

DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2012.07.009

岷江干旱河谷区不同土地利用方式下土壤抗冲性试验*

伏耀龙¹ 张兴昌²

(1. 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西杨凌 712100;
2. 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)

【摘要】 采用野外实地放水冲刷的试验方法,对岷江上游干旱河谷区龙坝沟流域不同土地利用方式(灌木林地、荒草地、耕地和裸地)下土壤抗冲性进行测试研究,分析了土壤侵蚀产沙相关因素。结果表明:不同土地利用方式下土壤抗冲系数均随冲刷时间延长呈波状上升变化趋势;土壤的抗冲性从大到小依次为:荒草地、小麦耕地、灌木林地、玉米耕地、裸地;土壤抗冲系数与粉粒体积分数呈显著负相关(相关系数为-0.992, $P<0.01$),与砂粒体积分数呈显著正相关(相关系数为0.925, $P<0.01$)。

关键词: 土壤抗冲性 坡面侵蚀 岷江上游干旱河谷区 冲刷试验
中图分类号: S157.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2012)07-0050-06

Anti-scourability of Soil under Different Land Use Types
in Dry Valley of Minjiang River

Fu Yaolong¹ Zhang Xingchang²

(1. College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China
2. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract

In order to provide scientific and theoretical basis for control of water and soil loss of slope, soil anti-scourability for different land uses (shrub land, waste grassland, cultivated land and bare land) in Longbagou basin, the dry valley of upper Minjiang River was studied by the flume experiment, and soil erosion and sediment yield characteristic and its influencing factors were discussed. The results showed that the anti-scourability of surface soil under different land use patterns increased and assumed wavy variation along with scouring time; the anti-scourability followed the order of waste grassland, wheat land, shrub land, corn land, bare land; soil anti-scourability values and silt content has a significant negative correlation ($r = -0.992, P < 0.01$), and sand content has a significant positive correlation ($r = 0.925, P < 0.01$).

Key words Soil anti-scourability, Slope erosion, Dry valley of Minjiang River, Scouring experiment

引言

岷江干旱河谷区是青藏高原东部生态最脆弱、环境最恶劣的地段之一,也是植被恢复重建最困难

的地域类型之一。该区地质基础不稳定,坡面与谷地的侵蚀与堆积活动强烈,整个山地生态系统脆弱易变,一旦受到外力的作用,极易发生水土流失^[1~2]。脆弱的生态环境加上长期以来人类农业耕

收稿日期: 2011-12-07 修回日期: 2012-01-30
* 国家重点基础研究发展计划(973计划)资助项目(2007CB106803)和中国科学院知识创新工程资助项目(KZCX2-YW-441)
作者简介: 伏耀龙,博士生,主要从事土壤侵蚀及环境生态工程研究,E-mail: fasciei@qq.com
通讯作者: 张兴昌,研究员,博士生导师,主要从事水土保持生态工程技术与土壤环境化学研究,E-mail: zhangxc@ms.iswc.ac.cn

溢流口,能保证水位始终保持在一定的高度,流量计阀门控制放水流量,每次的流量分别率定若干次,保证放水流量与设计要求误差不得超过 5%。小区上方设置一个与小区宽度相等的、紧贴地面、紧靠小区顶端且嵌入地下的缓冲槽,通过缓冲槽的缓冲,保证在试验小区上部水流是均匀地、以薄层水流的形式向下流动。在小区的下方设集流槽,用集流桶收集泥水样。

1.3 试验方法

试验开始前,清理小区,去除杂草等异物,用少量水喷洒土壤表面,使土壤表面保持平整,维持土壤含水率在 12%~15% 之间。准备好水管、秒表和流量计,根据试验要求,调节放水冲刷强度和时。试验开始后,在小区出口处收集径流泥沙样,以计算坡面径流泥沙过程。产流 5 min 内隔 1 min 取 1 次径流泥沙样,5 min 后每隔 2 min 取 1 次径流泥沙样。坡面流速测定采用高锰酸钾染色剂示踪法,每隔 3 min 测定一次水流流速。记录产流随时间的变化,记下采样时间及采样体积,以此估算径流变化过程,测定径流量和土壤侵蚀量。每次产流前,测定试验小区土壤容重、土壤前期含水率。采集冲刷前后小区表层(0~20 cm)土壤样品供室内理化性质分析。

1.4 土壤理化性质测定方法

用四分法取大约 500 g 的土样带回实验室分析测定土壤颗粒组成以及有机质、全氮、全磷、全钾含量(质量比)。土壤和泥沙中有机质含量采用重铬酸钾氧化-外加加热法测定;全氮含量采用半微量开氏法,用自动定氮仪测定;全磷含量采用酸熔钼锑抗比色法测定;全钾含量采用氢氧化钠-火焰光度计法测定;土壤容重采用环刀法测定;土壤含水率采用经典干燥法测定;土壤颗粒组成利用英国马尔文公司生产的 MS2000 型激光粒度仪测定。

1.5 土壤抗冲性评价指标

目前国内外评价土壤抗冲性指标无统一标准。本文采用最早由蒋定生提出和应用的指标,即

$$C = Q t / m$$

式中 C ——土壤抗冲系数, $L \cdot \min / g$
 Q ——冲走土壤所需的水量, L
 t ——冲走土壤所需的时间, $\min$
 m ——冲走土壤的质量, g

该指标从泥沙动力学的角度出发,推理比较严谨,物理意义明确,能反映出土壤抗冲的内在机理。

1.6 数据处理

采用 Excel 软件对测定结果进行统计分析并作图,采用 SPSS 13.0 软件分析抗冲系数与土壤理化性质间的相关关系。

2 结果与分析

2.1 土壤抗冲性动态变化特征

图 3 是冲刷试验中径流量的变化特征图,由图 3 可知,坡度相同,放水流量(水流冲刷力)相同,不同土地利用方式下土壤冲刷过程中小区坡面径流量存在较大差异。但总体趋势是随着冲刷时间的推移,径流量呈现逐渐增大的趋势。从产生径流开始裸地的径流量最大,其次是灌木林地和小麦耕地,荒草地和玉米耕地则最小。裸地、灌木林地、小麦耕地、荒草地和玉米耕地在冲刷过程中最大径流量分别是最小径流量的 2.16、2.41、3.26、1.64、1.46 倍。

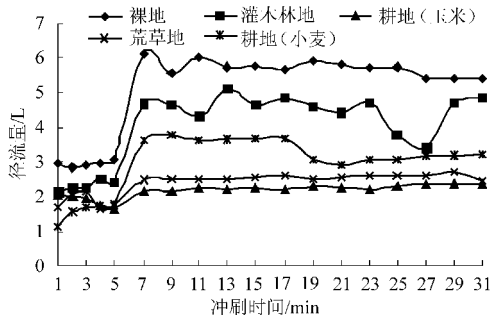


图 3 径流量变化特征

Fig. 3 Changing characteristics of runoff

冲刷过程中径流含沙量(泥沙质量浓度)的变化可反映出不同土地利用土壤在径流作用下抗冲性能随时间变化的特点。由图 4 可知,不同土地利用方式下径流含沙量随着产流时间的延长,呈现规律性递减趋势。由于各表层土壤较松散,产流初期径流所携带的泥沙量较大。在产流 13 min 以后裸地径流含沙量急剧减少,并趋于一个较高的平稳水平。灌木林地、小麦耕地、荒草地和玉米耕地含沙量分别在产流 9、5、5、11 min 以后明显减少并趋于稳定。由此可见,不同土地利用方式下土壤含沙量在产流后 5 min 内变化较大,但随着冲刷时间的延长逐渐降低,并趋于相对稳定状态。

同时由图 4 可以看出,荒草地和小麦耕地的径流含沙量较小,且能在较短时间内趋于稳定,而裸地

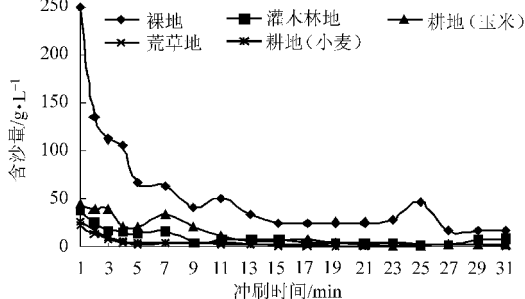


图 4 径流含沙量变化特征

Fig. 4 Changing characteristics of runoff sediment concentration

的含沙量在整个冲刷过程中均最大,且其含沙量趋于稳定的时间滞后于其他几种土地利用方式,这是由于裸地无植被覆盖,土壤没有草本庞大根系的网络固持作用,土壤较为疏松,在径流的冲刷作用下,较容易被水破坏和推动下移,土壤更易被冲刷。相同的放水冲刷条件下,玉米耕地土壤较小麦耕地土壤更易被冲刷,因为小麦根系是须根系,茂密繁多且细,有利于固结土壤颗粒。原生灌木林地由于枯落物丰富,草本层覆盖度较高,根系密布,一方面改善了土壤结构,形成了水稳性较强的团聚体,另一方面由于根系的盘绕、固持作用,使得土壤不易被径流冲刷,径流含沙量较小,从而表现出较好的抗冲性能。

土壤抗冲性随冲刷时间延长而增强,且这种关系不受土地利用方式的变化而改变。由图 5 可以看出,在放水冲刷初期土壤抗冲系数均较小,且随时间逐渐延长,抗冲系数呈波浪式变化。随着冲刷时间的增加,荒草地与小麦耕地的抗冲系数上升最快,其次为灌木林地。小麦耕地土壤由于受施肥、耕作及根系的网络固持作用的影响,其土壤容重和孔隙度等有一定的改善,径流向入下入渗能力较强,且较难被水破坏和推动下移。因而对地表的冲刷作用减弱,其土壤抗冲系数有所增强。在产流开始后 5 min,荒草地与小麦耕地土壤抗冲系数较大,裸地最小。在产流开始后 7~21 min 内荒草地土壤抗冲系数急剧上升,表明其土壤抗冲性能显著增强。在产流开始 21~25 min 内荒草地土壤抗冲系数有所降低,27 min 后其抗冲系数又大幅升高。随着冲刷历时增加,荒草地抗冲性能表现为最强。由图 5 还可以看出,在冲刷 5 min 后,随着冲刷时间的延长,不同土地利用方式下土壤抗冲性能有一定波动,但是整体上仍呈上升趋势。

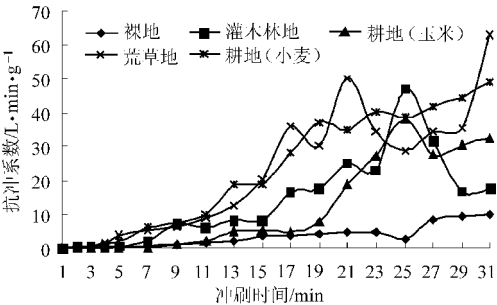


图 5 抗冲系数变化特征

Fig. 5 Changing characteristics of soil anti-scour coefficients

试验过程中,不同土地利用方式下土壤冲刷泥沙量在冲刷过程中呈现瞬时的波动变化,主要是因为随着水流对土样的不断浸泡和冲刷,土壤颗粒之间结合力逐渐降低,一些根系对土壤的固持能力逐

渐变弱,待水流能量积聚到一定程度,某些土块的固持系统瞬间瓦解,导致大量泥沙被冲出,径流泥沙剧增,土壤抗冲刷能力急剧下降,而剩余的土样在土壤和根系的相互作用下,变得相对较为稳定,土壤抗冲刷能力随后又突然增强。

2.2 土壤抗冲性影响因素相关性分析

土地利用方式对土壤的组成与结构有较大影响,一方面使土壤理化性状发生变化,另一方面由于植被覆盖的不同,根系对土壤的固结以及网络作用,使土壤水分入渗和地表径流发生变化,致使土壤抗冲性表现出很大的差异。不同土地利用方式的土壤抗冲性见表 2。整个放水冲刷试验过程中,不同土地利用方式下土壤抗冲系数从大到小依次为荒草地、小麦耕地、灌木林地、玉米耕地、裸地。荒草地抗冲系数是裸地的 24.6 倍,是传统玉米耕地的 10.5 倍,其次灌木林地、小麦耕地分别为裸地的 4.5、20.6 倍,原生的荒草地、灌木林地有效地提高了土壤抗冲性能。主要因为原生荒草地草的根系主要分布于表层土壤,根系的固结作用极大地提高了草地表层土壤的抗冲性,虽然有机质含量并不是最高,但在有机质参与下形成的土壤微团聚体较多,土壤结构较好,因而导致土壤抗冲性大。耕地土壤的抗冲性除与其土壤本身性质有关外,还与耕作方式有关,因此,耕地抗冲性的变化幅度较大。小麦耕地的有机质含量较玉米耕地高,且小麦根系密集,抗冲性远大于玉米耕地,是玉米耕地的近 9 倍,甚至比灌木林地还要大。裸地的土壤抗冲性最小。由于裸地土壤中有有机质含量少,土壤的物理结构差,无地表覆盖植物,很容易受到水力侵蚀。

表 2 列出了不同土地利用方式下土壤颗粒组成情况。可以看出,土壤抗冲性较大的样品中,黏粒(粒径 0~0.002 mm)颗粒的体积分数较低,砂粒(粒径 0.05~1 mm)体积分数较高。砂土透水强,不容易产生径流,在一般的水流作用下较难被搬运侵蚀,砂粒含量越多,土壤抵抗一般水流冲刷的能力也就越强。黏土颗粒粒径小,比表面积大,黏粒之间相互作用力较大,粘结力很强,土壤孔隙小,渗透性差,容易产生径流。黏粒含量高的土壤常呈块状结构,在同等径流冲击作用下,黏粒含量高的土壤抵抗径流机械破坏的能力也更强,这很好地体现了土壤质地不同导致抗冲性存在显著差异。冲刷试验结果显示,几种土地利用方式下土壤黏粒体积分数从大到小依次为裸地、灌木林地、玉米耕地、荒草地、小麦耕地,这与土壤抗冲性顺序不一致是因为岷江上游干旱河谷区土壤多为千枚岩发育的褐土,土壤质地为粉砂质土壤。土壤的黏粒体积分数较小,粉粒、砂粒

体积分数较大。作为一种胶结物质土壤有机质是土壤重要化学性质之一,有机质含量的高低对土壤团聚体的稳定性有着重要的影响,进而影响土壤抗冲性。灌木林地表层土壤有机质含量最高,但其分散率和团聚体分散度也很高,使其团聚体的稳定性并不高,所以抗冲系数也不是最高。

对照分析土壤抗冲性试验结果和土壤颗粒分析结果,由表 3 可以揭示出龙坝沟流域土壤抗冲性与土壤中粉粒(粒径 0.002 ~ 0.05 mm)体积分数具有极显著负相关关系,相关系数达到 -0.992。土壤抗

冲性随着土壤粉粒体积分数的增加呈现降低趋势。砂粒(粒径 0.05 ~ 1 mm)体积分数与抗冲系数在显著水平上呈正相关关系,相关系数达到 0.925。抗冲系数与黏粒(粒径 0 ~ 0.002 mm)体积分数呈负相关关系,相关系数为 -0.796。土壤性质各变量与抗冲系数相关系数的绝对值从大到小依次为土壤粉粒体积分数、砂粒体积分数、黏粒体积分数、全磷质量比、全氮质量比、有机质质量比、全钾质量比。研究表明在干旱河谷地区土壤颗粒组成是决定土壤抗冲性能的主导因素之一。

表 2 不同土地利用方式下土壤平均抗冲系数与理化性质

Tab.2 Verage anti-scour coefficients and physical and chemical properties of soil under different land use types									
样地 编号	土地利 用方式	抗冲系数 /L·min·g ⁻¹	有机质质量比 /g·kg ⁻¹	全氮质量比 /g·kg ⁻¹	全磷质量比 /g·kg ⁻¹	全钾质量比 /g·kg ⁻¹	黏粒体积 分数/%	粉粒体积 分数/%	砂粒体积 分数/%
1	裸地	2.39	25.27	4.27	0.87	35.07	16.709	58.306	24.985
2	灌木林地	10.76	70.89	3.51	0.99	30.16	11.253	56.482	32.265
3	小麦耕地	49.32	36.87	2.33	0.93	30.91	6.829	50.809	42.362
4	荒草地	58.88	35.81	2.42	0.79	34.64	7.866	50.126	42.009
5	玉米耕地	5.59	34.22	2.05	0.97	31.03	10.338	56.702	32.960

表 3 土壤抗冲系数与理化性质的相关性

Tab.3 Correlation between soil anti-scour coefficients and physical and chemical properties							
	抗冲系数	有机质质量比	全氮质量比	全磷质量比	全钾质量比	黏粒体积分数/%	粉粒体积分数/%
有机质质量比	-0.115						
全氮质量比	-0.534	0.111					
全磷质量比	-0.576	0.553	-0.035				
全钾质量比	0.154	-0.651	0.374	-0.890 *			
黏粒体积分数/%	-0.796	-0.166	0.860	0.036	0.413		
粉粒体积分数/%	-0.992 **	0.085	0.623	0.485	-0.046	0.863	
砂粒体积分数/%	0.925 *	0.044	-0.770	-0.266	-0.194	-0.966 **	-0.964 **

注: ** 表示相关性极显著(P<0.01), * 表示相关性显著(P<0.05)。

3 结论

(1) 不同土地利用使冲刷试验径流量、径流含沙量存在较大差异。但总体趋势是随着冲刷时间的推移,径流量呈现逐渐增大的趋势。从产生径流开始裸地的径流量最大,其次是灌木林地和小麦耕地,荒草地和玉米耕地则最小。径流含沙量随着产流时间的延长,呈现规律性递减趋势。荒草地和小麦耕地的径流含沙量较小,且能在较少时间内趋于稳定,而裸地的含沙量在整个冲刷过程中均最大,且其含沙量趋于稳定的时间滞后于其他几种土地利用方式。土壤抗冲性随冲刷时间延长呈波状变化,但整体上仍符合冲刷时间越长,土壤抗冲性能越强的规律,上升速度最快为荒草地和小麦耕地。

(2) 在整个冲刷过程,不同土地利用方式下土壤抗冲系数从大到小依次为荒草地、小麦耕地、灌木林地、玉米耕地、裸地,荒草地抗冲系数是裸地的 24.6 倍,是传统玉米耕地的 10.5 倍,其次灌丛地、小麦耕地分别为裸地的 4.5、20.6 倍。因此,龙坝沟流域原生荒草地的抗冲性最大,其次是小麦耕地、原生灌木林地、玉米耕地,裸地土壤的抗冲性最小。

(3) 土壤颗粒组成与土壤抗冲性能具有显著的相关关系。土壤抗冲性与土壤粉粒体积分数有极显著负相关关系,相关系数达到 -0.992;与砂粒体积分数呈显著正相关关系,相关系数达到 0.925;与黏粒体积分数呈负相关关系,相关系数为 -0.796;与土壤有机质质量比关系不显著。

参 考 文 献

- 1 张荣祖. 横断山区干旱河谷[M]. 北京:科学出版社,1992:2~11.
- 2 陈国阶,涂建军,樊宏,等. 岷江上游生态建设的理论与实践[M]. 重庆:西南师范大学出版社,2006:1~32.
- 3 包维楷,王春明. 岷江上游山地生态系统的退化机制[J]. 山地学报,2000,18(1):57~62.
Bao Weikai, Wang Chunming. Degradation mechanism of mountain ecosystem at the day valley in the upper reaches of the Minjiang River [J]. Journal of Mountain Science, 2000, 18(1):57~62. (in Chinese)
- 4 叶延琼,陈国阶,樊宏. 岷江上游脆弱生态环境刍论[J]. 长江流域资源与环境,2002,11(4):383~387.
Ye Yanqiong, Chen Guojie, Fan Hong. Vulnerability of the eco-environment in the upper reaches of Minjiang River [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2002, 11(4):383~387. (in Chinese)
- 5 刘斌,张仁绥,纪先桃. 岷江上游干旱河谷的水土流失现状和原因[J]. 四川农业大学学报,1990,8(1):351~354.
Lu Bin, Zhang Rensui, Ji Xiantao. The present conditions of soil and water loss and its causes in dry river valley of Minjiang's upper course [J]. Journal of Sichuan Agricultural University, 1990, 8(1):351~354. (in Chinese)
- 6 张建平,樊宏,叶延琼. 岷江上游土壤侵蚀及其防治对策[J]. 水土保持学报,2002,16(5):19~22.
Zhang Jianping, Fan Hong, Ye Yanqiong. Studies on soil erosion and countermeasures in upper reaches of Minjiang River [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2002, 16(5):19~22. (in Chinese)
- 7 鲍文,丁德蓉,袁志忠. 岷江上游土壤生态环境问题及其防治对策[J]. 国土与自然资源研究,2004(2):48~49.
Bao Wen, Ding Derong, Yan Zhizhong. The problems and prevention countermeasure of the soil ecological environment in the upper reaches of the Minjiang River [J]. Territory & Natural Resources Study, 2004(2):48~49. (in Chinese)
- 8 李勇,徐晓琴,朱显谟,等. 植物根系与土壤抗冲性[J]. 水土保持学报,1993,7(3):11~18.
Li Yong, Xu Xiaoqin, Zhu Xianmo, et al. Plant roots and soil anti-scourability [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1993, 7(3):11~18. (in Chinese)
- 9 周佩华,武春龙. 黄土高原抗冲性的试验研究方法探讨[J]. 水土保持学报,1993,7(1):29~34.
Zhou Peihua, Wu Chunlong. The research method of soil anti-scourability experiment in loess plateau [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1993, 7(1):29~34. (in Chinese)
- 10 刘国彬. 黄土高原土壤抗冲性研究及有关问题[J]. 水土保持研究,1997,4(5):91~101.
Liu Guobin. Soil anti-scourability research and its perspectives in loess plateau [J]. Research of Soil and Water Conservation, 1997, 4(5):91~101. (in Chinese)
- 11 Zhang Jianhui, Liu Gangcai, Ni Shijun, et al. Anti-scourability of purple soil on hillslopes with different land uses [J]. Science in China Ser. E Technological Sciences, 2003, 46(Supp.1):133~141.
- 12 邹翔,崔鹏,陈杰,等. 小江流域土壤抗冲性实验研究[J]. 水土保持学报,2004,18(2):71~73.
Zou Xiang, Cui Peng, Chen Jie, et al. Experiment study on anti-scouring of soil in Xiaojiang River basin [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2004, 18(2):71~73. (in Chinese)
- 13 周维,张建辉,李勇,等. 金沙江干暖河谷不同土地利用条件下土壤抗冲性研究[J]. 水土保持通报,2006,26(5):26~30.
Zhou Wei, Zhang Jianhui, Li Yong, et al. Soil anti-scourability under different land uses in dry-warm valleys of the Jinshajiang River basin [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2006, 26(5):26~30. (in Chinese)
- 14 陈晏,史东梅. 紫色土丘陵区不同土地利用类型土壤抗冲性特征研究[J]. 水土保持学报,2007,21(2):24~27.
Chen Yan, Shi Dongmei, Wen Zhuoli, et al. Study on soil anti-scourability of different land use types in purple soil hilly region [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2007, 21(2):24~27. (in Chinese)
- 15 杨玉梅,郑子成,李廷轩. 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.
Yang Yumei, Zheng Zicheng, Li Tingxuan. Soil anti-scourability dynamic variation characteristics and its influencing factors under different land use types [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2010, 24(4):64~68. (in Chinese)