

# 黄土高原典型流域土壤抗冲特性研究

张 艺<sup>1</sup>, 李海光<sup>1,2</sup>, 余新晓<sup>1</sup>, 杨芝歌<sup>1</sup>, 赵春光<sup>3</sup>, 黄海平<sup>2</sup>

(1. 北京林业大学 水土保持学院 水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室, 北京 100083; 2. 鄂尔多斯市水土保持局, 内蒙古 鄂尔多斯 017000; 3. 鄂尔多斯市工业与城市供水办公室, 内蒙古 鄂尔多斯 017000)

摘 要: 以黄土高原吕二沟流域为研究对象, 采用原状土冲刷水槽法对研究区梯田耕地、坡耕地、草地、梯田果园、刺槐林共 5 种土地利用类型的土壤进行了抗冲试验。结果表明: (1) 研究区不同土地利用类型的土壤抗冲性大小依次为: 刺槐林 > 草地 > 梯田 > 果园 > 坡耕地; (2) 根系对土壤抗冲性具有显著影响, 有根系土壤相对无根系土壤的抗冲性有明显提高, 平均提高了 44.02%; (3) 研究区土壤随坡度的增大抗冲能力减弱, 其中 22° ~ 25° 减少幅度最大; (4) 对研究区不同土地利用类型土壤抗冲指数在流域尺度进行了空间异质性模拟, 总体表现出越靠近流域上游和侵蚀沟坡上位置的土壤抗冲性越大的特性, 其中刺槐林地和草地表现更为明显。

关键词: 土壤抗冲特性; 根系; 坡度; 黄土高原

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2012)02-0060-04

中图分类号: S157.2

## Soil Anti-scourability in Typical Watershed of Loess Plateau

ZHANG Yi<sup>1</sup>, LI Hai-guang<sup>1,2</sup>, YU Xin-xiao<sup>1</sup>, YANG Zhi-ge<sup>1</sup>, ZHAO Chun-guang<sup>3</sup>, HUANG Hai-ping<sup>2</sup>

(1. Key Laboratory of Soil and Water Conservation & Combating Desertification of

Ministry of Education, School of Water and Soil Conservation, Beijing Forestry University,

Beijing 100083, China; 2. Soil Conservation Service in Ordos City, Ordos, Inner Mongolia 017000,

China; 3. Office of Industrial and Urban Water Supply in Ordos City, Ordos, Inner Mongolia 017000, China)

**Abstract:** Five land-use types were chosen to study soil anti-scourability characteristic in a small watershed called Lüergou watershed in Loess Plateau using flume method with undisturbed soil. The results showed that: (1) The order of soil anti-scourability under different land-use types was: locustland > grass land > terrace land > orchard land > slope farmland. (2) Plant roots exerted significant influence on soil anti-scourability, and compared with soil without root, the anti-scourability of soil with root was obviously improved by 44.02% as an average. (3) The soil anti-scourability decreased with the increase of gradient, especially for the range of 22° ~ 25°. (4) According to the spatial simulation of soil anti-scourability on the scale of watershed, it is greater as getting closer to the upstream of watershed and upper slope position of erosion gully, which is more obvious under locust land and grassland.

**Keywords:** soil anti-scourability; plant root; gradient; the Loess Plateau

1960 年朱显漠院士<sup>[1]</sup>提出了“土壤抗冲性”这一概念, 是指土壤抵抗径流的机械破坏和推动下移的能力。土壤抗冲性就成为控制及防止水土流失的重要课题, 得到了研究者的关注<sup>[2]</sup>。许多学者对不同类型土壤的抗冲性和坡度、地表盖度、植被类型和根系等相关特性进行了详细分析<sup>[3-6]</sup>, 在定性和定量分析方面均得到了长足的发展<sup>[7-10]</sup>。但是这些研究大都

限于坡面尺度, 对于流域尺度土壤抗冲性在空间上的异质性研究鲜有涉及。本研究在流域上、中、下游均匀布设样地研究土壤抗冲性, 模拟研究流域空间位置上不同土地利用类型土壤抗冲指数大小的分布图, 以直观反映出该区的抗冲性变化规律。这种以流域为单位, 从空间角度上对土壤抗冲性进行分析的方式可为土壤抗冲性研究提供新的思路。

收稿日期: 2011-02-27

修回日期: 2011-04-09

资助项目: 国家自然科学基金项目“黄土高原多尺度耦合流域土地利用/覆被对水循环的影响及水文生态响应研究”(40871134, “十二五”国家科技支撑计划“三北地区水源涵养林体系构建技术与示范”(2011BAD38B05)

作者简介: 张艺(1988—), 女(汉族), 湖北省襄阳市人, 硕士研究生, 主要研究方向为林业生态工程、水土保持。E-mail: prayer88zhangyi@126.com。

通信作者: 余新晓(1961—), 男(汉族), 甘肃省平凉市人, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为森林水文、水土保持等。E-mail: yuxinxiao111@126.com。

## 1 研究区概况

研究区设在甘肃省天水市吕二沟流域。该流域走向自南至北,地势南高北低,呈现狭长带状,流域南北长 6.94 km,东西宽 1.73 km,总面积 12.01 km<sup>2</sup>。吕二沟流域最高海拔 1 707 m,最低点海拔高度 1 175 m,海拔高差较大。流域内共计有大小支沟 51 条,沟壑 2.33 km<sup>2</sup>,占流域面积的 19.3%。流域坡度大部分在 5°~20°之间,沟壑为底部切沟,溯源侵蚀严重。吕二沟流域上游(石门以上)农田较少,植被较好,被覆度达 70% 以上,石门以下被覆度较差。从降雨资料分析,吕二沟的土壤侵蚀,主要伴随降雨径

流而产生,尤其是强度大的暴雨对输沙量影响极大<sup>[11]</sup>。

## 2 研究方法

### 2.1 样地选择

以样地为基础对不同土地利用方式土壤进行抗冲性研究,选取自然状态下的侵蚀沟,自沟头顶端开始依次在不同土地利用方式的土地上进行取样,直至到达沟底,即到达主河道。共取得的 6 条侵蚀沟,45 个样品,对其进行观测研究。侵蚀沟及样点情况详见表 1。

表 1 研究侵蚀沟及样点分布情况

侵蚀沟 编号	沟道位于流域 的位置	样点分布					样点位于侵蚀沟位置			小计
		梯田耕地	坡耕地	草地	梯田果园	刺槐林	上	中	下	
1	左侧中游	4	2	2	—	1	3	3	3	9
2	左侧中游	3	4	3	2	3	5	5	5	15
3	上游	5	2	1	1	1	3	4	3	10
4	右侧中游	—	2	1	—	1	1	2	1	4
5	右侧中游	—	1	2	1	1	2	2	1	5
6	下游	—	—	1	—	1	1	1	—	2
合计		12	11	10	4	8	15	17	13	45

注:在第 6 条侵蚀沟中,中下部均为刺槐林,且立地类型相似,故采取一个样点;在合计时,将其合计在侵蚀沟中部。

### 2.2 土壤抗冲性的测定

根据试验内容,本研究采用土壤抗冲系数  $C$  来评价土壤抗冲性能,将其定义为每冲刷 1 g 干土所需的水量  $Q$  (L) 和时间  $t$  (min) 的乘积。 $C$  值越大,说明土壤抗冲能力越强,越不易被侵蚀;相反, $C$  值越小,说明土壤抗冲能力越弱,越容易被侵蚀。实验采用原状土冲刷水槽法。用自制 LX-TSKC 型号取土器 (20 cm × 10 cm × 5 cm) 取原状土为冲刷样本,并在冲刷前先浸泡 12 h,使其达到饱和含水量状态,应用罗盘调整仪器到实际坡度状态,进行冲刷实验。将水槽调整为土地实际坡度,以当地常见暴雨雨强在标准小区 (5 m × 20 m) 内产生的最大流量计算单宽流量,作为主要冲刷流量 (0.21 L/min)。试验采取相同测定时长 10 min,冲刷所得的所有泥沙用积样器收集,过滤后烘干称重,按公式 (1) 计算土壤抗冲指数:

$$C = \frac{Qt}{w} \quad (1)$$

式中:  $C$ ——土壤抗冲指数 [(L · min) / g];  $Q$ ——冲刷所需水量 (L);  $t$ ——冲刷历时 (min);  $w$ ——冲走的干土重 (g)。本研究为了分析土壤根系对抗冲性的影响,测定了土壤根系密度(将土体内的根系洗出,烘干称重)。并按公式 (2) 计算根系密度:

$$R_d = \frac{w}{v} \quad (2)$$

式中:  $R_d$ ——土壤根系密度 (g/cm<sup>3</sup>);  $w$ ——根系干重 (g);  $v$ ——对应单位土体体积 (cm<sup>3</sup>)。

## 3 结果与分析

### 3.1 各土地利用类型土壤的抗冲性分析

不同土地利用类型土壤,由于其颗粒组成、有机质、土壤团聚体含量不同,其抗冲性指数相应地也不相同。对于不同土地利用类型土壤抗冲性指数  $C$  进行计算分析(图 1)。由图 1 可以看出,研究流域内不同的土地利用方式土壤抗冲系数以刺槐林最大,其均值为 80.01 [(L · min) / g],以坡耕地为最小,其均值为 59.23 [(L · min) / g]。不同土地利用类型的土壤按照  $C$  值大小排序为:刺槐林 > 草地 > 梯田 > 果园 > 坡耕地。抗冲指数  $C$  值变化范围也不尽相同,坡耕地土壤  $C$  值变化范围最大。研究流域中果园均分布于梯田之上,分布范围集中,数量较少,所占流域面积比例仅为 4.34%,且在梯田果园间隙中,套种着玉米、土豆及向日葵等,这些农作物的种植导致梯田果园土壤与农耕下的梯田土壤情况类似,故而梯田果园土壤的抗冲性与农耕下的梯田土壤十分接近。

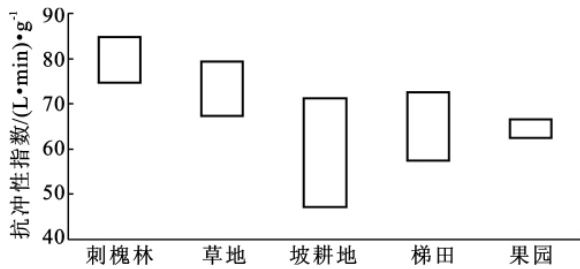


图 1 研究区不同土地利用方式的土壤抗冲性

### 3.2 土壤抗冲性与根系关系

土壤抗冲性与根系关系紧密,本研究在利用 LX—TSKC 抗冲仪测定不同土壤抗冲性的同时,测定土壤中植物根系重量,计算其根系密度。

在所研究的样品中,共有 13 个样品含有根系,其土地利用类型以草地为主,林地土壤中 3 个样品含有根系。这些样品位于流域位置不同,但是坡度均集中在  $22^{\circ} \sim 25^{\circ}$ ,土壤中根系密度分布在  $0.00492 \sim 0.02755 \text{ g/cm}^3$  之间,主要集中在  $0.005 \sim 0.02 \text{ g/cm}^3$  之间。在没有根系的坡耕地土壤中,  $C$  值很小,当有根系出现时,其  $C$  值发生急剧增高,随着根系密度的增加,土壤的抗冲能力也逐渐增强。对根系密度和抗冲指数  $C$  之间进行相关性分析:

$$C = 333.52R_d + 64.431 \quad (R^2 = 0.9153, n = 13, 0.00492 \leq R_d \leq 0.02755) \quad (3)$$

式中:  $C$ ——土壤抗冲性系数  $(\text{L} \cdot \text{min})/\text{g}$ ;  $R_d$ ——土壤根系密度  $(\text{g}/\text{cm}^3)$ 。

对有无根系的土壤抗冲性进行对比分析,结果表明根系对土壤抗冲性具有明显的提高作用,平均提高了 44.02%。由于根系较少,在研究期间的所有样品中,有根系土壤的抗冲性变化范围不大,最高值与最低值的变化范围为 14.42%。

### 3.3 土壤抗冲性与坡度关系

参照国务院第二次全国土地调查领导小组办公室 2008 年 6 月发布的《利用 DEM 确定耕地坡度分级技术规定(试行)》的规定,结合黄河水利委员会绥德水土保持试验站在韭园沟多年的试验结果<sup>[12-14]</sup>,在抗冲试验中,主要针对水对土壤的冲蚀作用,因此按照土壤侵蚀为临界指标将所有样品坡度分级系统定义为:  $<3^{\circ}$ ,  $3^{\circ} \sim 8^{\circ}$ ,  $8^{\circ} \sim 15^{\circ}$ ,  $15^{\circ} \sim 18^{\circ}$ ,  $18^{\circ} \sim 20^{\circ}$ ,  $20^{\circ} \sim 22^{\circ}$ ,  $22^{\circ} \sim 25^{\circ}$  和  $>25^{\circ}$  共 8 级分类。由抗冲试验结果可以看出,黄土高原吕二沟流域土壤抗冲性随着坡度增加而减小,即坡度越大,土壤抗冲能力越差,这是由于随着坡度的增大,水流剪切力能力增强,使得水流携带泥沙能力增加,其土壤抗冲性较弱;在减小幅度上  $22^{\circ} \sim 25^{\circ}$  减小幅度最大,随后减小的幅度变小,这

可能是由于  $>25^{\circ}$  土壤在自然情况下接受雨滴表面积较小,其表面积受到雨滴击溅作用减少,造成土壤表面较为稳定;此外,上部来水的切蚀能力随着时间也逐渐增强,两方面的综合因素共同造成  $22^{\circ} \sim 25^{\circ}$  土壤抗冲性减小,且减小幅度大于  $25^{\circ}$  以上坡面的土壤。

### 3.4 流域土壤抗冲空间异质性模拟

本研究选取了研究区内不同流域位置、不同沟道位置的 45 个样地,对研究流域内土壤抗冲性的空间异质性进行模拟。从研究结果上来看,研究区内土壤抗冲性的变化范围为  $66.49 \sim 84.71 [(\text{L} \cdot \text{min})/\text{g}]$ ,均值为  $73.69 [(\text{L} \cdot \text{min})/\text{g}]$ ,变异系数为 18.75%,具有中等水平的空间异质性。果园样本较少,仅为 4 个,因此对其进行单独研究,在流域上游果园土壤的抗冲性较大,在流域中游其值较小。因研究区范围较小,各种土地利用类型的样地无法完全满足不同流域位置、不同沟道位置关系的组合,对已获取的数据通过 Surfer 软件应用 Krieger 插值方法模拟出不同土地利用类型土壤抗冲性空间分布图(图 2)。不同土地利用类型土壤抗冲性在流域空间上表现出不同特性。刺槐林地、草地、坡耕地和梯田土壤抗冲性总体表现出越靠近流域上游,越靠近侵蚀沟道坡上位置,抗冲性越大的趋势,这种趋势在刺槐林地和草地土壤中表现最为明显,而在人为扰动较大的坡耕地和梯田土壤中表现次之;各种土地利用类型中,刺槐林地、草地和坡耕地土壤抗冲性在流域下游和侵蚀沟的坡下位置最小,梯田土壤抗冲性最小的位置出现在流域中游侵蚀沟的坡下位置。土壤抗冲性出现空间异质性的原因是由于流域上游和侵蚀沟道坡上位置土壤受到长时间的侵蚀扰动,可侵蚀物质被携走部分较大,剩余部分土壤均不易被侵蚀。在刺槐林和草地土壤中,由于人类活动影响较小,这种趋势表现更为明显;梯田土壤抗冲性最小的位置出现在流域中游侵蚀沟的坡下位置是由于梯田处于发展阶段,上游可侵蚀物质现阶段沉积在中游,并未到达下游。

## 4 结论

(1) 研究区不同土地利用类型的土壤抗冲性大小顺序为: 刺槐林  $>$  草地  $>$  梯田  $>$  果园  $>$  坡耕地。

(2) 抗冲指数  $C$  和根系密度  $R_d$  之间满足线性关系,且相关性较好。根系对土壤抗冲性具有显著影响,有根系土壤相对无根系土壤的抗冲性有明显提高,平均提高了 44.02%。

(3) 吕二沟流域土壤抗冲性随着坡度增加而减小,即坡度越大,土壤抗冲能力越差,  $22^{\circ} \sim 25^{\circ}$  土壤抗冲性随坡度的减小幅度最大。

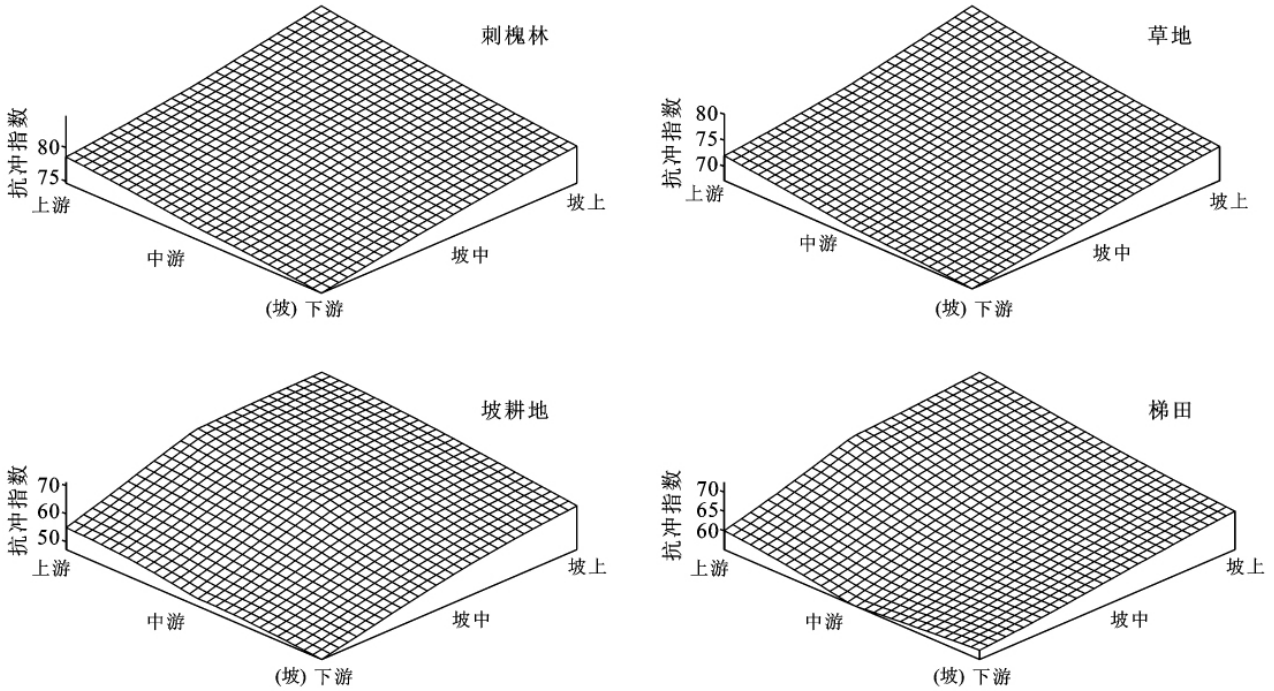


图 2 不同土地利用类型土壤抗冲指数(C 值) 空间异质性

注: 流域位置的上、中、下游指侵蚀沟位于流域的上游、中游、下游; 坡位的上、中、下指样点位于侵蚀沟的坡上、坡中和坡下。

(4) 流域内不同土地利用类型土壤抗冲性在空间上表现出不同特性。4 种土地利用类型总体表现出越靠近流域上游, 越靠近侵蚀沟坡上位置, 抗冲性越大的趋势, 这种趋势在刺槐林地和草地土壤中表现最为明显, 而在人为扰动较大的坡耕地和梯田土壤表现次之。

(5) 黄土高原吕二沟流域地区林地的土壤抗冲性最好, 坡耕地土壤抗冲性最差, 从而证明在黄土高原地区实行退耕还林政策可很好地防治土壤侵蚀。土壤抗冲性随着坡度增加而减小, 且在  $22^{\circ} \sim 25^{\circ}$  减少幅度最大。

[ 参 考 文 献 ]

[1] 朱显漠, 田积莹. 强化黄土高原土壤渗透性及抗冲性的研究[J]. 水土保持学报, 1993, 7(3): 1-10.  
 [2] 吴普特, 周佩华, 郑世清, 等. 黄土丘陵沟壑区土壤抗冲性研究: 以天水站为例[J]. 水土保持学报, 1993, 7(3): 19-25, 36.  
 [3] Covers G, Rauws G. Transporting capacity of overland flow on plane and on irregular beds[J]. Earth Surface Processes Landforms, 1986, 11(5): 515-524.  
 [4] 李勇, 徐晓琴, 朱显漠, 等. 植物根系与土壤抗冲性关系[J]. 水土保持学报, 1993, 7(3): 11-18.  
 [5] 刘国彬, 张光辉. 原状土冲刷法与人工模拟降雨法研究

土壤抗冲性对比分析[J]. 水土保持通报, 1996, 16(2): 32-37.  
 [6] Nearing M A, Norton L D, Bulgakov D A, et al. Hydraulics and erosion in eroding rills[J]. Water Resources, 1997, 33(4): 865-876.  
 [7] 张建军, 张宝颖, 毕华兴, 等. 黄土区不同植被条件下的土壤抗冲性[J]. 北京林业大学学报, 2004, 26(6): 25-29.  
 [8] 郑江坤, 吴黎军, 魏天兴, 等. 陕北不同地貌部位土壤抗冲性特征研究[J]. 水土保持学报, 2009, 23(6): 14-18.  
 [9] 张振明, 余新晓, 吴海龙, 等. 北京八达岭林场油松林地土壤抗冲性研究[J]. 林业资源管理, 2009, 6: 80-83.  
 [10] 杨玉梅, 郑子成, 李廷轩, 等. 不同土地利用方式下土壤抗冲性动态变化特征及其影响因素[J]. 水土保持学报, 2010, 24(4): 64-68.  
 [11] 李海光, 余新晓, 张满良, 等. 黄土高原丘陵沟壑第三副区小流域土壤渗透特性研究[J]. 水土保持研究, 2010, 17(4): 75-79.  
 [12] 李勇. 黄土高原根系和土壤抗蚀[M]. 北京: 科学出版社, 1995.  
 [13] 汤国安. 黄土丘陵沟壑区地面坡度分级研究[J]. 水土保持通报, 1987, 7(1): 17-19.  
 [14] 靳长兴. 论坡面侵蚀的临界坡度[J]. 地理学报, 1995, 50(3): 234-238.