

天然降雨下紫色土和第四纪红黏土坡面侵蚀过程研究

刘家明^{1,2}, 查 轩^{1,2}, 黄少燕^{1,2}

(1. 福建省亚热带资源与环境重点实验室, 福州 350007; 2. 福建师范大学 地理科学学院, 福州 350007)

摘 要:选取南方红壤区紫色土和第四纪红黏土两种典型土壤类型,通过天然降雨试验,在同等试验条件下对紫色土和第四纪红黏土两种土壤的坡面侵蚀过程中径流量变化、产沙量变化、土壤团聚体以及粒径分析来阐述我国南方红壤区的土壤坡面侵蚀过程。结果表明:(1)降雨是造成土壤坡面产生径流的主要原因,随着降雨的不断增大,土壤坡面径流量不断的增加,紫色土的总径流量较第四纪红黏土大。(2)雨强是造成土壤坡面产沙量的主要原因,特别是在中雨强降雨和大雨强降雨时,土壤侵蚀泥沙量的产生比较明显,紫色土与第四纪红黏土的土壤侵蚀泥沙量比例关系为:1.14:1.0。(3)紫色土和第四纪红黏土均以 $<0.25\text{ mm}$ 的微团聚体占优势,均占65%以上,而紫色土达到90%之多,紫色土微团聚体流失较第四纪红黏土严重。(4)通过两种土壤的降雨前后土壤颗粒对比分析,紫色土减少的土壤颗粒主要是黏粒和粉粒,砂粒相对增加,变化量大,而第四纪红黏土相对较少。

关键词:坡面侵蚀;紫色土;第四纪红黏土;天然降雨

中图分类号:S157.1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2014)06-0016-04

Research for Purple Soil and Quaternary Rred Clay Soil Erosion Process on Hillslope Under Natural Rainfall

LIU Jia-ming^{1,2}, ZHA Xuan^{1,2}, HUANG Shao-yan^{1,2}

(1. Key Laboratory of Subtropical Resources and Environment, Fuzhou 350007, China;

2. College of Geography Science, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China)

Abstract: Purple soil and quaternary red clay soil two typical soil types in red soil zone of southern China were selected. Through natural rainfall experiments, under the same test conditions, changes in runoff and sediment yield, soil aggregates and particle size of purple soil and quaternary red clay soil the two kinds of soil parent material slope erosion were analyzed in order to illustrate the process of soil erosion on the slope in red soil region of southern China. The results showed: (1) rainfall is the main cause of slope runoff, with increasing rainfall, runoff constantly increases, runoff rate is greater in Ppurple soil than Quaternary red clay soil; (2) rainfall intensity is the main cause of slope sediment yield, especially in heavy rainfall during moderate and heavy rain soil erosion and sediment generation were more obvious, the ratio the amount of soil erosion and sediment between purple soil and quaternary red clay soil is 1.14:1.0; (3) $<0.25\text{ mm}$ micro-aggregates in purple soil and quaternary red clay soil are dominant, accounting for more than 65%, while 90% for purple soil, purple soil micro-aggregates were more severely loss than the quaternary red clay; (4) by comparing the two types of soil particles before and after rainfall analysis of soil, reduced soil particles of purple soil are clay and silt particles, the relative increase was found in the sand particle, changes were large, but clay content in quaternary red is relatively little.

Key words: hillslope erosion; purple soil; quaternary red clay soil; natural rainfall

南方红壤地区已成为我国水土流失程度较高、范围最广的地区,其严重程度仅次于黄土高原^[1]。在关

于降雨下坡面侵蚀过程研究,国内外也已经进行了长期、深入而大量的试验性研究,但国外主要是在缓坡

收稿日期:2014-05-09

修回日期:2014-05-24

资助项目:国家科技支撑计划项目“强度侵蚀区退化生态系统修复关键技术的研究与集成”(2014BAD15B02);国家重点基础研究发展计划973项目“南方红壤区水土流失综合治理范式及调控机理研究”(2007CB407207)

作者简介:刘家明(1987—),男,江西省新余市人,在读硕士研究生,主要研究方向为水土保持和土壤侵蚀。E-mail:ljm198713@163.com

通信作者:查轩(1961—),男,陕西咸阳人,研究员,博士生导师,主要从事土壤侵蚀与水土保持生态方面研究。E-mail:xzha@fjnu.edu.cn

地($<10^{\circ}$)上取得的的研究成果^[2-3],而国内的研究内容则主要集中在黄土高原地区^[4-5]。有关紫色土区土壤侵蚀的研究还比较少,已有的对坡面土壤侵蚀的影响的研究也主要集中于耕作制度、土地利用类型等方面^[6-7];我国南方第四纪红黏土的体现主要为多样性和复杂性^[8-9],朱显谟^[10]、刘东生^[11]等对第四纪红黏土作了大量研究也取得了一定的成果。但是大部分的研究主要集中于同一土壤进行研究来分析不同因子对其土壤侵蚀过程的影响,而对集中于紫色土和第四纪红黏土的坡面土壤侵蚀的研究并阐述其侵蚀过程的甚少,特别是在同一地点同一降雨(天然降雨)下动态观测并研究其侵蚀规律的基本没有。文章通过天然降雨试验揭示紫色土和第四纪红黏土在天然降雨下的径流量变化、产沙量变化、土壤团聚体以及粒径特征的演变规律来阐述紫色土和第四纪红黏土坡面侵蚀过程特点以及它们之间的关系,对为我国南方红壤区土壤侵蚀的治理和生态修复以及科研参考资料都具有重要意义。

1 试验设计与研究方法

1.1 试验材料

试验土样采用福建省具有代表性的严重侵蚀退化地的土壤。紫色土样来自宁化县,位于福建省西部,北纬 $25^{\circ}58'$ — $26^{\circ}40'$,东经 $116^{\circ}22'$ — $117^{\circ}02'$;第四纪红黏土样来自清流县,位于福建省西部,北纬 $25^{\circ}48'$ — $26^{\circ}21'$,东经 $116^{\circ}38'$ — $117^{\circ}10'$ 。

1.2 试验设计

试验采用天然降雨模拟紫色土和第四纪红黏土的土壤侵蚀过程。试验土槽为移动式钢槽,长 150 cm,宽 50 cm,深 30 cm,坡度设置为 15° 。降雨开始时计时,记录产流、止流时间,同时观察坡面侵蚀过程。坡面开始产流后,用容积为 800 ml 的取样瓶接取径流泥沙样。由于天然降雨的雨强是变化的,因此根据降雨强度确定接样时间为 3~4 min 不等采集一次,取样时间直到降雨结束。降雨结束后,把样品带入室内实验室进行测定。

1.3 试验过程

试验土壤先过 10 mm 筛,填土前在槽底铺上透水纱布,然后分层填装 30 cm 厚的供试土壤。为保证试验土层容重均匀,采用分层填装的方法,每 5 cm 为一层,边填充、边压实并随机取样测定土壤含水量,以确定各处填土厚度和紧实状况^[12],以减小边壁对入渗、产流、产沙过程及坡面侵蚀微形态发育等诸多方面的影响,并使下垫面土壤条件的变异性最小。试验所用土壤物理颗粒组成见表 1。

表 1 试验土壤颗粒组成			%
样地类型	黏粒 ($<0.002\text{ mm}$)	粉粒($0.002\sim0.050\text{ mm}$)	砂砾($0.050\sim2.000\text{ mm}$)
紫色土	27.27	60.62	12.11
第四纪红黏土	36.43	55.22	8.35

2 结果与分析

2.1 典型降雨特征

天然降雨往往是间歇性的降雨,而且降雨过程时间具有不确定性,雨强都随时变化的。试验时间为 2013 年 4 月—11 月,总共接样为 18 场。根据 18 场降雨的观测数据分析,当 10 min 最大雨强小于 0.6 mm/min 时,产生的降雨小且径流量、泥沙量均较少,而且分布均匀,文章称为小雨强降雨;当 10 min 最大雨强在 0.6~0.8 mm/min 时,降雨加强,造成土壤坡面侵蚀加速,文章称为中雨强降雨;当 10 min 最大雨强大于 0.8 mm/min 时,代表的往往是暴雨及大暴雨,造成的土壤坡面侵蚀比较明显,文章称为大雨强降雨。因此,根据试验的数据分析情况,文章选取了 2013 年 6 月 10 日的 22:16—22:36 以及 9 月 20 日的 6:40—7:02 和 8:13—8:36 具有特别典型的三场降雨时段进行分析。试验通过虹吸式雨量计计算出试验阶段时的降雨情况。文章的三场降雨的降雨历时、降雨量、雨强见表 2。

表 2 试验阶段降雨特征				
降雨时间	降雨 历时/min	降雨 类型	降雨量/ mm	雨强/ ($\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$)
6 月 10 日 6:40—7:02	22	小雨强	6.8	I_{10} 0.42
				I_{ave} 0.30
9 月 20 日 22:16—22:36	20	中雨强	9.2	I_{10} 0.70
				I_{ave} 0.43
6 月 10 日 8:13—8:36	23	大雨强	13.6	I_{10} 0.88
				I_{ave} 0.62

2.2 径流量变化过程分析

径流与土壤侵蚀是水土保持科学中有着紧密联系的两个研究内容,坡面径流是产生土壤侵蚀的外动力^[13]。径流量和土壤侵蚀量同降雨强度与降雨量有着密切的关系,从图 1 可看出,在不同雨强变化的条件下,当降雨量较小时,紫色土和第四纪红黏土产生的径流量都较少且不分上下,当降雨量越大,紫色土和第四纪红黏土产生的径流量都越大,特别是强降雨的峰值期间,现象尤其明显;在同等降雨条件下,紫色土和第四纪红黏土的径流量的变化量都随着降雨的增加或减少,但是总的径流量紫色土大于第四纪红黏土。

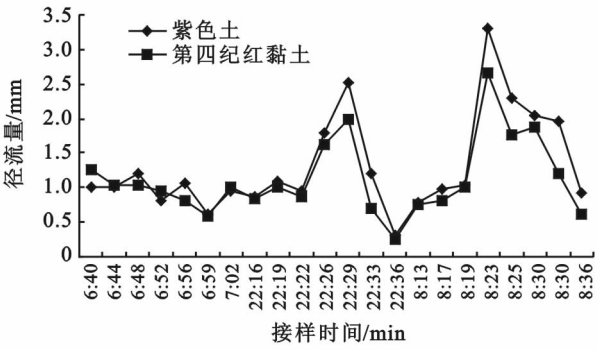


图 1 历时—径流量变化过程

2.3 坡面侵蚀产沙过程分析

坡面产流产沙的外动力是自然降雨和地表径流，在自然降雨雨滴和薄层水流的作用下，通过坡面的雨滴溅蚀和土壤表面径流，土壤表土层被剥离和搬运，形成坡面土壤流失。

图 2 中可以发现，在不同雨强下，紫色土和第四纪红黏土的土壤侵蚀泥沙量都随着雨强的增加而增大；在相同雨强下，在小雨强降雨下时紫色土和第四纪红黏土侵蚀产沙量都较少，基本相同，但是在中雨强降雨和大雨强降雨时，紫色土的土壤侵蚀泥沙量较第四纪红黏土多而明显，比例关系为：1.14：1.0。

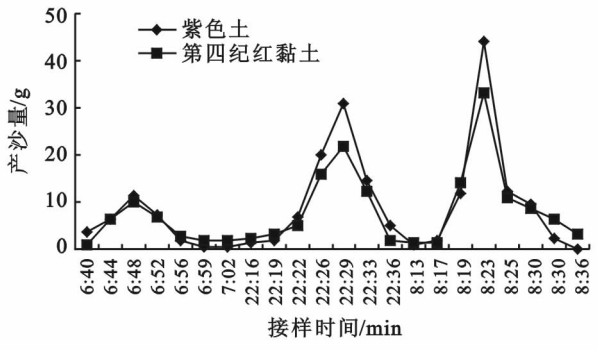


图 2 历时—产沙量变化过程

2.4 泥沙水稳性团聚体含量的变化分析

土壤团聚体作为土壤结构的基本单元，其粒径分布决定着孔隙的数量搭配和形态特征以及对外界应力的敏感性^[14]。而如孔隙度、连接度、孔径分布特点等土壤孔隙特征则影响水分在土表及土体内的运移方式和途径，与地表径流间有密切关系。地表径流则是表征土壤侵蚀的重要指标，因此，土壤团聚体与土壤可蚀性之间存在着必然的内在联系。

由图 3 可以看出，紫色土和第四纪红黏土均以 $<0.25\text{ mm}$ 的微团聚体占优势，均占 65% 以上，而紫色土达到 90% 之多。说明在相同降雨条件下，相同的雨强变化条件下，紫色土的土壤可蚀性大于第四纪红黏土，使得紫色土的土壤侵蚀较第四纪红黏土容易。

2.5 侵蚀过程中土壤颗粒迁移过程分析

土壤粒径分布特征是最基本的土壤物理性质之一，它对土壤的水力特性、土壤肥力以及土壤侵蚀都有直接的影响^[15]。黏粒、粉粒和砂粒是判断土壤退化的重要指标，通过对降雨前后土壤的颗粒粒径分析，观测其不同土壤颗粒类型的迁移变化过程，阐述紫色土和第四纪红黏土的侵蚀特点。

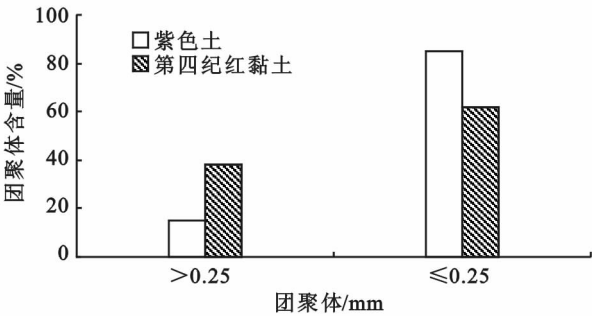


图 3 土壤泥沙样团聚体特征

图 4 可以看出，降雨前后紫色土土壤颗粒变化规律：紫色土土壤颗粒增加最明显的是砂粒，由原来的 12.11% 增加到 25.46%，增加了 13.35%，降雨后紫色土的黏粒减少了 2.85%，粉粒减少了 10.50%。黏粒和粉粒降雨前后的变化比例虽然相对于砂粒较少，但是总变化量还是较大。

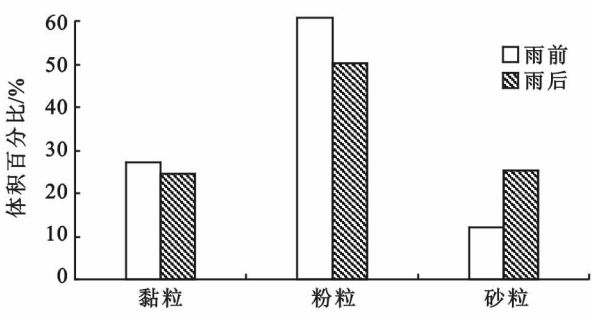


图 4 降雨前后紫色土土壤颗粒迁移特点

图 5 可以看出，降雨前后第四纪红黏土土壤颗粒变化规律：第四纪红黏土降雨前后的变化比例比较平缓，黏粒和粉粒在降雨后比降雨前分别减少了 1.22% 和 5.12%，砂粒在降雨后比降雨前增加了 6.34%。

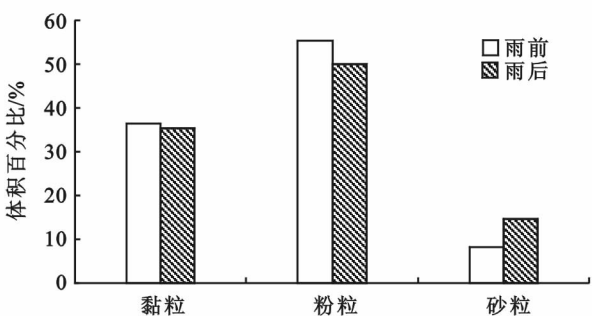


图 5 降雨前后第四纪红黏土土壤颗粒迁移特点

通过试验分析得出,紫色土降雨后减少的土壤颗粒主要是黏粒和粉粒,砂粒相对增加,紫色土的细小颗粒的流失,土壤表面的粗化导致了土壤侵蚀退化加剧;第四纪红黏土土壤颗粒不管是黏粒和粉粒在降雨后的减少,还是砂粒在降雨后的增加,其变化量与紫色土相比都相对较少。

3 结论

(1) 在雨强不断变化的情况下,土壤的径流量和产沙量都随雨强的增大而增大,紫色土的径流量大于第四纪红黏土;在相同降雨条件下,两种土壤的泥沙规律为:对降雨造成紫色土的侵蚀泥沙量大于第四纪红黏土,其比例关系为 1.14 : 1.0。

(2) 通过对土壤团聚体分析,土壤降雨破坏了土壤的土体主要以 $<0.25\text{ mm}$ 以下的土壤颗粒,均占65%以上,而紫色土却达到90%之多,其说明在相同降雨情况下,紫色土较第四纪红黏土严重,土壤结构遭到严重的破坏,加速了土壤侵蚀的发生。

(3) 通过对土壤颗粒迁移过程分析,分析试验降雨前后的土壤粒径变化,紫色土降雨后减少的土壤颗粒主要是黏粒和粉粒,其和为13.35%,第四纪红黏土降雨后减少的黏粒和粉粒和为6.34%。降雨加速了紫色土的土壤侵蚀,而第四纪红黏土的土壤侵蚀相对较小。说明在相同降雨条件下紫色土的土壤侵蚀比第四纪红黏土严重。

参考文献:

- [1] 吕仕洪,向悟生,李先琨,等.红壤侵蚀区植被恢复研究综述[J].广西植物,2003,23(1):83-89.
- [2] Assouline S, Ben-Hur M. Effects of rainfall intensity and slope gradient on the dynamics of interrill erosion during soil surface sealing[J]. Catena,2006,66(3):211-220.
- [3] Lal R. Soil erosion on Alfisols in western Nigeria: III. Effects of rainfall characteristics[J]. Geoderma,1976,16(5):389-401.
- [4] 陈永宗,黄土高原土壤侵蚀规律研究工作回顾[J].地理研究,1987,6(1):76-85.
- [5] 贾媛媛,郑粉莉,杨勤科.黄土高原小流域分布式水蚀预报模型[J].水利学报,2005,36(3):328-332.
- [6] 高扬,朱波,王玉宽,等.自然和人工模拟降雨条件下紫色土坡地的磷素迁移[J].水土保持学报,2006,20(5):34-37.
- [7] 刘刚才,李兰,周忠浩,等.紫色土丘陵区坡耕地退耕对水土流失的影响及其效益评价[J].中国水土保持科学,2005,3(4):32-36.
- [8] 乔彦松,赵志中,李增悦,等.成都平原红土堆积的风成成因证据[J].第四纪研究,2007,27(2):286-294.
- [9] 来红州,莫多闻,李新坡.洞庭盆地第四纪红土地层及古气候研究[J].沉积学报,2005,23(1):130-137.
- [10] 朱显谟,中国南方的红土与红色风化壳[J].第四纪研究,1993(1):75-84.
- [11] 刘东生,刘敏厚,吴子荣,等.关于第四纪地层划分问题《第四纪地质问题》[M].北京:科学出版社,1964.
- [12] 耿晓东,郑粉莉,刘力.降雨强度和坡度双因子对紫色土坡面侵蚀产沙的影响[J].泥沙研究,2010,12(6):48-53.
- [13] 翟娟,卢晓宁,熊东红,等.土壤侵蚀径流水动力学特性及其影响因素的研究进展[J].安全与环境工程,2012,19(5):1-5.
- [14] 张琪,方海兰,史志华,等.侵蚀条件下土壤性质对团聚体稳定性影响的研究进展[J].林业科学,2007,43(10):77-82.
- [15] 刘继龙,马孝义,张振华.不同土层土壤水分特征曲线的空间变异及其影响因素[J].农业机械学报,2010,41(1):46-52.