b ——常数; F ——作物残渣覆盖

度。

应用这一公式发现, 这一公式对于地表覆盖度(包括非活性地表覆盖物等)与风蚀的土壤流失量有很好的相关性, 但是野外径流试验小区上所获得径流泥沙资料, 都不可避免的受次降雨的降雨量和降雨强度等的影响。为了进一步深入阐述坡面径流小区上的土壤侵蚀变化规律及其与相关因子之间的关系, 本论文通过分析不同时期、不同类型坡面径流小区的观测资料, 对植被覆盖度与降水等因子对土壤侵蚀的影响进行了研究。

2 材料与方法

2.1 数据的获取

选择了绥德水土保持科学实验站辛店沟流域的数据作为分析对象。辛店沟位于无定河中游左岸, 黄土层深厚, 土质疏松, 土壤主要为黑垆土型的侵蚀土, 有机质含量 0.3% 左

右,耕地坡度在 $10^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 之间。年平均降水量 475.9 mm,汛期的降水量占年降水量的 72.5%。由于暴雨多,土疏松,坡度陡,植被差,水土流失严重。根据 1954 年~1960 年观测的

资料统计,坡耕地年均流失水量 $270 \text{ m}^3/\text{hm}^2$,流失土壤 $67.5 \text{ t}/\text{hm}^2$ 。其中辛店高粱豇豆试验场、苜蓿试验场、草木樨试验场基本参量如下表 1:

表 1 三个不同试验场的基本状况

	坡 向	坡 度	坡长(倾斜)/m	坡宽/m	投影面积/ m^2	测验设备
高粱豇豆场	南偏西	14.41	20.7	5	100	石板池
苜蓿场	西 南	34.15	24.2	5	100	砖砌池
草木樨场	西 南	32.47	23.8	5	100	砖砌池

注:试验场位于平沟玛,土壤类型为黄绵土。

2.2 数据处理

根据通用流失方程的原理可知,对于同一坡面小区而言,其土壤、坡长、坡度以及管理因子等是相同的,其变化的主要因子是植被覆盖度以及降雨等因子的变化,基于此,我们认为,在同一坡面的径流小区上,存在如下关系:

$$M = a(PI)f(C) \quad (2)$$

进一步变化后是:

$$M = \frac{M}{PI} = af(C) \quad (3)$$

式中: M ——土壤侵蚀模数; PI ——降雨量与最大 30 min 雨强的乘积; C ——覆盖度; a ——常数。

降雨是产生水蚀的直接因子,但不是每一次降雨都产生侵蚀^[6~8]。根据长期定位水土流失与防护林效益观测资料,分析了黄土残塬沟壑区的降雨侵蚀。研究结果表明^[9],当降雨达到一定量级才能产生土壤侵蚀,侵蚀性降雨的标准为 10 mm/次,产生严重土壤侵蚀的降雨标准为 30 mm/次,造成极为严重侵蚀的是降水频率为 5% 的大暴雨和降雨强度 1.0 mm/m in 的降雨。因此,本文在分析降水因子时尽量选择数值差异较大的,以便能够更好地反映降水与土壤侵蚀的关系。在 1955~1959 年时间段里,选择被覆度 5%、25%、70% 时来研究 PI_{30} 与土壤侵蚀速率的关系;选择被覆度为 5%、35%、70% 时来研究降雨量与土壤侵蚀速率的关系;选择被覆度为 5%、45%、70% 时来研究降雨强度与侵蚀速率的关系。

3 结果与分析

3.1 降水与土壤侵蚀的关系

3.1.1 不同被覆度下降雨量与土壤流失量的关系 研究表明^[11]降雨量与土壤流失量呈幂函数关系:

$$M = ap^b \text{ 或 } \ln M = \ln a + bp$$

式中: M ——土壤流失量 (t/km^2); p ——一次降雨量 (mm); a, b ——系数,其中 $b > 1$ 。

实测黄土高原地区降雨量同土壤侵蚀(用侵蚀速率表示)的关系曲线见图。从图 1、2、3 可以看出年际之间降雨量与侵蚀速率有较好的幂函数关系,土壤侵蚀速率随着降雨量的增加而增大;不同植被之间随被覆度的不同,水土保持效果也不同,在 $C = 5\%$ 时,降雨量相同时,豇豆的保持效果最好,在 $C = 35\%$ 或 70% 时,草木樨水保效果最好。其降雨量与侵蚀速率(以 $C = 35\%$ 为例)有如下关系模式:

$$\text{豇豆场: } V = 0.1521P^{1.0434} \quad R^2 = 0.913;$$

$$\text{苜蓿场: } V = 0.1547P^{1.0296} \quad R^2 = 0.9213;$$

$$\text{草木樨场: } V = 0.1443P^{1.038} \quad R^2 = 0.9146$$

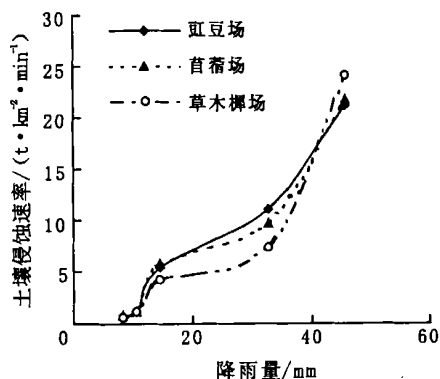


图 1 1955~1959 年 $C = 5\%P$ 与 V 的曲线

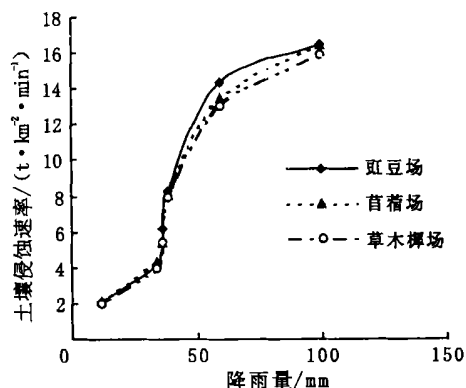


图 2 1955~1959 年 $C = 35\%P$ 与 V 的曲线

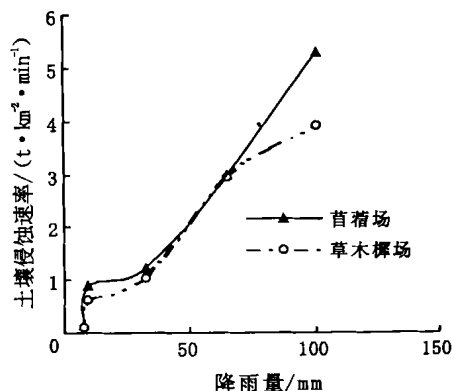


图 3 1955~1959 年 $C = 70\%P$ 与 V 的曲线

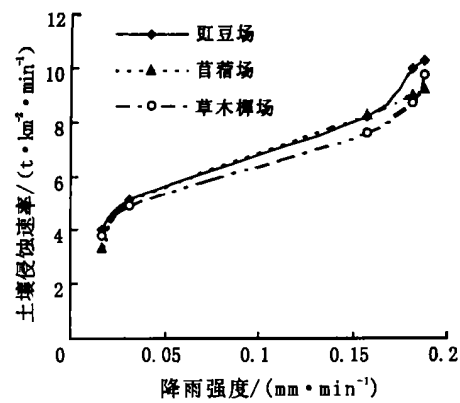


图 4 1955~ 1959 年 $C=5\%I$ 与 V 的曲线

3.1.2 不同被覆度下降雨强度与土壤侵蚀的关系 黄土高原土壤侵蚀与降雨强度关系曲线见图 4~ 6。从图中可以看出雨强与土壤侵蚀量之间存在较好的幂函数关系, 这与其他研究者所得幂函数的关系相同^[12]。在不同植被覆盖度条件下, 降雨强度与土壤侵蚀速率之间的关系也发生了变化。在较低的覆盖度条件下(5%), 降雨强度对土壤侵蚀的影响是主要的, 不同植被类型覆盖条件下侵蚀速率与雨强之间的关系具有相似的变化趋势, 即随着雨强的增加而迅速增加; 随着植被覆盖度的增加, 土壤侵蚀速率逐渐降低, 不同植被覆盖条件下的侵蚀速率的变化趋势也发生了变化, 在较大雨强下的土壤侵蚀速率增加趋势减缓。

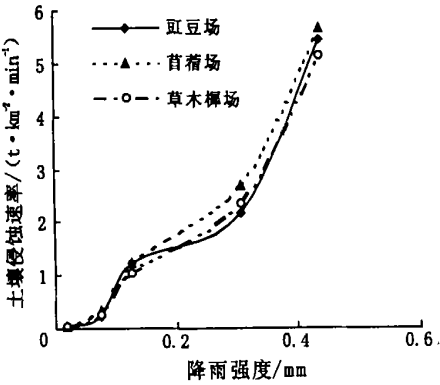


图 5 1955~ 1959 年 $C=45\%I$ 与 V 的曲线

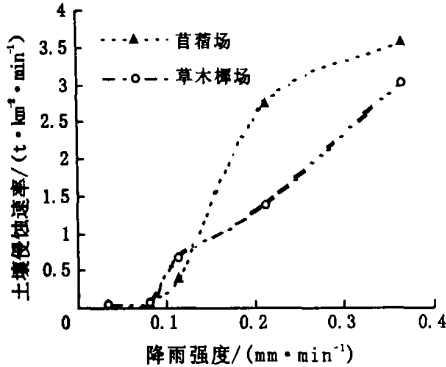


图 6 1955~ 1959 年 $C=70\%I$ 与 V 的曲线

随着降雨强度的增大, 侵蚀速率也增大; 随着被覆度的增加, 侵蚀速率减小。以 $C=5\%$ 以及 1956~ 1959 年的径流观测资料为例进行分析研究, 降雨强度与土壤侵蚀速率之间的关系模式如下:

1955~ 1959 年豆场: $V=17.79I^{0.3635}$ $R^2=0.9757$
1955~ 1959 年苜蓿场: $V=17.55I^{0.3886}$ $R^2=0.9802$
1955~ 1959 年草木樨场: $V=15.765I^{0.3444}$
 $R^2=0.9696$

3.1.3 不同被覆度下 PI_{30} 与土壤侵蚀的关系 采用降雨量(P)与最大 30 min 雨强(I_{30})的乘积作为降雨指标, 包括雨量和雨强两个因子, 可较好地反映不同的降雨条件, 因为降雨总量和降雨最大强度是影响暴雨侵蚀力的最重要的两个特征^[9]。因此, 研究雨量和雨强乘积(称之为 PI_{30} 用 R 表示)对土壤流失量的情况。以下图 7~ 9 是 PI_{30} 与侵蚀速率的关系曲线。

1955~ 1959 年豆场: $V=1.6122R^{2.2961}$
 $R^2=0.8767$ (以 $C=5\%$ 为例)
1955~ 1959 年苜蓿场: $V=0.7307R^{3.0439}$
 $R^2=0.8547$
1955~ 1959 年草木樨场: $V=1.4797R^{2.2339}$
 $R^2=0.9259$

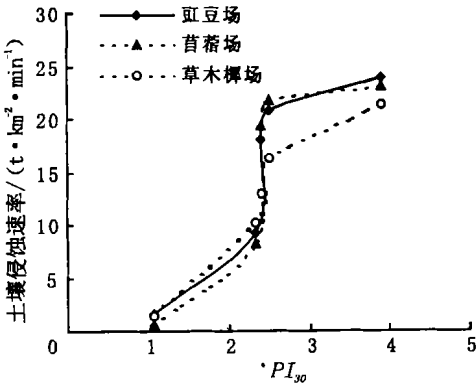


图 7 1955~ 1959 年 $C=5\%R$ 与 V 的曲线

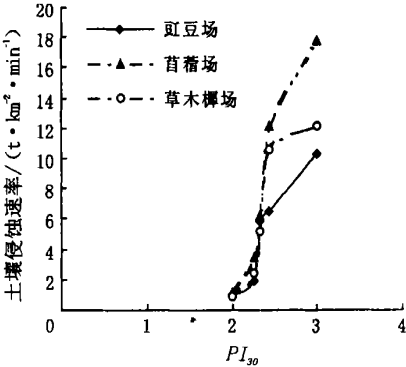


图 8 1955~ 1959 年 $C=25\%R$ 与 V 的曲线

从图可以看出同一试验场土壤侵蚀速率随着 PI_{30} 的增加而增大, 随着被覆度的增加而减小, 无论是年际之间还是一年内, 都有这一规律。并且 1955~ 1959 年无论被覆度是较

小的 5% 和 25%, 还是被覆度较大 70%, 以某点 PI_{30} 为起始, 侵蚀速率曲线均有一段增长幅度较快的突跃, 称此点为 PI_{30} 临界点。

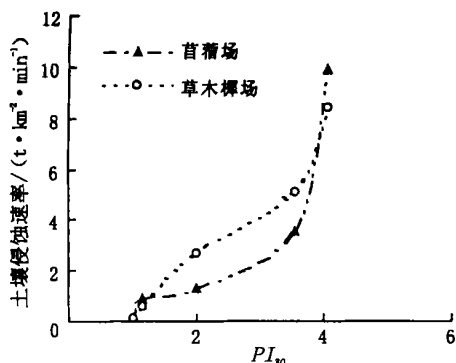


图 9 1955~1959 年 $C=70\%R$ 与 V 的曲线

在本次研究中当 $C=5\%$ 时 PI_{30} 临界点 $R=2394\text{ mm}^2/\text{m in}$; 当 $C=25\%$ 时 PI_{30} 临界点 $R=2506\text{ mm}^2/\text{m in}$; 当 $C=70\%$ 时 PI_{30} 临界点 $R=4063.3\text{ mm}^2/\text{m in}$ 。可见随着被覆度的增加, 其 PI_{30} 值增大, 即对降雨的抑制作用愈来愈大。年际之间, PI_{30} 在临界点以前, 当 $C=5\%$ 或 25% 时, 不同植被水土保持效果差异不显著; PI_{30} 临界点之后, $C=5\%$ 是, 草木樨水保效果最好, $C=25\%$ 时, 豇豆水保效果最好; 当 $C=70\%$ 时, 草木樨与苜蓿之间水保效果差异显著, 在临界点之前, 苜蓿水保效果很好, 临界点之后, 豇豆的水保效果显著。

3.2 土壤侵蚀多因子模型

根据唐洪政的研究^[13], 现在对 ULSE 土壤侵蚀方程应用辛店沟的数据修正, 建立 R ($\text{mm}^2/\text{m in}$)、被覆度 C (以 100% 表示)、坡长 L (m)、坡度 S (用正切表示) 与土壤侵蚀速率 V ($\text{t}/\text{km}^2 \cdot \text{min}$) 的关系式; 并进行农业管理措施 (η) 和前期影响雨量 (ψ) 的修正。多因子模型的得出不仅有利于预测、预报黄土高原地区的水土流失情况, 而且为水土流失治理工作提供理论依据。

$$V = aR^{b_1}C^{b_2}S^{b_3}L^{b_4} \quad (4)$$

两边取对数得

$$\ln V = \ln a + b_1 \ln R + b_2 \ln C + b_3 \ln S + b_4 \ln L \quad (5)$$

令 $P(x_1, x_2, \dots, x_i) = \ln V$; $a_0 = \ln a$; $f(x_1) = \ln R$; $f(x_2) = \ln C$; $f(x_3) = \ln S$; $f(x_4) = \ln L$; $a_k = b_k$ ($k = 1, 2, 3, 4$) 即得到与 (1) 式一样的多元一次方程。应用利用最小二乘原理编程的 SAS for window 6.12 软件对辛店沟全流域

数据处理, 得修正 ULSE 方程:

$$V = 3.326172R^{1.247122}C^{-0.153585}S^{0.378604}L^{-1.102387}\eta\psi \quad (6)$$

($n=637, r=0.8513^{**}$)

对于同一实验场 S, L 相同, 所以同一场侵蚀速率方程为:

$$V(R, C) = aR^{b_1}C^{b_2}\eta\psi \quad (7)$$

用 SAS for window 6.12 软件处理, 得:

$$\text{豇豆场: } V = -0.742991R^{1.279035}C^{-0.106366}\eta\psi \quad (8)$$

($n=63, r=0.8440^{**}$)

$$\text{苜蓿场: } V = -3.38731R^{1.519008}C^{-0.105758}\eta\psi \quad (9)$$

($n=22, r=0.8616^{**}$)

$$\text{草木樨场: } V = -2.027253R^{1.878647}C^{-0.019006}\eta\psi \quad (10)$$

($n=29, r=0.8651^{**}$)

同一场中, 如果 R 相同或大致相同时, 我们可以将 (7) 变形为:

$$\frac{V(R, C)}{R^{b_1}} = aC^{b_2}\eta\psi \quad (11)$$

即 (11) 式与 (1) 式一样都是关于被覆度的函数关系式。进一步分析不难得出, 作物残渣覆盖下土壤流失与作物残渣覆盖度之间的关系也可以用 (11) 式表示。

4 讨论

本文选取研究影响水土流失的两大因素(被覆度、降水)是研究水土流失影响因子的主要因素, 从本文研究发现, 被覆度对土壤侵蚀的保持作用有如下特征和规律。(1) 时间性, 植被的水土保持功能是随它的年龄而不断变化的^[14]。(2) 层次性, 植被按垂直空间分布有冠层、地被物层和根系土壤层, 它们对降水的截持和吸收, 减少降水对土壤的击溅和冲刷都是十分有效的, 当然其作用一定是不完全相同的。(3) 有限性, 植被保持水土的功能尽管十分显著, 但并非持续加强, 它与冠层和地被物层对降水地吸收和截留, 与根系土壤对降水的入渗过程一样, 是一个有限的增长过程^[15]。

降雨是影响径流和侵蚀的主要动力因素之一。在植被被覆度较低的黄土丘陵区, 降雨是径流和侵蚀的主控因子。黄土高原丘陵区的暴雨在时空分布不均特征, 决定了土壤侵蚀强度的时空变异性。小区实地观测分析表明, 雨强是影响径流速率的主导因子, 雨量是影响径流的关键^[16, 17]。在多次降雨条件下, 不同地貌部位的产流量和产沙量的变化, 还取决于次降雨量和前期降雨量的综合影响。在同一试验场土壤侵蚀速率随着降雨量、降雨强度以及 PI_{30} 的增加而增加, 但是随着植物被覆度的增加, 降雨的影响相对降低。

参考文献

- [1] 陈奇伯, 费希亮 土壤侵蚀预报研究的新进展[J]. 中国水土保持, 1996(2): 20-23
- [2] Carroll C, Halpin M, Burger P, et al The effect of crop type, crop rotation, and tillage practice on runoff and soil loss on a Vertisol in central Queensland[J]. Aust. J. Soil Res, 1997, 35: 925-939
- [3] Gilly J E, Risse L M. Runoff and soil loss as affected by the application of manure[J]. Transaction of the ASA E. 2002, 43(6): 1583-1588
- [4] 张光辉, 梁一民 植被盖度对水土保持功效影响的研究综述[J]. 水土保持研究 1996, 3(2): 104-110

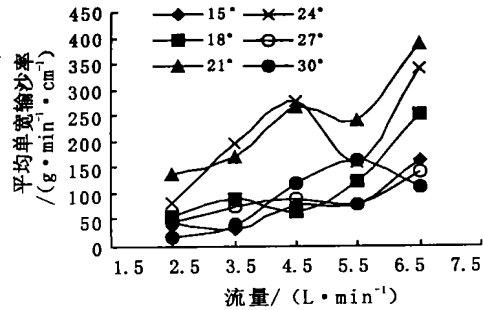


图 5 径流平均输沙率随流量变化图

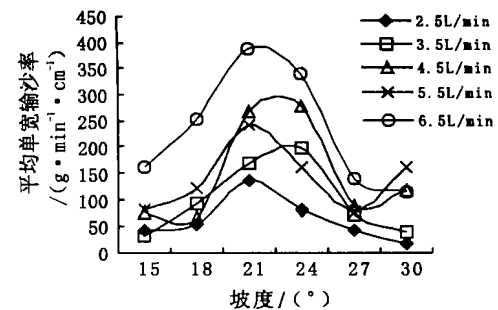


图 6 径流平均输沙率随坡度变化图

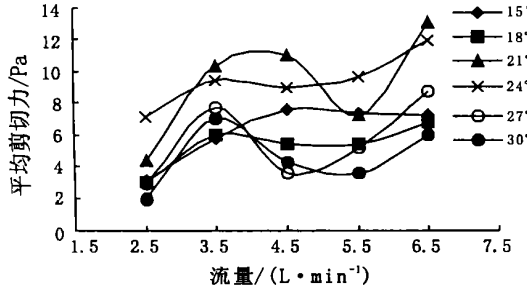


图 7 径流剪切力随流量变化图

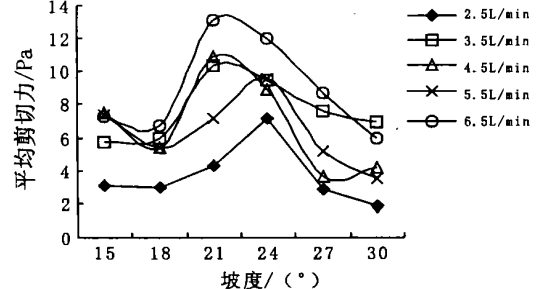


图 8 径流剪切力随坡度变化图

相同的流量下, 径流剪切力并不一直随着坡度的增加而增加, 而是呈现出了先增加后降低的抛物线变化趋势。说明坡面径流的剪切力在随坡度的变化过程中具有极值现象, 其极值出现在 21 和 24 之间。这与坡面径流含沙率和输沙率的变化基本一致。由此说明, 坡面径流剪切力与坡面径流输沙率之间关系密切。拟合两者之间的关系可以得到下式:

$$W_{\tau} = 28\,375(\tau - 1\,757) \quad R^2 = 0\,870 \quad (1)$$

式中: W_{τ} ——径流平均输沙率; τ ——径流平均剪切力。

从上式可知, 坡面径流平均输沙率与径流平均剪切力之间为线性关系。坡面径流平均输沙率随坡度和流量的变化规

律可以用平均剪切力的变化进行解释。

3 结 论

- (1) 室内放水冲刷试验的结果表明, 陡坡径流平均流速随径流量和坡度的增大呈波动趋势增加。
- (2) 坡面径流平均含沙率, 平均输沙率和平均剪切力均随流量的增加波动增加, 随坡度的增加而呈抛物线形式变化, 临界极值坡度在 21 和 24 之间。
- (3) 坡面径流平均输沙率与平均剪切力之间为线性关系, 关系式为 $W_{\tau} = 28\,375(\tau - 1\,757)$ 。

参考文献:

[1] 郑粉莉, 等. 坡耕地细沟侵蚀的发生、发展和防治途径的探讨[J]. 水土保持学报, 1987, 1(1): 36- 48
[2] 胡世雄, 靳长兴. 坡面流与坡面侵蚀动力过程研究的最新进展[J]. 地理研究, 1998, 17(3): 326- 335
[3] 郑粉莉, 高学田. 黄土坡面土壤侵蚀过程与模拟[M]. 西安: 陕西人民出版社, 2000 11- 12
[4] 张科利, 等. 黄土坡面沟蚀发生机理的水动力学试验研究[M]. 泥沙研究, 1998, 9(3): 74- 80

(上接第 16 页)

[5] 侯喜禄, 白岗栓, 曹清玉. 黄土丘陵区森林保持水土效益及其机理的研究[M]. 水土保持研究, 1996, 3(2): 98- 103
[6] 谢云, 刘宝元, 张文波. 侵蚀性降雨标准研究[J]. 水土保持学报, 2000, 14(4): 6- 11.
[7] 王晓. 黄土丘陵沟壑区第一副区山坡地生态农业建设模式初探. 水土保持学报, 1999, 5(6): 95- 98
[8] 孙立达, 朱金兆. 水土保持林体系综合效益研究与评价[M]. 北京: 科学出版社, 1995
[9] 魏天兴. 黄土残塬沟壑区降雨侵蚀分析[J]. 水土保持学报, 2001, 15(4): 48- 50
[10] 江忠善. 黄河中游黄土丘陵沟壑区小流域产沙量计算[A]. 河流泥沙国际学术研讨会论文集[C]. 北京: 光华出版社, 1980
[11] 贾绍凤. 黄土高原降雨径流产沙相互关系的研究[J]. 水土保持学报, 1992, 6(3): 42- 47.
[12] 张翼. 黄土高原丘陵沟壑区土壤侵蚀研究[J]. 水土保持研究, 2001, 8(2): 39- 47.
[13] 刘向东, 吴钦孝, 赵鸿雁. 黄土高原油松人工林枯枝落叶层水文生态功能研究[J]. 水土保持学报, 1991, 5(4): 87- 91.
[14] 唐洪政. 基于 GIS 的农林复合经营的侵蚀控制模拟研究[J]. 水土保持研究, 2001, 8(4): 170- 174
[15] 马雪华. 森林水文学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1993 251- 252
[16] 张科利, 秋吉康宏. 坡面细沟侵蚀发生的临界水力条件研究[J]. 水土保持学报, 1998, 4(1): 41- 46
[17] 邱扬. 土壤侵蚀时空变异及其与环境因子的关系[J]. 水土保持学报, 2002, 3(1): 108- 111.