

紫色土不同土地利用方式下降雨入渗试验研究^{*}

刘承^{1,2}, 王玉宽¹, 傅斌¹, 任熠^{1,2}, 杨金凤^{1,2}

(1. 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 降雨入渗是坡面水文过程的重要环节。运用 Norton 型下喷式人工模拟降雨机, 通过原位布置试验径流小区进行人工模拟降雨试验, 探讨紫色土地、草地和耕地的降雨入渗特征。结果表明, 紫色土不同土地利用方式下降雨入渗过程差异显著。原状林地和原状草地的降雨入渗率随时间变化缓慢, 耕地、处理林地和处理草地的降雨入渗率随时间变化剧烈。稳定入渗率在不同降雨强度下均呈现为原状林地> 原状草地> 耕地> 处理草地> 处理林地。对比不同土地利用方式下的入渗率差异并分析其原因, 认为在土壤初始含水条件基本一致的情况下, 影响紫色土原状林地和原状草地降雨入渗的主导因素是降雨强度和植被的水文功能, 影响紫色土耕地、处理林地和处理草地降雨入渗的主导因素是降雨强度和土壤理化性质。

关键词: 紫色土; 不同土地利用; 模拟降雨; 降雨入渗

中图分类号: S157. 1; F301. 24

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2009)03-0020-04

Rain Infiltration Experiment Study Under Different Land Use Types of Purple Soil

LIU Cheng^{1,2}, WANG Yutkuan¹, FU Bin¹, REN Yi^{1,2}, YANG Jinfeng^{1,2}

(1. Institute of Mountain Hazards and Environment, the Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China; 2. Graduate University of the Chinese Academy of Science, Beijing 100049, China)

Abstract: Rainfall infiltration is important link of hydrology processes produced by natural rain on slope. This text uses Norton reverse jet artificial simulation of rainfall devices to investigate the rainfall infiltration feature of forestland and grassland on purple soil by simulated rainfall test on the in-situ runoff plot. The results showed that the rainfall infiltration features have significant difference among different land use types on purple soil. The rainfall infiltration of undisturbed forestland and undisturbed grassland changed slowly with time. The rainfall infiltration of farmland, treated forestland and treated grassland varied acutely with time. The stable infiltration rate were undisturbed forestland> undisturbed grassland> farmland> treated grassland> treated forestland under different rainfall intensity. Comparing the differences of rainfall filtration rate of various land use and analyzing the reasons for the differences, it was found that, under the same initial soil moisture condition, rainfall intensity and the hydrologic function of vegetation were the decisive factors that affected the rainfall infiltration rate of undisturbed forestland and undisturbed grassland of purple soil. Rainfall intensity and soil physical and chemical properties were decisive factors that affected the rainfall infiltration rate of farmland, treated forestland and treated grassland of purple soil.

Key words: purple soil; different land use; simulated rainfall; rainfall infiltration

降雨入渗是自然界中水循环的一个重要环节^[1], 对地面径流量的调节和水分转换起着决定作用^[2], 是影响水土流失的重要因素^[3], 同时与养分迁移、农业面源污染等问题密切相关。多年来, 国内外学者已对降雨入渗进行了大量研究并取得了许多重要的结果^[4-9]。但是, 关于紫色土及其不同土地利用

方式下降雨入渗规律的研究较少。紫色土是四川盆地分布面积最广的土壤, 其面积约为 1.6×10^5 km², 主要分布于海拔 800 m 以下的丘陵和低山区。该区土层较薄, 易遭侵蚀破坏, 且降雨丰沛, 多年平均降雨在 1 000 mm 左右, 是紫色土遭受强烈侵蚀的外在动力^[10]。为了更加深入地认识紫色土坡面

^{*} 收稿日期: 2008-10-12

基金项目: 国家 973 计划项目(2007CB407206); 国家自然科学基金项目(40771123)

作者简介: 刘承(1982-), 男, 重庆人, 硕士研究生, 主要研究方向为土壤侵蚀与水土保持。E-mail: liuc707@163.com

通信作者: 王玉宽(1963-), 男, 陕西人, 研究员, 研究领域为土壤侵蚀与水土保持。E-mail: wangyukuan@imde.ac.cn

水文过程和为水土保持措施配置及小流域综合治理提供科学依据, 该文选取紫色土耕地、林地和草地 3 种主要的土地利用方式为研究对象, 运用 Norton 型下喷式人工模拟降雨机, 通过原位布置试验径流小区进行人工模拟降雨试验, 探讨紫色土不同土地利用方式下的降雨入渗特征。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验区选择在中国科学院盐亭紫色土农业生态试验站(105°27' E, 31°16' N), 位于四川盆地中北部的绵阳市盐亭县林山乡截流村。区域地貌为低山丘陵, 海拔 400~ 600 m。气候属于亚热带湿润季风气候, 年均气温 17.3℃, 极端最高气温 40℃, 极端最低气温 - 5.1℃, 多年平均降雨量 825 mm, 且降雨集中, 夏季多暴雨, 年内水量分配不均。土壤为石灰性紫色土和水稻土。植被为亚热带常绿阔叶林次生林, 主要树种有柏木、青冈和黄荆等, 坡地有黄茅草荒地分布。主要农作物有水稻、玉米、小麦和红薯等。

1.2 模拟降雨装置

野外模拟降雨装置采用美国阿德旺斯德机械设计与制造公司生产的 Norton 型人工模拟降雨机。降雨机主要由支架、电动机、下喷式喷头、水压力表、喷头摆动频率控制器等组成。通过调节水压和喷头摆动频率来调节降雨强度。可调降雨强度范围为 10~ 120 mm/h。野外试验时的降雨高度为 2.6 m, 水压稳定在 0.04 MPa, 使用两个喷头, 其有效降雨面积为 1.2 m × 1.4 m, 并在降雨机外围搭建挡风棚, 防止风对降雨的干扰。

1.3 实验方法

试验径流小区长 1 m, 宽 0.5 m, 高度为 0.1 m。小区的一条短边上焊接集流槽并呈一定倾角, 保证径流顺利产出。制作材料为不锈钢。实验时将小区整体插入试验土体, 边框高出地表 0.5~ 1 cm, 以减小边界影响。

根据川中丘陵区降雨特征, 在室内用量筒法率定两种常见的短历时降雨强度: 35 mm/h 和 70 mm/h。降雨均匀系数分别为 87.8% 和 82.4%。实验时每场人工模拟降雨试验进行 30 min。

由于实验条件的限制, 本文选择的紫色土林地、草地和耕地的坡度均在 8°左右。耕地按常规农业耕作措施翻耕 10 cm 深表土后布置小区。林地和草地在两种状态下布置小区, 一种是保持其自然状况(简称林地和草地)。林地为桉柏混交林, 林龄 30 a 左右, 郁闭度 > 80%, 林下灌丛以黄荆、马桑为主, 覆盖度为 70%左右, 地被物以地衣和苔藓为主, 模拟降雨雨滴只经过灌丛及其以下的植被作用到达地表。草地以黄茅草为主, 覆盖度为 60%左右。另一种状态是先利用剪子去除较高、较大的植株, 然后利用小铲铲去枯枝落叶层和腐殖质层, 暴露出土壤, 处理过程中尽量避免小铲铲去枯枝落叶层和腐殖质层时因带动植物根系对土壤的扰动(简称处理林地和处理草地)。为保证试验的土壤前期含水条件一致, 首先进行小雨强湿润降雨, 至产生地表径流时即停止降雨, 湿润降雨 3 h 后进行正式试验。湿润降雨前于小区外围的上、中、下三处取土样, 并在实验室测定机械组成、容重和孔隙度等。不同土地利用方式下土壤的物理性质见表 1。

表 1 紫色土不同土地利用方式下物理性质

土地 利用方式	机械组成/ %				土壤容重/ (g·cm ⁻³)	总孔 隙度/ %	非毛管 孔隙度/ %
	< 0.002 mm	0.002~ 0.02 mm	0.02~ 0.2 mm	0.2~ 2 mm			
耕地	9.37	47.75	40.51	4.26	1.21	54.34	22.04
林地	4.33	28.41	66.40	1.23	1.68	36.60	1.12
草地	10.77	59.89	28.65	1.78	1.64	38.11	1.83

2 结果与讨论

2.1 不同土地利用方式下降雨入渗特征

土地利用方式是降雨入渗的一个重要影响因素^[1-12]。根据试验结果, 绘制耕地、林地(原状)和草地(原状)降雨入渗率随降雨时间变化的特征曲线, 见图 1 A、B。

由图 1 可知, 在降雨入渗的整个过程中, 土壤入渗率总体表现为: 林地 > 草地 > 耕地。坡面初始积水时间和稳定入渗率也具有相同的特征, 即林地

> 草地 > 耕地。林地、草地和耕地在 35 mm/h 雨强下稳定入渗率分别为 11.33 mm/h、9.91 mm/h 和 8.90 mm/h, 70 mm/h 雨强下分别为 13.19 mm/h、12.87 mm/h 和 12.00 mm/h, 稳定入渗率分别增加 1.86 mm/h、2.96 mm/h 和 3.1 mm/h。

影响降雨入渗的因素主要有土体结构、初始土壤含水条件、降雨强度和地表状况等^[12-13]。当初始土壤含水条件和降雨强度基本一致时, 土体结构和地表状况决定着降雨入渗率。土体结构性的好坏受控于土体孔隙性, 即总孔隙度、毛管孔隙和非毛管孔隙的比

例以及孔隙连通性等。地表状况对降雨入渗的影响主要通过影响土壤质地、容重、孔隙及其连通性以及降落到地表的雨水特征。地表植被能改善土壤环境使土壤中虫孔数目增多及其根系所形成的根孔均能使土体孔隙增加,减小土壤容重,提高土壤入渗率^[14]。从表 1 可知,紫色土土壤总孔隙度和非毛管孔隙度的大小顺序均是林地< 草地< 耕地,且非毛管孔隙度林地和草地远小于耕地,土壤容重林地> 草地> 耕地。因此分析得出:在初始土壤含水条件和降雨强度基本一致时,紫色土的土体结构对降雨入渗的影响

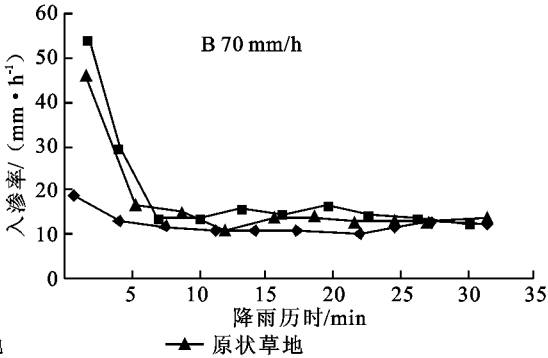
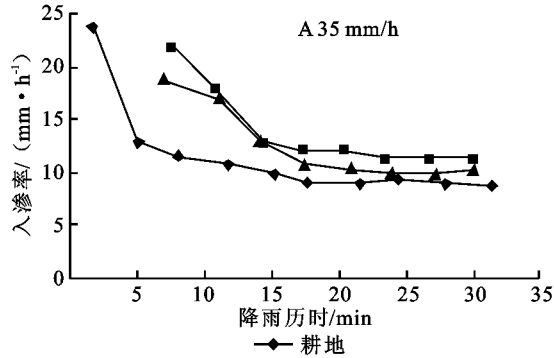


图 1 紫色土不同土地利用方式、不同降雨强度下降雨入渗过程

在 70 mm/h 雨强下,林地与草地坡面初始积水时间均比耕地晚的滞后效应减弱,草地比林地减弱得更明显。主要原因在于植被截留功能大小取决于降雨量和降雨强度,在植被类型、郁闭度、林龄等条件一定的情况下,降雨强度越大,植被截留达到饱和的时间就越短^[15]。地被物达到饱和的时间同样亦越短。70 mm/h 雨强下耕地起始入渗率比 35 mm/h 雨强下小。主要原因在于耕地地表裸露,雨强越大对耕地地表的直接击打作用越强,在降雨入渗的初始阶段被雨滴击散的土壤颗粒大部分填充土壤空隙,堵塞土壤表层空隙,从而使其初始入渗率减小。尽管大雨强使耕地的初期入渗率减小,但随着降雨的持续,入渗率减小的程度小,后期入渗率比小雨强下大,见图 2。一方面的原因在于大雨强降雨产生的地表径流量大,径流能量大,可以破坏结皮层和带走一部分被雨滴击散的土壤颗粒^[5],另一方面在于雨滴的击打所产生的冲力可以加速入渗水流的运动速度,同时亦可以使部分静止的毛管水加入到入渗水流中来^[16]。

从入渗曲线还可以发现,在不同土地利用方式下,累积入渗量变化趋势是:林地> 草地> 耕地,加之林地和草地植被和地表枯枝落叶层对雨水的截留和涵养,可以在很大程度上减少地表径流量、削弱径流动力和延迟其产生时间。

2.2 不同地表处理降雨入渗特征

为了进一步说明植被覆盖对降雨入渗的影响作

响不显著。紫色士林地、草地和耕地降雨入渗特征差异的关键原因在于:(1)林地和草地地表植被对降雨的截留功能消减了降雨动能以及地表枯枝落叶层对降雨动能的进一步消减,在很大程度上减小了降雨对地表土壤的扰动能量,使林地和草地表土孔隙结构能够得以保持,利于雨水入渗。(2)地表枯枝落叶层避免了降雨对地表土壤的直接击打导致的土壤表层趋于密实,细小土壤颗粒对表层孔隙的堵塞,形成土壤结皮,使土壤孔隙连通性得以保持,加之地表枯枝落叶层对雨水的滞蓄,更加利于雨水入渗。

用,本文通过对林地和草地去植被层处理,即林地和草地处于第二种状态下。将试验数据绘制成图 3A,B。

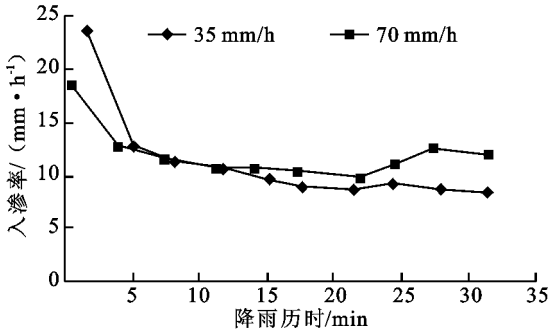


图 2 紫色土耕地在不同降雨强度下的入渗过程

由图 2,3 可知,处理林地在不同雨强下的整个降雨入渗过程的入渗率均显著小于原状林地和耕地,处理草地的入渗率也显著小于原状草地和耕地。35 mm/h 雨强下,处理林地和处理草地的稳定入渗率分别为 3.13 mm/h 和 5.81 mm/h,相比原状林地和原状草地分别减少 8.20 mm/h 和 4.10 mm/h,相比耕地分别小 5.77 mm/h 和 3.09 mm/h。70 mm/h 雨强下,处理林地和处理草地的稳定入渗率分别为 2.03 mm/h 和 5.22 mm/h,相比原状林地和原状草地分别减少 11.16 mm/h 和 7.77 mm/h,相比耕地分别小 9.97 mm/h 和 6.78 mm/h。主要原因在于林地和草地去除地表植被后,雨滴与土壤直接接触,加之处理林地和处理草地暴露出的土壤层质地粘重,非毛管孔隙度远小于毛管孔隙度,在雨滴的直接击打下极易导致土壤表层孔隙不畅,甚至完全被堵塞。

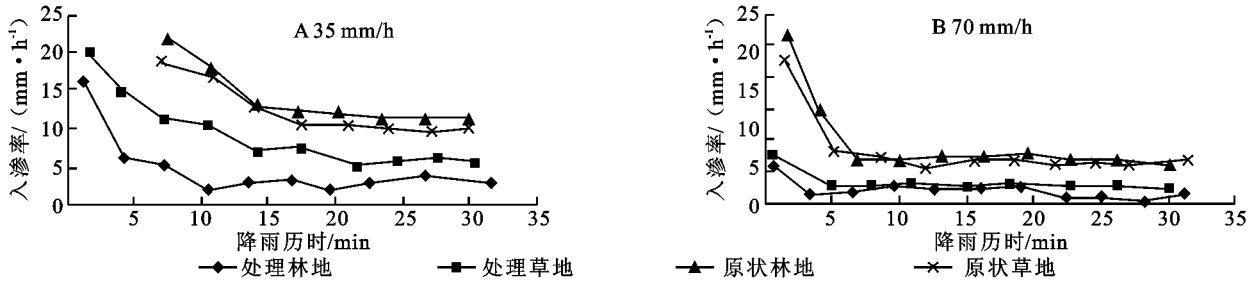


图 3 紫色土地和草地不同状态下降雨入渗变化过程

在两种雨强下, 处理林地在整个降雨过程中入渗率均小于处理草地。主要原因在于处理林地暴露出的土壤层的孔隙性比草地差, 由分析知, 原状林地入渗率大于原状草地, 说明林地植被对降雨能量的消减作用以及地被物对降雨的滞蓄功能均比草地的强。去掉植被层的林地和草地的入渗率大幅度减小, 降雨过程总入渗量减少, 从而增加地表径流量。达到较稳定入渗率的时间亦提前。因此保护好紫色土地和草地对于控制土壤侵蚀、涵养水源, 从而达到保持水土在紫色土区是尤其重要的。

3 结论

(1) 紫色土不同土地利用方式下降雨入渗过程在不同降雨强度下均呈现显著差异。原状林地和原状草地的降雨入渗率随时间变化缓慢, 耕地、处理林地和处理草地的降雨入渗率随时间变化剧烈。

(2) 整个降雨过程中, 入渗率及其稳定入渗率在不同降雨强度下均是紫色土地> 草地> 耕地> 处理草地> 处理林地。同一降雨强度下, 紫色土耕地的稳定入渗率与林地和草地相差不大。

(3) 地表植被的水文功能是紫色土地和草地利于降雨入渗和增加入渗量的关键因素。枯枝落叶层在防止紫色土地和草地土壤结皮发生、维持入渗率上具有重要意义。

(4) 同一降雨强度下, 紫色土地在两种不同处理状态下降雨入渗率的差异程度高于草地。紫色土地植被对土壤入渗率的影响程度大于草地, 紫色土地植被更有利于土壤降雨入渗。

影响降雨入渗的因素很多, 主要是初始含水条件、降雨强度及其降雨过程等。因此, 需要对不同初始含水条件、不同降雨强度组合下降雨入渗特征和机制进行深入研究。另外, 对紫色土地、草地和耕地降雨入渗过程的前期阶段的变化特征即从地表初始积水达到较稳定入渗率过程的变化特征, 以及土壤理化性质和下垫面对入渗的影响机制也还要进行更多研究。

参考文献:

- [1] 刘昌明, 魏忠义. 华北平原农业水文及水资源[M]. 北京: 科学出版社, 1989: 22-34.
- [2] 雷孝章, 曹叔尤, 代永波. 松柏林分对土壤入渗的调蓄作用研究[J]. 北京林业大学学报, 2005, 27(6): 20-23.
- [3] 朱显谟, 任美铎. 中国黄土高原的形成过程与整治对策[J]. 中国水土保持, 1992(2): 4-10.
- [4] 石生新. 高强度人工降雨条件下影响入渗速率的实验研究[J]. 水土保持通报, 1992, 12(2): 49-54.
- [5] 吴发启, 范文波. 土壤结皮对降雨入渗和产流产沙的影响[J]. 中国水土保持科学, 2005, 3(2): 97-101.
- [6] 王全九, 来剑斌, 李毅. Green-Ampt 模型与 Philip 入渗模型的对比分析[J]. 农业工程学报, 2002, 18(2): 13-16.
- [7] Wang Yu kuan, Fu bin, Xu Pei, et al. Validation of three infiltration models on purple soil under simulated rainfall[J]. Progress in Natural Science, 2007, 17(10): 69-75.
- [8] Helalia A M. The relation between soil infiltration and effective porosity in different soils[J]. Agricultural Water Management, 1993, 24(8): 39-47.
- [9] Janeau J L, Briquet J P, Planchon O, et al. Soil crusting and infiltration on steep slopes in northern Thailand[J]. European Journal of Soil Science, 2003, 24: 543-553.
- [10] 王玉宽, 王勇强, 傅斌, 等. 紫色土坡面降雨侵蚀实验研究[J]. 山地学报, 2006, 24(5): 597-600.
- [11] 康绍忠, 张书函, 聂光镛, 等. 内蒙古敖包小流域土壤入渗分布规律的研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1996, 2(2): 38-46.
- [12] 袁建平, 张素丽, 张春燕, 等. 黄土丘陵区小流域土壤稳定入渗速率空间变异[J]. 土壤学报, 2001, 38(4): 579-583.
- [13] 文康, 金管生, 李蝶娟, 等. 地表径流过程的数学模拟[M]. 北京: 水利电力出版社, 1991: 54-58.
- [14] 王国梁, 刘国彬, 周生路. 黄土丘陵沟壑区小流域植被恢复对土壤稳定入渗的影响[J]. 自然资源学报, 2003, 18(5): 529-535.
- [15] 周晓峰, 赵惠勋, 孙慧珍. 正确评价森林水文效应[J]. 自然资源学报, 2001, 16(5): 420-426.
- [16] 王玉宽, 王占礼, 周佩华. 黄土高原坡面降雨产流过程的实验分析[J]. 水土保持学报, 1991, 5(2): 25-31.