

不同近地表水文条件下紫色土坡面土壤侵蚀过程研究

王志刚^{1,2}, 郑粉莉^{1,2}, 李靖¹

(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: 采用模拟降雨试验, 研究了自由下渗(free drainage)、土壤水分饱和(saturation)、壤中流(seepage) 3 种近地面水文条件下紫色土坡面土壤侵蚀过程。结果表明, 近地表水文条件会对紫色土坡面侵蚀过程产生重要影响。在地面坡度 5°~15°条件下, 当地表水文条件由自由下渗演变为土壤水分饱和时, 坡面侵蚀量由 1.31~2.02 g/(min·m²) 增加到 1.83~5.50 g/(min·m²); 当地表水文条件由土壤水分饱和变为壤中流时, 坡面侵蚀量达到 4.40~16.41 g/(min·m²)。土壤水分饱和条件下坡面侵蚀量是自由下渗的 1.40~2.73 倍; 壤中流条件下坡面侵蚀量是自由下渗时的 3.36~8.12 倍, 是土壤水分饱和时的 2.40~2.98 倍。同时, 坡面坡度对紫色土坡面侵蚀过程有重要的影响。

关键词: 紫色土; 近地表水文条件; 壤中流; 土壤水分饱和; 土壤侵蚀

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2007)06-0009-03

中图分类号: S157.1

Soil Erosion Process on Hillslopes of Purple Soil Under Different Near-Surface Hydrological Conditions

WANG Zhi-gang^{1,2}, ZHENG Fen-li^{1,2}, LI Jing¹

(1. College of Resources and Environmental Sciences, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. State Key Laboratory of Soil Erosion and Arid Farming on Loess Plateau, Institute of Soil and Water

Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Soil erosion processes on hillslopes of purple soil under three near-surface hydrological conditions of free drainage, saturation and seepage were studied by stimulated rainfall experiments. Results showed that near-surface hydrological conditions greatly affecting soil erosion processes on hillslopes of purple soil. At slope gradients from 5° to 15°, erosion rate from hillslopes shifted from 1.31~2.02 g/(min·m²) under free drainage to 1.83~5.50 g/(min·m²) under saturation condition; under seepage condition, erosion rate reached to 4.40~16.41 g/(min·m²). Erosion rate under saturation condition was 1.40~2.73 times greater than that under free drainage; erosion rate under seepage condition was 3.36~8.12 times greater than that under free drainage and was 2.40~2.98 times higher than that under saturation condition. Meanwhile, slope gradient had a great impact on purple soil erosion processes.

Keywords: purple soil; near-surface hydrological condition; seepage; saturation; soil erosion

紫色土是我国西南部长江中上游地区一种重要的土壤资源, 具有较好的天然肥力, 是当地农业发展的物质基础^[1]。但严重的紫色土坡面土壤侵蚀, 不仅影响了四川盆地等地区的农业可持续发展, 而且加重了长江中下游地区的泥沙和洪涝灾害。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取得了一定的研究

进展^[2-8]。然而, 同黄土坡面土壤侵蚀过程研究相比, 紫色土坡耕地侵蚀过程及机理的研究还比较薄弱; 再者, 关于近地表水文条件对坡面侵蚀过程的重要研究主要集中在前期土壤含水量对坡面侵蚀产沙过程的影响, 而对土壤水分饱和和壤中流条件下坡面土壤侵蚀过程研究较少^[9-12]。本文采用模拟降雨试验, 研究在自由下渗(free drainage)、土壤水分饱和

收稿日期: 2007-05-18 修回日期: 2007-07-12

资助项目: 国家重点基础研究发展计划 973 项目(2007CB407201); 国家自然科学基金重点项目(40335050); 西北农林科技大学创新团队建设计划(01140202)

作者简介: 王志刚(1977—), 男(汉族), 甘肃省庄浪县人, 在读硕士研究生, 主要从事土壤侵蚀过程研究。E-mail: gswzg@126.com。

通讯作者: 郑粉莉(1960—), 女(汉族), 陕西省蓝田县人, 研究员, 博士生导师, 主要从事土壤侵蚀过程预报和土壤侵蚀环境效应评价研究。E-mail: flzh@ms.iswc.ac.cn。

(saturation)、壤中流(seepage)3种近地表水文条件下紫色土坡面土壤的侵蚀过程,以期加深对紫色土坡面土壤侵蚀规律的认识,为紫色土土壤侵蚀防治提供理论指导。

1 材料与方 法

1.1 试验装置与材料

试验在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人工模拟降雨大厅进行,供试土壤为四川遂宁组紫色土。试验采用的土槽为移动式变坡度钢槽,坡度变化范围为 $0^{\circ}\sim 25^{\circ}$,试验土槽长 100 cm,宽 50 cm,深 45 cm。试验所采用的降雨机为水土保持研究所研制的侧喷式人工降雨机,降雨采用两组单喷头降雨机对喷,降雨高度为 12 m,降雨范围为 30~200 mm/h。

1.2 试验设计

共设计 18 次降雨试验,包括 50 mm/h 的降雨强度, 5° 、 10° 和 15° 的地面坡度,自由下渗、土壤水分饱和和壤中流三种近地面水文条件,降雨历时 1 h。试验设计如表 1 所示。

表 1 试验设计

水文条件	坡度/ $(^{\circ})$
自由下渗	5
	10
	15
土壤水分饱和状态	5
	10
	15
壤中流	5
	10
	15

注:①土壤容重为 1.45 g/cm^3 ;②试验重复 2 次;③试验次数 18 次;④设计雨强为 50 mm/h。

1.3 试验程序

(1) 将野外所采集的紫色土样品风干,并过 10 mm 筛。

(2) 试验土槽装土。为保证良好的透水性,在试验土槽底部装 5 cm 细沙,在沙层之上装供试土壤,用白纱布与上层土壤隔离。为保证装土的均匀性,试验土槽采用分层装土,即在沙层以上每 5 cm 添装土样一次,共计 7 次。根据公式(1)计算各土层所需要的装土重量。试验土槽分层填土时,采用边填充边压实,保证试验设计的土壤容重,容重控制在 $1.35\sim 1.40\text{ g/cm}^3$ 。

$$W = \rho \times l \times \omega \times h \times (1 + \theta/100) \quad (1)$$

式中: W ——所需装土重量(g); ρ ——土壤容重(g/cm^3); l ——土槽长(cm); ω ——土槽宽(cm); h ——土槽深(cm); θ ——土壤含水量(%)。

(3) 试验土槽土壤水分的控制。利用土壤毛管吸水原理,通过稳压供水装置对试验土槽从下而上供水。为了使试验土壤水分达到试验要求,土壤水分饱和和状态时,供水水头的高度与试验土槽顶部的土层表面平行,当试验土槽表面有充分的积水时,即土壤水分充分饱和;壤中流时,供水水头的高度高出试验土槽土层表面顶端 30 cm,当试验土槽出口有水匀速流出时,即形成壤中流。在降雨过程中饱和状态和壤中流要始终保持稳压供水,直至降雨试验结束。

(4) 降雨过程观测。降雨前进行降雨强度的率定,以检验降雨的均匀度和降雨强度是否达到试验要求。在降雨过程中,记录产流时间,观测坡面土壤侵蚀过程;当坡面出现细沟侵蚀后,每隔一定时间量测细沟的长、宽、深变化,记录细沟侵蚀过程。

(5) 径流与泥沙采集。当坡面产流后,用 5 L 塑料桶每隔 5 min 采集此时间段的全部径流泥沙样。

(6) 壤中流测定。当壤中流形成后,用 5 L 塑料桶每隔 10 min 采集此时间段的全部壤中流。

2 结果与分析

2.1 近地表水文条件对坡面产流过程的影响

研究表明,随着土壤含水量的增高,坡面产流发生时间提前,壤中流条件下降雨开始时坡面就产生径流,土壤水分饱和时坡面发生产流时间变化于 36~60 s,而自由下渗条件下坡面发生产流时间变化于 2.5~3.5 min。在自由下渗条件下,除开始产流外,坡面产流过程变化相对平缓;而在土壤水分饱和及壤中流条件下,坡面产流过程波动性较大。

在 3 种地面坡度条件下,整个降雨过程中坡面径流量总是壤中流>土壤水分饱和>自由下渗。表 2 表明,在地面坡度为 $5^{\circ}\sim 15^{\circ}$ 时,当地表水文条件由自由下渗变为土壤水分饱和时,坡面径流量由 0.71~0.75 mm/min 增加到 0.88~0.93 mm/min;当地表水文条件由土壤水分饱和演变为壤中流时,坡面径流量达 0.96~1.24 mm/min,土壤水分饱和条件下坡面径流量是自由下渗时的 1.23~1.24 倍,壤中流条件下坡面径流量是自由下渗时的 1.35~1.65 倍,是土壤水分饱和时的 1.09~1.33 倍。

从表 2 中可以看出,在自由下渗条件下,径流量随着坡度增加有增大的趋势,坡度由 5° 增加到 15°

时,坡面径流系数(径流量占降雨量百分数)由85.5%增加到90.4%。在土壤水分饱和与壤中流条件下,坡面径流强度均大于自由下渗时的径流量。此外受壤中流和湿润峰运动波的影响,土壤水分饱和与壤中流条件下坡面径流强度皆大于降雨强度。试验中所测定的壤中流强度变化于0.21~0.5 mm/min,占坡面径流量的20.9%~40.1%。

表2 不同近地表水文条件下坡面径流量的比较

坡度/°	径流量/(mm·h ⁻¹)			
	自由下渗	饱和状态	壤中流	壤中流+降雨
5	42.6	55.2	12.6	60.4
10	44.4	55.8	18.0	74.4
15	45.0	52.8	30.0	57.6

注:雨强为50 mm/h。

2.2 近地表水文条件对坡面侵蚀过程的影响

研究了3种近地表水文条件下坡面土壤侵蚀过程。结果表明,在不同地面坡度条件下,自由下渗条件时坡面侵蚀产沙过程在产流初期随降雨历时延长略有增加,而后随降雨历时的延长坡面侵蚀产沙过程呈减少的趋势;而在土壤水分饱和及壤中流条件下,

坡面侵蚀产沙过程呈波动起伏。在整个降雨过程中,坡面侵蚀量总是壤中流>土壤水分饱和>自由下渗。同时,随坡度的增加,坡面侵蚀产沙量明显增大。

表3表明,在地面坡度为5°~15°时,当地表水文条件由自由下渗演变为土壤水分饱和时,坡面侵蚀量由1.31~2.02 g/(min·m²)增加到1.83~5.50 g/(min·m²);当地表水文条件由土壤水分饱和演变为壤中流时,土壤侵蚀量达4.40~16.41 g/(min·m²);土壤水分饱和条件下坡面侵蚀量是自由下渗时的1.40~2.73倍,而壤中流条件下坡面侵蚀量是自由下渗时的3.36~8.12倍,是土壤水分饱和时的2.40~2.98倍。

表3还表明,地表水文条件演变也导致单位径流引起的侵蚀率发生变化。在自由下渗条件下,单位径流引起的侵蚀率变化于1.85~2.84 g/(m²·mm);而在土壤水分饱和时,单位径流引起的侵蚀率变化于1.95~6.25 g/(m²·mm),是自由下渗时的1.1~2.3倍;在壤中流条件下,单位径流引起的侵蚀率变化于4.37~17.1 g/(m²·mm),是自由下渗时的2.4~6.4倍,是土壤水分饱和时的2.20~2.70倍。造成近地面水文条件对坡面侵蚀产沙的主要原因是土壤抗侵蚀性随土壤含水量增加而减少的缘故。

表3 不同近地表水文条件下坡面侵蚀量的比较

坡度/°	自由下渗		饱和状态		壤中流+降雨	
	侵蚀量	单位径流侵蚀量	侵蚀量	单位径流侵蚀量	侵蚀量	单位径流侵蚀量
5	78.6	1.85	109.8	1.98	264.0	4.37
10	126.0	2.84	256.2	4.59	447.0	6.01
15	121.2	2.69	330.0	6.25	984.6	17.09

注:①雨强为50 mm/h;②侵蚀壤中流量为0;③侵蚀量单位为g/(m²·h);④单位径流侵蚀量单位为g/(m²·mm)。

3 结论

通过室内模拟降雨试验,研究了不同近地表水文条件下紫色土坡面土壤侵蚀过程,得到以下结论。

(1) 近地表水文条件对紫色土坡面侵蚀产沙过程产生重要影响。在相同降雨强度和地面坡度条件下,壤中流时坡面产流量和侵蚀速率最大,其次为土壤水分饱和状态,而自由下渗时坡面产流量和侵蚀速率最小。当地表水文条件由自由下渗演变为土壤水分饱和时,坡面侵蚀量由1.31~2.02 g/(min·m²)增加到1.83~5.50 g/(min·m²);当地表水文条件由土壤水分饱和演变为壤中流时,坡面侵蚀量达4.40~16.41 g/(min·m²);土壤水分饱和条件下坡

面侵蚀量是自由下渗的1.40~2.73倍,壤中流条件下坡面侵蚀量是自由下渗的3.36~8.12倍,是土壤水分饱和状态的2.40~2.98倍。

(2) 壤中流或土壤水分饱和的状态时,紫色土抗蚀性明显低于水分自由下渗时的抗蚀性,单位径流产生的侵蚀量明显增加。在自由下渗条件下,单位径流引起的侵蚀率变化于1.85~2.84 g/(m²·mm);而在土壤水分饱和时,单位径流引起的侵蚀率变化于1.95~6.25 g/(m²·mm),是自由下渗时的1.1~2.3倍;在壤中流条件下,单位径流引起的侵蚀率变化于4.37~17.1 g/(m²·mm),是自由下渗时的2.4~6.4倍,是土壤水分饱和时的2.2~2.7倍。

(下转第79页)

- [6] 邓仕坚, 张家武, 陈楚莹, 等. 不同树种混交林及其纯林对土壤理化性质影响的研究[J]. 应用生态学报, 1994, 5(2): 126—132.
- [7] 王勤, 张宗应, 徐小牛. 安徽大别山区不同林分类型的土壤特性及其水源涵养功能[J]. 水土保持学报, 2003, 17(3): 59—62.
- [8] 蒋文伟, 周国模, 余树全, 等. 安吉山地主要森林类型土壤养分状况的研究[J]. 水土保持学报, 2004, 18(4): 74—76, 100.
- [9] 薛立, 邝立刚, 陈红跃. 不同林分土壤养分、微生物与酶活性的研究[J]. 土壤学报, 2003, 40(2): 280—285.
- [10] 薛立, 吴敏, 徐燕, 等. 几个典型华南人工林土壤的养分状况和微生物特性研究[J]. 土壤学报, 2005, 42(6): 1017—1023.
- [11] 薛立, 李燕, 屈明, 等. 火力楠、荷木和黎蒴林的土壤特性及水源涵养的研究[J]. 应用生态学报, 2005, 16(9): 1623—1627.
- [12] 中国科学院南京土壤研究所[M]. 土壤理化分析. 上海: 上海科技出版社, 1998. 56—71.
- [13] 中国科学院南京土壤研究所微生物室. 土壤微生物研究法[M]. 北京: 科学出版社, 1985.
- [14] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1986.
- [15] David A W. Communities and Ecosystems; Linking the Above-ground and Belowground Components[M]. New Jersey: Princeton University, 2002.
- [16] Zheng Y S, Ding Y X. Effect of mixed forests of Chinese fir and tsoong's tree on soil properties[J]. Pedosphere, 1998, 8(2): 161—168.
- [17] Rustad L E, Cronan C S. Element loss and retention during litter decay in a red spruce stand in Maine[J]. Can. J. For. Res., 1988, 18(6): 947—953.

(上接第11页)

(3) 紫色土质地比较黏重, 透水性较差, 降雨后较长时间, 土壤处于水分饱和状态或产生壤中流, 使土壤抗剪强度和抗蚀性降低; 再次遇雨, 土壤侵蚀则更加严重。因此, 建立健全的坡面排水系统对防治紫色土地区土壤侵蚀具有重要作用。本文仅讨论了不同近地面水文条件对紫色土坡面土壤侵蚀过程的影响。有关壤中流和地面径流共同作用下的紫色土坡面土壤侵蚀过程的研究有待进一步加强。

[参 考 文 献]

- [1] 中国科学院成都分院土壤研究室. 中国紫色土[M]. 北京: 科学出版社, 1994.
- [2] 文安邦, 张信宝, 王玉宽, 等. 长江上游紫色土坡耕地土壤侵蚀¹³⁷Cs示踪法研究[J]. 山地学报, 2001, 10(19): 56—59.
- [3] 陈晓燕, 何丙辉, 缪驰远, 等. WEPP模型在紫色土坡面侵蚀预测中的应用研究[J]. 水土保持学报, 2003, 17(3): 42—46.
- [4] 谭饮文, 尹黎明, 卢玉东, 等. 三峡库区紫色土陡坡耕地土壤侵蚀量预测模型研究[J]. 国土与自然资源研究, 2004(1): 19—21.
- [5] 何丙辉, 缪驰远, 吴咏, 等. 遂宁组紫色土坡耕地土壤侵蚀规律研究[J]. 水土保持学报, 2004, 18(3): 9—11.
- [6] 缪驰远, 何丙辉. 水蚀模型USLE与WEPP在紫色土水蚀预测中的应用对比研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(1): 13—15.
- [7] 谢庭生, 何英豪. 湘中紫色土丘岗区水土流失规律及土壤允许侵蚀量的研究[J]. 水土保持研究, 2005, 12(1): 87—90.
- [8] 刘力, 郑粉莉. 紫色土土壤侵蚀研究进展[J]. 安徽农业科学, 2006, 34(12): 2804—2805.
- [9] 郑粉莉. 坡面侵蚀分带侵蚀过程与降雨—土壤水分转化、土壤退化关系的研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1998, 4(4): 92—95.
- [10] 沈冰, 王文焰. 降雨条件下黄土坡地表层土壤水分运动[M]. 见: 沈晋, 动力水文实验研究, 西安: 陕西科学技术出版社. 1991: 177—189.
- [11] 黄秉维. 谈黄河中游土壤保持问题[J]. 中国水土保持, 1983(1): 8—13.
- [12] 贾志军. 前期土壤含水率对坡耕地产流产沙影响的研究[A]//山西省水土保持科学研究所. 晋西黄土高原土壤侵蚀规律实验文集[C]. 北京: 水力电力出版社, 1990: 32—35.