黄土与紫色土坡面侵蚀特征对比试验研究

张媛静[1,2], 张平仓[1], 贠峰[1]
(1. 长江水利委员会 长江科学院, 湖北 武汉 430010; 2. 中国地质科学院 水文地质环境地质研究所, 河北 石家庄 050061)

摘 要: 采用人工模拟降雨试验, 在相同试验条件下对黄土和紫色土坡面产流及产沙特征进行了对比研究。研究结果表明, 黄土坡面属于超渗产流, 坡面发育有较深的侵蚀沟; 紫色土属于蓄满产流, 坡面沟道不发育或发育微弱, 且在相同条件下黄土坡面侵蚀量远大于紫色土坡面的侵蚀量。对比试验表明, 在实施水保措施时, 应结合土壤的结构和侵蚀特征选择适当的方案, 以达到理想的防治效果。

关键词: 黄土; 紫色土; 人工降雨; 坡面侵蚀
文献标识码: A 文章编号: 1000-288X(2010)04-0060-03 中图分类号: 157.2

Characteristics of Soil Erosion in Loess and Purple Soil

ZHANG Yuan-jing[1,2], ZHANG Ping-cang[1], GING Wen-feng[1]
(1. *Yangtze River Scientific Research Institute, Wuhan, Hubei* 430010, *China*;
2. *The Institude of Hydrogeology and Environmental Geology, CAGS, Shijiazhuang, Hebei* 050061, *China*)

Abstract: By the artificial rainfal experiment, the characteristics of surface runoff and sediment yield in loess and purple soil are contrastively studied under the same experimental conditions. Results show that loess slope belongs to the category of infiltration-excess runoff and deeper rills are developed on it. Purple soil belongs to the category of saturation-excess runoff, where rills are weakly developed or undeveloped. Erosion rate in loess is much greater than that in purple soil under the same conditions. When practicing soil conservation measurements, the appropriate methods combined with soil characteristics should be selected to achieve the ideal results.

Keywords: loess; purple soil; artificial rainfall; slope erosion

黄土和紫色土是我国西北和西南地区最具有代表性的侵蚀性土壤, 也是我国水土流失最为严重地区的两种土壤类型。我国是黄土最典型、分布面积最大的国家, 约有 4.40×10^5 km^2。其中以西北黄河中游地区分布面积最广, 占全国黄土总面积的 70% 以上, 由于黄土疏松多孔, 质地相对均一, 成为我国农业文明的发源地。但同时由于其土质疏松, 易引起严重的土壤侵蚀及水土流失。经过几千年来的耕垦以及土地的不合理利用, 黄土高原已成为我国侵蚀与产沙最为严重的区域[1]。国内对黄土高原土壤侵蚀的研究也最为深入。20 世纪 50—60 年代, 黄秉维等人对黄土高原土壤侵蚀类型及分区进行了深入的研究; 20 世纪 80 年代, 刘东生, 朱显漠等分析了黄土的易蚀性、可蚀性、抗冲性对坡面发育的影响; 赵人俊等较为系统地分析了坡面产流的机制及模型; 20 世纪 90 年代以来, 坡面流与坡面过程的研究进入一个新阶段, 即对影响坡面流形成及坡面侵蚀的单个因素进行了深入探讨, 得出许多经验性模型, 取得了一批成果[2]。

紫色土是一种易侵蚀性岩性土, 集中分布于我国西南部长江中上游地区。紫色土具有较好的天然肥力, 是一种重要的土壤资源。长江流域暴雨频繁, 丘陵区紫色土坡地不合理利用后, 水土流失严重, 是长江的主要泥沙来源地。目前, 有关紫色土坡面土壤侵蚀研究在侵蚀过程、土壤抗蚀性及其耕作措施对侵蚀影响评价等方面研究已经取得了一定的进展。然而, 同黄土坡面侵蚀过程研究相比, 紫色土坡耕地侵蚀过程及机理的研究还相对薄弱[3]。

1 材料与方法

1.1 试验装置

本试验装置设置于长江水利委员会长江科学院

收稿日期: 2009-11-19 修回日期: 2010-02-05
资助项目: 国家重点基础研究发展计划(973)项目"中国主要水蚀区土壤侵蚀过程与调控研究"(2007CB40720301)
作者简介: 张媛静(1984—), 女(汉族), 陕西省西安市人, 硕士研究生, 研究方向为流域侵蚀产沙与调控。E-mail: mirrorzyj@163.com。
通信作者: 张平仓(1961—), 男(汉族), 陕西省渭南市人, 博士, 研究员, 博士生导师, 研究方向为土壤侵蚀及水土保持。E-mail: zhangpc@mail.crsri.cn。

沌口实验基地防洪模型大厅中, 整个试验在“移动式水土流失实验车”上进行, 采用美国下喷摇摆式降雨器, 降雨高度约为 2.5 m, 试验设计了从 0.6~ 2.6 mm/ min 共 5 种雨强。试验车内为可变坡侵蚀槽, 试验设计坡度为 5°, 10°, 15°和 20°; 侵蚀槽面积为 1 m× 3 m。侵蚀槽外接等腰梯形金属汇流槽, 汇流槽紧靠侵蚀槽下端边界, 并连接长约 30 cm, 直径为 10 cm 的导水管, 将汇流槽汇入的地表径流导入径流桶, 收集地表径流和泥沙, 侵蚀槽底部均匀布设直径为 10 mm 的小孔, 便于土壤入渗流的排出, 底部外接壤中流汇流装置, 用于收集壤中流。实验用黄土试样为陕西省安塞县典型剖面表面耕作黄绵土, 紫色土试样来自湖北省秭归县典型中厚层坡耕地。两种试验土壤的理化性质如表 1 —2。

表 **1**　试验土壤颗粒组成　　%

土 类	> 1 mm	1~ 0.20 mm	0.2~ 0.05 mm	0.05~ 0.01 mm	0.01~ 0.005 mm	0.005~ 0.001 mm	< 0.001 mm
黄 土	0.00	0.16	23.57	60.40	5.83	6.59	3.44
紫色土	3.15	15.52	34.45	20.06	9.04	11.14	6.64

表 **2**　湿筛团聚体百分数与有机质含量

土 类	> 5 mm	5~ 2 mm	2~ 1 mm	1~ 0.5 mm	0.5~ 0.25 mm	< 0.25 mm	有机质/ (g• kg^{-1})
黄 土	0.00%	0.03%	0.07%	0.12%	0.29%	99.48%	2.56%
紫色土	4.09%	10.48%	12.38%	8.01%	7.48%	57.56%	5.12%

1.2　试验设计

共设计 24 场模拟降雨实验, 分别对黄土和紫色土在 3 种雨强(0.6, 1.1, 1.6 mm/ min) 和 4 级坡度(5°, 10°, 15°, 20°) 下进行试验操作, 保证每次降雨雨量均为 50 mm 左右, 且尽量使每场降雨的前期土壤含水量基本一致。

1.3　试验程序

(1) 试验土槽装土。装土时, 模拟扰动耕作土层填充, 填充厚度为 40 cm, 紫色土容重控制在 1.35 g/ cm^{3}左右, 黄土容重控制在 1.05 g/ cm^3 左右。

(2) 试验前一天, 采用小雨强降雨对坡面进行降雨预湿约 10 min, 使小区内填土得到充分的压密和湿润, 并保证土壤含水量基本一致, 消除前期土壤含水量对试验结果的影响。

(3) 降雨过程观测。降雨前进行降雨率定试验, 以保证降雨的均匀度和降雨强度达到试验要求。在降雨过程中, 记录地表径流和壤中流的产生时间及终止时间, 观测坡面土壤侵蚀过程, 当坡面出现细沟雏形后, 每隔一定时间分上、中、下 3 个部位分别测定流速(高锰酸钾示踪法) 和水深。

(4) 径流与泥沙采集。坡面产流后, 按预先确定的时间间隔对地表径流和壤中流进行取样, 每个时间段取样 100 ml, 倒入烧杯中烘干称重, 测泥沙含量, 同时用 10 L 塑料桶分别收集每个时间段的全部径流泥沙样。实验结束后记录地表径流和壤中流总量。

2　试验结果

模拟试验的结果表明, 在土壤侵蚀过程中, 随着降雨强度的变化, 坡面径流量、单位体积的泥沙量均随之发生变化。随着雨强增大, 径流量和产沙量也随之增大。产流过程呈现先增加, 出现峰值后, 逐渐趋于稳定。不同雨强的产流过程差异显著, 雨强大产流亦大; 不同坡度产流过程差异不明显。虽然大坡度有增大流速、减小入渗的作用, 但坡度大又使坡面受雨面积减小, 两者作用相抵, 使坡度造成的产流差异削弱。现以坡度 15°, 雨强 1.6 mm/ min 为例, 对比分析紫色土和黄土降雨侵蚀过程(表 3) 。降雨开始后, 0.38 min 时黄土表面便开始产流, 坡面逐渐出现细小的侵蚀纹沟, 随着降雨历时的增长, 沿细小沟道股流形成, 侵蚀冲刷能力增强, 截止降雨结束后 2 h, 未出现壤中流。紫色土坡面由于水分入渗, 降雨损失严重, 3.5 min 后才开始产流, 并多以漫流形式出现, 侵蚀沟发育不明显。降雨进行 25 min 后, 试验土槽底部开始有壤中流流出, 连续收集 2 h, 体积共计 3 900 ml, 且壤中流从浑浊逐渐变为澄清。随着壤中流的流出, 紫色土坡面上有细小裂纹出现。

表 **3**　设计雨强为 **1.6 mm/ min** 时两类土壤的产流状况

项 目	黄 土	紫色土
坡 度/ (°)	15	15
雨 强/ (mm• min^{-1})	1.6	1.6
地表径流开始时间/ min	0.83	3.5
壤中流开始时间/ min	无	25
壤中流总量/ ml	无	3 900

图 1 对黄土和紫色土坡面流速进行了对比。从图 1 中可看出, 两种土壤坡面流速都比较稳定, 且黄

土坡面各断面流速均大于紫色土。降雨产生径流后,沿坡面向下汇流,所以坡面流速为坡下> 坡中> 坡上。紫色土颗粒不均匀,表面糙力大,水流的水力摩阻系数大,表面流速小;黄土坡面上随着降雨历时的增长,有细小侵蚀沟发育,坡面径流汇集于侵蚀沟,因此黄土的坡面流速远大于紫色土。

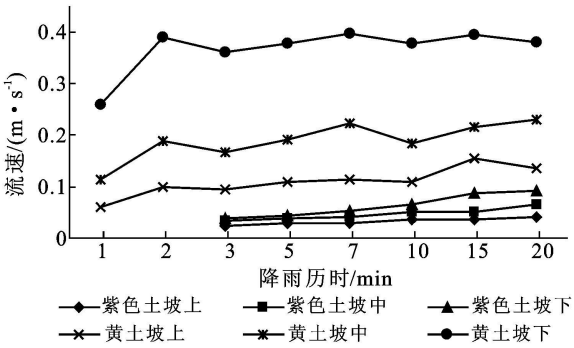


图 **1** 黄土与紫色土坡面流速对比

从表 4 可以看出,在相同的坡度和雨强条件下,黄土的坡面径流量和产沙量远大于紫色土,其中黄土的地表径流量为紫色土的 1. 16 倍,但产沙总量为紫色土的 2. 09 倍,因此单位径流产沙量黄土大于紫色土。图 2—3 分别对比了不同时段紫色土和黄土的径流量和产沙量,得出每一时段黄土的径流产沙量均大于紫色土,且两种土壤径流产沙量都是先逐渐增加,出现峰值后,渐趋于稳定。

表 **4** 黄土与紫色土坡面总径流产沙量

土 类	产沙量/ g	地表径流量/ ml
黄 土	4 054. 37	85 642. 8
紫色土	1 943. 42	73 773. 6

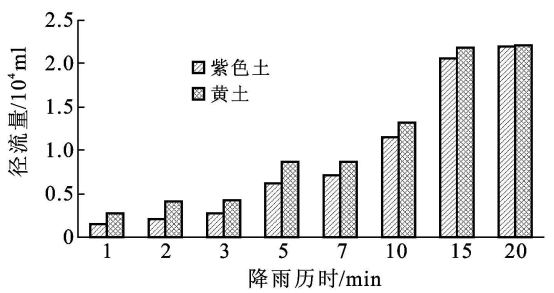


图 **2** 黄土与紫色土累积径流量对比

3 分析与讨论

紫色土是紫色砂页岩风化形成的初成土,黄土是风积土。试验用紫色土有机质含量为 5. 12 g/ kg,是黄土有机质含量的2 倍;沙粒含量为54. 51%;粉粒含量占 20. 18%,黏粒占 6. 64%;土壤团聚体组成比较丰富,大于 1 mm 水稳性团聚体含量为 26. 95%,土壤抗蚀能力较强。而黄土以粉沙质为主,占60. 40%,大于 1 mm 水稳性团聚体含量仅为 0. 1%,少黏粒,土壤有机质含量低,胶结力差,遇强降雨表土易分散(表 1)。

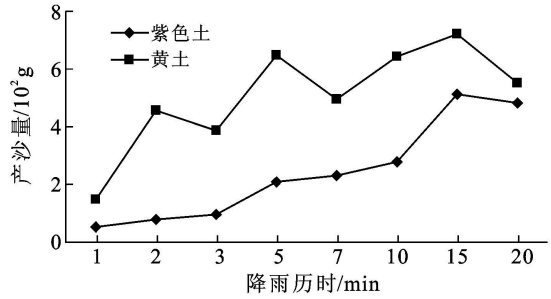


图 **3** 黄土与紫色土产沙量对比

紫色土粒径比黄土大且颗粒组成不均一,有一定的土壤黏粒含量。由于有机质含量高,土壤具备一定的结构性,降雨初期,土壤入渗量大于降雨量,因此紫色土初始产流时间比黄土长。随着降雨的进行,大量降雨渗入土壤,土壤含水量逐渐达到饱和,不能再被土壤含蓄的水量便以壤中流的形式沿土壤孔隙特别是大孔隙流出。大孔隙壤中流还会将紫色土土体中的细颗粒物质逐渐带出,因而使壤中流变浑浊。由于是有结构性的土壤,整体性强,在斜坡作用下,土壤体沿下部层面发生滑动,导致坡面产生裂缝[5]。表 1—2 的试验数据表明,在相同降雨量条件下紫色土地表径流量与壤中流体积之和仍小于黄土地表径流量,由此可证明,紫色土的单位蓄水能力比黄土强,反映了紫色土土壤孔隙大而多。

对本试验所用黄土和紫色土进行抗冲性试验分析得出,黄土的抗冲系数为 4. 83,而紫色土的抗冲系数为 14. 89,约为黄土的 3. 08 倍。对黄土而言,降雨打击地表,破坏了由粉粒组成的“点棱”支架结构,封实了土壤空隙,导致地表入渗能力急剧降低,从而易产生地表径流[6]。径流开始后,坡面均匀的面流向低洼处汇集,形成集中径流,流速增加,单位面积径流能量随之增大,剪切能力增强,增强了径流对地表的冲刷切割,形成细沟,之后,径流作用更加集中,进一步加剧了对地表整体性的破坏[7]。而紫色土具备一定的抗侵蚀能力,坡面粗糙、流速慢,径流剪切力较小,因而对地表的破坏能力较弱[8]。

4 结 论

通过人工模拟降雨试验,对相同降雨条件下黄土和紫色土的坡面侵蚀特征进行了探讨和研究。

(下转第 67 页)

少了 173.50 hm^2。在此期间, 红门川流域年径流量逐年递减, 从 3.00×10^7 m^3 减少到 1.00×10^7 m^3 以下, 减少了约 66.7%。2001—2005 年, 防护林乔木林中的针叶林和阔叶林均有较大的增幅, 分别为 24.40%和 21.24%, 而混交林减少了 910.28 hm^2。在此期间, 红门川流域年径流量只有 2001 年为 1.62×10^7 m^3, 其余均在 1.00×10^7 m^3 以下。

1990—2005 年, 其它林地面积逐渐减少, 灌木林地略有增加, 而针叶林、阔叶林面积均有不同程度的增加, 混交林也有减少, 但是防护林中乔木林的面积从 80.54%增加到 84.74%, 呈持续增加趋势。

4　结 论

在年降水量没有明显变化的基础上, 红门川流域的径流量由 1990 年的 3.00×10^7 m^3 减少到 2005 年的 1.00×10^7 m^3 以下, 主要是防护林发挥了削洪减洪的功能。但是从研究结果来看, 不能准确得到类似于怀柔水库防护林中乔木林逐年增长, 灌木林逐年减少, 导致径流量逐年减少的结论[12]。也就是说, 不同的森林类型和树种是否对径流起到的不同的影响, 还需要进一步深入研究。

[参 考 文 献]

[1] 孙鹏森, 马履一, 王田华. 北京市水源保护林体系的基本格局与发展思路[J]. 环境保护, 2003(1): 29-33.

[2] 孙鹏森, 马履一, 蔡永茂. 京北山区水源保护林的现状与发展策略[J]. 北京林业大学学报, 1999, 21(6): 58-64.

[3] 高成德, 余新晓. 水源涵养林研究综述[J]. 北京林业大学学报, 2000, 22(5): 78-82.

[4] 王礼先, 高甲荣, 谢宝元, 等. 密云水库集水区生态经济分区研究[J]. 水土保持通报, 1999, 19(2): 1-6.

[5] 朱金兆, 魏天兴, 张学培. 基于水分平衡的黄土区小流域防护林体系高效空间配置[J]. 北京林业大学学报, 2002, 24(5/6): 5-13.

[6] 宋西德, 罗伟祥, 侯琳. AHP 法在防护林体系优化结构研究中的应用[J]. 西北林学院学报, 1997, 12(4): 41-47.

[7] 宋西德, 罗伟样, 侯琳. 黄土高原渭北生态经济型防护林体系永寿示范区建设技术及其生态经济效益[J]. 防护林科技, 1997, 32(3): 20-23.

[8] 刘启慎, 赵北林, 谭浩亮. 太行山石灰岩低山区水土保持防护林高效空间配置研究[J]. 河南林业科技, 2000, 20(1): 1-6.

[9] 查同刚, 孙向阳, 于卫平, 等. 宁夏段黄河护岸林体系结构的研究[J]. 北京林业大学学报, 2004, 26(3): 93-96.

[10] 刘刚, 姚崇怀, 贾秀红, 等. 三峡库区堤岸防护林结构评价及改造措施[J]. 东北林业大学学报, 2006, 34(5): 29-31.

[11] 张彪, 李文华, 谢高地, 等. 北京市森林生态系统的水源涵养功能[J]. 生态学报, 2008, 28(11): 5609-5624.

[12] 朱丽, 秦富仓, 姚云峰, 等. 北京市怀柔水库集水区径流与防护林结构变化响应研究[J]. 水土保持研究, 2009, 16(3): 143-147.

(上接第 62 页)

研究结果表明, 在相同条件下, 黄土坡面和紫色土坡面的侵蚀特征差异显著, 黄土坡面侵蚀量大于紫色土侵蚀量。黄土坡面属于超渗产流, 坡面形成较深的侵蚀沟; 紫色土属于蓄满产流, 降雨时坡面水分大量入渗, 地表径流量较黄土小, 有壤中流产生。通过对我国西北和西南地区典型侵蚀性土壤侵蚀特征对比分析表明, 在制定水土保持规划时, 应根据不同土壤的结构和侵蚀特点, 因地制宜, 采取相应的水土保持措施。

[参 考 文 献]

[1] 周佩华. 黄土侵蚀机理探讨[J]. 水土保持研究, 1997, 4(5): 40-46.

[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] 王志刚, 郑粉莉, 李靖. 不同近地表水文条件下紫色土坡面土壤侵蚀过程研究[J]. 水土保持通报, 2007, 27(6): 9-11.

[4] 郑子成, 何淑勤, 吴发启. 侵蚀过程中地表糙度变化特征的研究[J]. 水土保持学报, 2003, 17(5): 165-168.

[5] 张平仓, 杨勤科, 夏艳华. 长江中上游地区土壤侵蚀机制及过程试验研究[J]. 长江流域资源与环境, 2002, 11(4): 376-382.

[6] 吴普特, 周佩华. 雨滴击溅对薄层水流水力摩阻系数的影响[J]. 水土保持学报, 1994, 8(2): 39-42.

[7] 吴普特, 周佩华. 黄土坡面薄层水流侵蚀试验研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1996, 2(1): 40-45.

[8] 辛伟, 朱波, 唐家良, 等. 紫色土丘陵区典型坡地产流及产沙模拟试验研究[J]. 水土保持通报, 2008, 28(2): 31-35.