

# 黄土丘陵林区开垦地土壤抗冲性的时间变化研究

查小春<sup>1, 2</sup>, 唐克丽<sup>1</sup>

(1. 中国科学院水利部 水土保持研究所 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100;  
2. 陕西师范大学 旅游与环境学院, 陕西 西安 710062)

**摘要:** 以黄土丘陵林区 10 a 径流泥沙观测资料为基础, 进行土壤抗冲试验, 分析了林地及其开垦后不同年限土壤的抗冲性能。结果表明, 林地具有很强的抗冲性能, 一旦被开垦后, 随侵蚀年限的增长, 土壤的抗冲性呈减弱趋势, 在 3 L/min 流量下, 土壤冲刷量从侵蚀 1 a 的 4.01 g/L 增大到侵蚀 10 a 的 25.51 g/L, 加剧了土壤侵蚀发展。相关分析表明, 土壤的抗剪强度对抗冲性影响最大, 其次为水稳性团粒和有机质含量。因此, 退耕还林、恢复和重建植被, 改善土壤侵蚀环境, 提高土壤抗冲性, 能有效地防治土壤侵蚀。

**关键词:** 林地开垦; 加速侵蚀; 土壤抗冲性; 时间变化

文献标识码: A 文章编号: 1000-288X(2001)02-0008-04 中图分类号: S157.1, S715.3

## Temporal Change of Soil Anti-scourability of Reclaimed Lands in Loess Hilly Forest Region

ZHA Xiao-chun<sup>1, 2</sup>, TANG Ke-li<sup>1</sup>

(1. *The State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming in Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling 712100, Shaanxi Province, PRC*  
2. *College of Tourism and Environment Science, Shaanxi Normal University, Xi'an 710061, PRC*)

**Abstract:** Using the 10 year observed data of runoff and sediment in the loess hilly forest region and the field anti-scourability tests, the anti-scourability in the forest-land and the reclaimed lands were analyzed. The results showed that the forest-land had the strong anti-scourability. After reclaimed, the anti-scourability of reclaimed lands had the decrease tendency from 4.01 g/L to 25.51 g/L in the flow of 3 L/min, which would increase the soil erosion intensity. Correlation analyses found that the soil shear strength had the biggest effect on soil anti-scourability, and then, the water stable aggregate and the organic content. So it could control effectively soil erosion to return reclaimed lands into forest or grass land, and recover or reconstruct vegetation.

**Keywords:** reclaimed forest-lands; accelerated erosion; soil anti-scourability; temporal change

早在 20 世纪 60 年代, 朱显谟先生在研究土壤侵蚀机制时<sup>[1]</sup>, 将土壤抗侵蚀能力分为抗蚀性和抗冲性, 并指出, 土壤抗冲性是指土壤抵抗径流冲刷破坏的能力, 它主要取决于土粒间和微结构间的胶结力和土壤结构体间的抵抗离散力。黄土高原地区由于自身的土壤特性, 在降雨侵蚀下, 地表土壤产生结皮而发生超渗径流现象; 超渗径流的产生, 地表径流就对土壤进行冲刷和搬运而引起土壤流失现象。黄土高原上土壤侵蚀异常强烈的原因之一, 就是土壤抗冲性能弱而使冲刷过程非常强烈造成的。至今, 关于黄土高原土壤的抗冲性, 特别是林地、草地和农耕地土壤的抗冲性研究, 已有许多学者进行了大量的研究, 并取得了很大进展<sup>[2]</sup>, 但是对林地开垦后人为加速侵蚀下土壤抗冲性的时间变化研究目前还未见报道。

因此, 本文对林地开垦后不同侵蚀年限土壤抗冲性进行分析, 以说明林地开垦后土壤侵蚀环境的变化, 并为森林植被在提高土壤抗冲性能、防治土壤侵蚀和改善生态环境中的作用的研究提供理论依据。

### 1 研究区自然概况

试验研究是在国家重点实验室设于陕西省富县子午岭土壤侵蚀与生态环境观测站进行的。该站地理位置为东经 109°11', 北纬 36°05'; 属梁状黄土丘陵沟壑区, 海拔高程 920 ~ 1 683 m, 沟壑密度 4.5 km/km<sup>2</sup>; 年均气温 9℃, 年均降雨量 576.7 mm; 区内林木郁闭度在 0.7 以上; 土壤为森林草原植被下发育的褐色土型土壤。该站始建于 1989 年, 布设了以自然坡面为基础的大型径流观测试验场, 截止 1998 年已有

收稿日期: 2000-12-20

资助项目: 国家自然科学基金重点项目(19832060)

作者简介: 查小春(1972-), 男(汉族), 硕士, 2000 年 7 月于中国科学院水利部水土保持研究所国家重点实验室获硕士学位, 从事侵蚀环境演变与调控。现就职于陕西师范大学旅游与环境学院。电话(029)5308445, E-mail: Xiaochz@163.net

10 a 长期观测的径流泥沙资料<sup>[3,4]</sup>。

本文应用该试验站积累的 10 a 径流、泥沙观测资料,并结合野外冲刷试验,分析比较林地及林地开垦后不同侵蚀年限土壤的抗冲性能。

## 2 研究方法

### 2.1 试验小区的选择

子午岭土壤侵蚀与生态环境观测站建有 11 个不同处理的径流小区<sup>[3]</sup>。根据本实验设计,分别选择上述已建的林地和开垦 1, 3, 5, 7a 和 10a 的试验小区中进行,各实验小区的参数特征见表 1。

表 1 试验小区参数特征

试验小区	处 理	坡度	平均 宽度	平均 长度
林 地	梁坡林地	14°—32°	12.0	84.8
1 a 开垦地	梁坡开垦农地	10°—21°	10.0	26.0
3 a 开垦地	梁坡开垦农地	10°—21°	8.0	21.0
5 a 开垦地	梁坡开垦农地	8°—24°	13.0	29.0
7 a 开垦地	梁坡开垦裸地	5°—32°	13.8	99.2
10 a 开垦地	梁坡开垦裸地	5°—34°	17.7	122.1

注:①为已建的试验小区;②为野外试验所选农耕开垦地。

### 2.2 土壤样品采集

林地土壤样品取自试验小区中部;侵蚀土壤样品分别在每年 10 月底取自各径流小区的中部表层土壤(0—20 cm),至 1998 年已有 10 a 所采集的土样,用于测定林地和不同侵蚀年限开垦地土壤的有机质含量的变化;分析土壤水稳性团粒含量的原状土样按表 1 的小区采集,土样取自小区的中部,样品经风干处理后,分析土壤的水稳性团粒含量。

### 2.3 土壤理化化学性质的测定

水稳性团粒结构含量用筛分法测定<sup>[5]</sup>;有机质含量用重铬酸钾法测定<sup>[4]</sup>;土壤抗剪强度用剪力计测定<sup>[6]</sup>。土壤抗冲性的测定采用原状土冲刷水槽法<sup>[7]</sup>,冲刷槽的大小为 10 cm×10 cm×20 cm;试验用的原状土样在各小区中采集,然后在同一 15°的坡度下,分别用 3, 5 和 7 L/min 的 3 种流量做冲刷试验。

## 3 结果与分析

### 3.1 不同流量径流的冲刷性能分析

降雨后,除蒸发下渗、截流填洼外,坡面降雨其余部分沿着斜坡形成地表径流,对土壤进行冲刷。根据水力学原理,单位面积坡面上水流的切应力为:

$$\tau = \gamma h \sin \alpha$$

式中:  $\tau$  ——单位面积坡面上的水流切应力(N/m<sup>2</sup>);  
 $\gamma$  ——水的容重(N/m<sup>3</sup>);  $h$  ——薄层水流的厚度(mm);  $\alpha$  ——地表坡度(°)。

根据野外冲刷试验结果,将测定的数据代入公式中,取  $r = 9800 \text{ N/m}^3$ ,即可计算出水流的切应力(表 2)。切应力也叫水流拖曳力,即坡面水流侵蚀力。

表 2 不同流量下径流切应力  $\tau$  下土壤冲刷量  $S$

流量/(L·min <sup>-1</sup> )	3	5	7
$\tau$ /(N·m <sup>-2</sup> )	35.66	40.06	54.49
林地(对照)	22.77	31.97	34.46
1 a 开垦地	120.27	154.61	339.19
3 a 开垦地	198.98	255.22	358.78
5 a 开垦地	254.62	480.21	465.93
7 a 开垦地	472.67	571.78	669.24
10 a 开垦地	765.29	851.42	1 310.34

表 2 表明,水流流量增大,水流的切应力也就增大。流量为 3 L/min 时,水流切应力为 35.66 N/m<sup>2</sup>,当流量为 7 L/min 时,水流切应力增大为 54.49 N/m<sup>2</sup>,增大 1.5 倍。表 2 指出,水流的流量和切应力的增大,对同一侵蚀年限开垦地土壤的冲刷量也相应地增大,侵蚀 10 a 的开垦地,流量为 3 L/min 时,土壤冲刷量为 765.29 g,流量为 7 L/min 时,土壤冲刷量为 1 310.34 g。

在同一流量下,林地开垦后侵蚀时间越长,地表土壤的冲刷量就越大,在流量为 7 L/min 时,侵蚀 1 a 开垦地,土壤的冲刷量为 339.19 g,侵蚀 10 a 开垦地,土壤的冲刷量则为 1 310.34 g。因此,径流对地表土壤的作用表明了径流流量的增大,径流的切应力也就增大;径流对土壤的冲刷、搬运能力相应地增大,造成土壤大量流失。同时,表 2 还表明林地土壤具有抵抗径流冲刷的性能,在 3 种流量下土壤的冲刷量均小,最高者为 34.46 g。

### 3.2 侵蚀年限不同开垦地土壤的抗冲性比较

土壤抗冲性是指土壤抵抗径流的冲刷破坏的能力。对于不同侵蚀年限开垦地土壤的抗冲性,采用蒋定生<sup>[7]</sup>提出的单位水体对土壤的冲刷量  $M$  指标来比较分析,对 3 种流量土壤的  $M$  计算值见表 3。

表 3 几种不同流量土壤的  $M$  值

流量/(L·min <sup>-1</sup> )	3	5	7
林地(对照)	0.76	1.07	1.15
1 a 开垦地	4.01	4.42	11.31
3 a 开垦地	6.63	7.29	11.96
5 a 开垦地	8.49	13.72	15.53
7 a 开垦地	15.76	16.34	22.31
10 a 开垦地	25.51	27.18	43.68

在表 3 中,3, 5 和 7 L/min 这 3 种水流下,林地和不同侵蚀年限开垦地的  $M$  值均随侵蚀年限而递增。在 3 L/min 的水流下,林地至侵蚀 5 a 开垦地土壤的  $M$  值递增较缓,侵蚀 5~10 a 为直线递增;在 5 L/min

的水流下, 随侵蚀年限的递增,  $M$  值为直线增加; 而在  $7 \text{ L/min}$  的水流下,  $M$  值急剧增加, 因此, 虽然  $M$  值在不同流速下变化形式不一样, 但从总的趋势来看, 为递增趋势。这就表明在不同侵蚀年限下, 土壤的抗冲性随侵蚀年限的递增而呈减弱趋势。

### 3.3 不同侵蚀年限开垦地土壤抗冲性分析

为更能说明不同侵蚀年限土壤的抗冲性能, 我们对长期定位观测的 7 区和 8 区径流小区的径流泥沙资料进行了整理分析。7 区和 8 区均为 10 a 和 9 a 的林地开垦地, 小区面积分别为  $1144.3$  和  $995.2 \text{ m}^2$ , 坡度为  $14^\circ-32^\circ$  和  $5^\circ-34^\circ$ , 平均长度和宽度分别为  $13.8, 10.6 \text{ m}$  和  $99.2, 86.3 \text{ m}$  [3]。采用周佩华 [8] 提出了单位面积单位径流深的冲刷量的抗冲性指标, 该指标应用长期观测的径流小区径流泥沙资料进行计算得出。其公式表示为:

$$KW_i = \frac{W}{A \cdot H}$$

$$KW_{\bar{i}} = \frac{1}{n} \sum_i KW_i$$

上式削弱了特大暴雨所引起的侵蚀作用而使计算值偏小, 周佩华进而将公式改进为:

$$K_w = \frac{\sum W}{\sum H}$$

式中:  $W$ ——次降雨的径流模数;  $\sum W$ ——该小区年侵蚀模数;  $A$ ——小区面积;  $n$ ——年降雨产流次数;  $i$ ——某次降雨产流;  $H$ ——次降雨径流深;  $\sum H$ ——年降雨径流深。

通过上面  $K_w$  指标的选取, 计算了 7 号和 8 号径流小区的  $K_w$ , 并用散点图表示(图 1)。

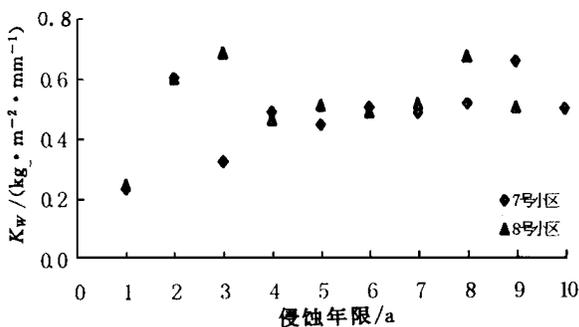


图 1 7 号和 8 号小区  $K_w$  值散点图趋势分布

从图 1 中可见, 随侵蚀年限的增长, 散点图总的趋势是  $K_w$  值呈增大趋势: 7 号径流小区的  $K_w$  值从侵蚀第 1 a 的  $0.233 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{mm})$  变化到侵蚀 10 a 的  $0.491 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{mm})$ ; 8 号径流小区的  $K_w$  值从侵蚀第 1 a 的  $0.247 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{mm})$  变化到侵蚀 10 a 的  $0.497 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{mm})$ 。并且, 从图 1 中可以发现, 由于各年度次降雨的雨强不一致, 其侵蚀量与抗冲性不一

定呈一致趋势, 特别是不一定随侵蚀年限而变化, 因此图中  $K_w$  值有偏大或偏小的点。下面从单位降雨侵蚀力引起的侵蚀量与土壤的抗冲性进行分析。

### 3.4 侵蚀土壤抗冲性与单位降雨侵蚀力引起的侵蚀量之间的关系

侵蚀性降雨是指产生土壤侵蚀的次降雨, 以土壤侵蚀量与该次降雨侵蚀力相比即为单位降雨侵蚀力引起的侵蚀量。在文献 [9] 中, 已研究指出林地开垦人为加速侵蚀下, 单位降雨侵蚀力引起的侵蚀量随侵蚀年限为递增趋势。通过在  $3, 5$  和  $7 \text{ L/min}$  这 3 种流量的抗冲性指标  $M$  与单位降雨侵蚀力引起的侵蚀量 ( $\bar{S}$ ) 之间的关系进行分析发现, 在 3 种流量下,  $M$  与  $\bar{S}$  呈线性相关(图 2—4), 表达式为:

$$U = 3 \text{ L/min} \quad r = 0.984$$

$$U = 5 \text{ L/min} \quad r = 0.917$$

$$U = 7 \text{ L/min} \quad r = 0.979$$

上式表明, 在 3 种流量下,  $M$  与  $\bar{S}$  均为线性相关, 相关性均显著, 说明土壤侵蚀强度与土壤抗冲性关系密切, 土壤抗冲性弱的土壤, 就易发生侵蚀, 反之, 抗冲性强的土壤, 就不易发生侵蚀。因此, 提高土壤的抗冲性, 则能有效地减弱土壤侵蚀强度。其中流量在  $3 \text{ L/min}$  的  $M$  与  $\bar{S}$  相关性最高, 相关系数为  $0.984$ , 说明  $3 \text{ L/min}$  流量能够代表侵蚀不同年限土壤的抗冲性能。

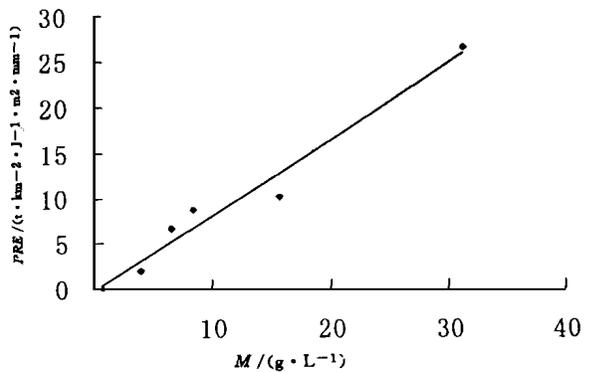


图 2 流量  $3 \text{ L/min}$  的  $M$  值与  $\bar{S}$  关系图

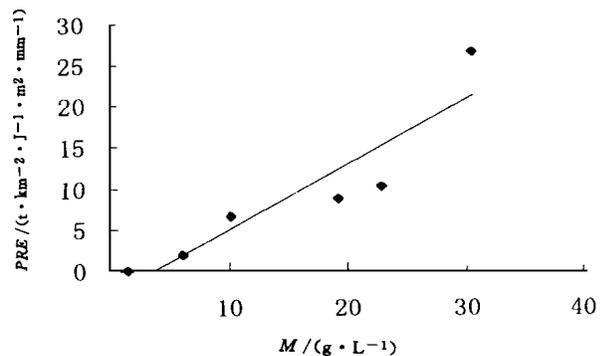


图 3 流量  $5 \text{ L/min}$  的  $M$  值与  $\bar{S}$  的关系图

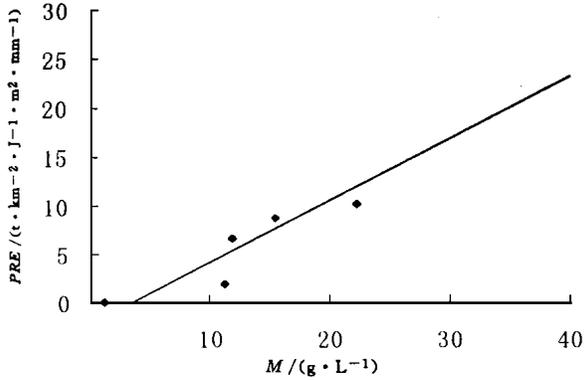


图 4 流量为 7 L/min 的  $M$  值与  $\bar{S}$  的关系

3.5 不同侵蚀年限土壤的抗冲性与土壤性质的关系

在人为加速侵蚀下, 林地开垦随侵蚀年限的增长, 土壤的抗冲性能为减弱趋势。根据林地和侵蚀不同年限开垦地土壤的有机质含量、大于 0.25 mm 水稳性团粒含量和抗剪强度的分析结果(表 4), 将土壤的抗冲性与土壤的有机质含量、大于 0.25 mm 水稳性团粒含量和抗剪强度进行相关分析。设  $M$  为土壤抗冲性性能,  $X_1$  为土壤有机质含量,  $X_2$  为大于 0.25 mm 土壤水稳性团粒含量,  $X_3$  为土壤的抗剪强度, 经相关分析, 可得出其相关矩阵(表 5)。

表 4 不同侵蚀年限土壤性质比较

侵蚀年限/a	> 0.25 mm 水稳性团粒/%	有机质含量/(g·kg <sup>-1</sup> )	抗剪强度/(kg·cm <sup>-2</sup> )
林地	60.19	45.2	0.123
1	44.61	30.7	0.102
3	38.63	18.2	0.100
5	36.66	16.1	0.097
7	35.96	14.7	0.079
10	28.60	9.8	0.074

表 5 土壤抗冲性能与土壤性质的相关矩阵

项目	$M$	$X_1$	$X_2$	$X_3$
$M$	1			
$X_1$	-0.8975	1		
$X_2$	-0.9221	0.9853	1	
$X_3$	-0.9256	0.9603	0.9294	1

注:  $r_{0.05}=0.811$ ,  $r_{0.01}=0.917$

表 5 表明, 有机质含量、大于 0.25 mm 土壤水稳性团粒含量和土壤的抗剪强度与土壤抗冲性  $M$  在  $\alpha=0.05$  上都显著相关, 且相关系数均为负值, 表明土壤的抗冲性均受到大于 0.25 mm 水稳性团粒、有机质和抗剪强度的影响。其中, 土壤抗剪强度与抗冲性的相关程度最高, 相关系数为 -0.9256, 说明土壤的

抗冲性与土壤的力学性质有关, 土壤的抗剪强度的提高, 有利于提高土壤的抗冲性能; 其次为大于 0.25 mm 土壤水稳性团粒含量和有机质含量, 相关系数分别为 -0.9221 和 -0.8975。相对开垦地来说, 林地有很高的有机质含量、水稳性团粒含量和土壤的抗剪强度等性质, 可有效地提高土壤的抗冲性, 减弱径流对土壤的冲刷能力。因此, 退耕还林还草, 大力恢复植被, 提高土壤的抗冲性, 仍然是黄土高原水土保持和生态环境建设的核心措施和中心任务。

4 结 论

本文研究结果表明随侵蚀年限的增长, 开垦地侵蚀土壤的抗冲性逐年降低; 并且, 侵蚀土壤的抗冲性与单位降雨侵蚀力引起的侵蚀量呈线性相关, 其中与流量为 3 L/min 的相关性最高, 相关系数为 0.984, 说明 3 L/min 流量能够代表侵蚀不同年限土壤的抗冲性能; 同时表明土壤抗冲性的提高, 有利于减缓土壤侵蚀的发生。土壤抗冲性与土壤的理化力学性质的相关分析表明, 土壤的抗剪强度与抗冲性相关性最好, 相关系数为 -0.9256, 其次为水稳性团粒和有机质含量, 说明改善土壤性质, 有利于提高土壤的抗冲性能, 减缓土壤侵蚀, 同时也反映了林地特别是植被在提高土壤的抗冲性能、防治土壤侵蚀和改善生态环境建设方面的重要作用。

[ 参 考 文 献 ]

[ 1 ] 朱显谟. 黄土高原水蚀的主要类型及其有关因素(三) [ J ]. 水土保持通报, 1982, 2(1): 25-30.

[ 2 ] 查小春, 贺秀斌. 土壤物理力学性质与土壤侵蚀关系研究进展 [ J ]. 水土保持研究, 1999, 6(2): 98-104.

[ 3 ] 唐克丽, 郑粉莉, 等. 子午岭林区土壤侵蚀与生态环境关系研究内容和方法 [ J ]. 中国科学院水利部西北水土保持研究所集刊, 1993, 17: 3-11.

[ 4 ] 唐克丽, 张科利, 等. 子午岭林区自然侵蚀和人为加速侵蚀剖析 [ J ]. 中国科学院水利部西北水土保持研究所集刊, 1993, 17: 17-28.

[ 5 ] 中国科学院南京土壤研究所编. 土壤理化分析 [ M ]. 上海: 上海科学技术出版社, 1980.

[ 6 ] 许明祥, 刘国彬, 等. 黄土丘陵小流域土壤特性时空变化研究 [ J ]. 水土保持通报, 2000, 20(2): 21-23.

[ 7 ] 蒋定生, 等编著. 黄土高原水土流失与治理模式 [ M ]. 北京: 中国水利水电出版社, 1997.

[ 8 ] 周佩华, 等. 黄土高原土壤抗冲性的试验研究方法探讨 [ J ]. 水土保持学报, 1993, 7(1): 29-34.

[ 9 ] 查小春, 唐克丽. 黄土丘陵林区开垦地土壤侵蚀强度的时间变化研究 [ J ]. 水土保持通报, 2000, 20(2): 5-7.