

不同降雨强度对紫色土坡面侵蚀过程的影响

孙丽丽^{1,3}, 查 轩^{1,2,3}, 黄少燕^{1,2}, 李守中^{1,2,3}, 陈世发^{1,3},
白永会^{1,3}, 张 婧^{1,3}, 翟少华^{1,3}, 常松涛^{1,3}

(1. 福建师范大学地理科学学院, 福州 350007;

2. 福建师范大学地理研究所, 福州 350007; 3. 福建省亚热带资源与环境重点实验室, 福州 350007)

摘要: 为研究不同雨强对紫色土坡面侵蚀过程的影响, 通过人工模拟降雨试验和室内分析, 采用降雨总量 (30 mm) 一定、降雨历时不定的原则, 在 2 种覆盖度 (50% 和 75%) 下, 分析了 3 个雨强 (0.5, 1.0, 1.5 mm/min) 对紫色土土壤坡面产流产沙的影响。结果表明: 在 50% 和 75% 覆盖度下, (1) 雨强越大紫色土坡面产流总量和径流率越大。相同时间内, 不同雨强 (0.5, 1.0, 1.5 mm/min) 下的 2 种覆盖度产流量分别占坡面产流总量的 18%, 30%, 52%。(2) 雨强越大紫色土坡面产沙量和侵蚀率越大。相同时间内, 不同雨强 (0.5, 1.0, 1.5 mm/min) 下, 2 种覆盖度产沙量分别占坡面产沙总量的 13%, 33%, 54%。(3) 紫色土坡面侵蚀泥沙中的水稳性团聚体的粒径主要集中在 < 0.25 和 > 3 mm, 分别占泥沙总量的 74% 和 67%, $0.25 \sim 3$ mm 粒径的水稳性团聚体分别占泥沙总量的 30% 和 26%。(4) 相关分析表明, 雨强和紫色土坡面产流产沙量均为极显著正相关 ($P < 0.01$)。雨强与产沙量之间均拟合为一次线性方程; 雨强与产流量之间分别拟合为一次线性方程和二次方程。研究结果为控制紫色土坡面水土流失和揭示其相关侵蚀机理提供参考。

关键词: 人工模拟降雨; 紫色土; 雨强; 水稳性团聚体; 侵蚀率

中图分类号: S157.2

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2018)05-0018-06

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2018.05.003

Effects of Different Rainfall Intensity on the Slope Erosion Process in Purple Soil

SUN Lili^{1,3}, ZHA Xuan^{1,2,3}, HUANG Shaoyan^{1,2}, LI Shouzhong^{1,2,3},

CHEN Shifa^{1,3}, BAI Yonghui^{1,3}, ZHANG Jing^{1,3}, ZHAI Shaohua^{1,3}, CHANG Songtao^{1,3}

(1. College of Geographical Science, Fujian Normal University, Fuzhou 350007;

2. Institute of Geography, Fujian Normal University, Fuzhou 350007; 3. State Key Laboratory of Subtropical Mountain Ecology Funded by Ministry of Science and Technology and Fujian Province, Fuzhou 350007)

Abstract: In order to study the influence of different rainfall intensity on the erosion, artificial rainfall simulation experiment and indoor analysis were conducted to analyze the effects of three rainfall intensity (0.5, 1.0, 1.5 mm/min) on runoff and sediment yield in purple soil. The results showed as follows. Under 50% and 75% vegetation coverage, (1) The greater the rainfall intensity, the more the runoff production rate and the runoff volume in the purple soil. In the same time, under the three kinds of rainfall intensity, the surface runoff accounted for 18%, 30%, and 52% of the total runoff volume, respectively. (2) The greater the rainfall intensity, the more the sediment yield and erosion rate occurred. In the same time, under three kinds of rainfall intensity the sediment yield in purple soil accounted for 13%, 33%, and 54% of the total sediment yield, respectively. (3) The particle size of water-stable aggregate in erosion sediment was mainly concentrated in < 0.25 and > 3 mm. The total amount of the two particle size accounted for 74% and 67% of the total sediment, respectively, while water-stable aggregate particle size of $0.25 \sim 3$ mm accounted for 30% and 26%, respectively. (4) There was a significant positive correlation between rainfall intensity and the yield of runoff and sediment in the purple soil ($P < 0.01$). The linear equation was synthesized by rainfall intensity and sediment yield. The correlation coefficients were 0.96 and 0.97, respectively. A linear equation and a quadratic equation were synthesized by rainfall intensity and runoff yield, respectively, and the correlation coefficients were 0.89 and 0.94, respectively. The results can provide references for controlling

收稿日期: 2018-04-09

资助项目: 国家重点研发计划项目“南方红壤低山丘陵区水土流失综合治理”(2017YFC05054)

第一作者: 孙丽丽(1993—), 女, 硕士研究生, 主要从事土壤侵蚀与水土保持研究。E-mail: 17805958627@163.com

通信作者: 查轩(1961—), 男, 博士生导师, 研究员, 主要从事水土保持与生态恢复研究。E-mail: xzha@fjnu.edu.cn

soil erosion in purple soil and revealing related erosion mechanism.

Keywords: artificial simulated rainfall; purple soil; rainfall density; soil water-stable aggregates; erosion rate

我国紫色土占全球紫色土总面积的 48.8%, 紫色土广泛分布在我国长江以南的川、黔、粤、鄂、苏、浙、桂、湘、赣、闽等省区。紫色土结构易恢复, 毛管孔隙发育好, 透水性强, 养分含量高, 经济效益好, 是农业生产重要的土地资源。但是由于紫色土的矿物成分和粒度成分继承于其成土母质, 层理发育, 结构疏松, 胶结度和持水性差, 易被侵蚀风化, 发育缓慢^[1], 加上丰沛的降雨, 起伏的地形, 水土保持措施不到位, 加剧了水土流失, 降低了紫色土的利用率。宁化县紫色土区降雨强度大, 雨量充沛, 易使紫色土蓄满产流, 进而形成严重的水土流失, 影响当地社会经济可持续发展^[2]。

影响水土流失的自然因素有地形、气候、土壤等, 马琨等^[3]研究表明, 降雨强度、次降雨量、降雨侵蚀力、降雨动能等降水特征是坡面侵蚀的主要因子, 雨强是造成水土流失的一个重要原因, 也是决定产流量和产沙量的重要因子, 降雨通过溅蚀地表, 加大径流剥蚀和水土流失; 林超文等^[4]研究表明, 雨强通过影响坡面产沙量来影响土壤养分; 王玉宽等^[5]建立了紫色土坡面降雨侵蚀模型; 陈正维等^[6]、霍云梅等^[7]研究认为, 坡面在恒定的基础上, 雨强增大, 土壤入渗率降低, 产流总量和汇流速度增大。已有研究^[8-10]表明, 黄土坡面产流量及产沙量随雨强的增大而增加。大雨强降雨滴直径和动能大, 对坡面的溅蚀剧烈, 侵蚀泥沙量大。我国学者对土壤侵蚀的研究主要集中在南方红壤区和黄土高原地区^[8-9], 对紫色土区的土壤侵蚀的研究主要集中于四川盆地, 对南方丘陵间的紫色土研究相对较少。

本文运用人工模拟降雨试验, 研究紫色土坡面产流产沙过程受不同雨强的影响, 为紫色土侵蚀的发生机理提供科学依据, 进一步揭示不同雨强对紫色土坡面侵蚀过程的影响因素, 为治理紫色土水土流失提供借鉴和参考依据。

1 材料与方法

1.1 供试土壤

供试土壤于 2017 年 6 月采自福建省宁化县石壁镇(116°32′—117°02′ E, 26°03′—26°10′ N), 宁化县位于武夷山源头, 地处闽江、韩江、赣江三江源头, 全县面积 2 407 km², 耕地面积为 29 333.33 hm², 宁化县水土流失严重, 水土流失面积 35 198 hm², 占全县土地总面积的 14.62%, 是国家水土保持重点治理地

区, 也是福建省水土流失严重的县市之一, 且以紫色土流失面积最大。因紫色土侵蚀造成的土壤退化很严重, 其侵蚀面积占山地侵蚀退化总面积的比例很大, 其中大部分侵蚀为中度和强度退化, 因此宁化县作为福建省紫色土典型区域, 具有一定代表性。研究区气候为亚热带季风气候, 降水充沛, 热量充足, 多年平均降水量 1 771.7 mm, 有明显的季风性气候特征, 多雨季在 3—6 月, 暴雨集中, 侵蚀强度大, 是水土流失重要动力来源^[11]。石壁镇紫色土总面积 185.32 km², 占宁化县土地总面积的 12.24%, 是典型的紫色土水土流失的区域, 水土流失的面积广, 程度重, 危害大。其成土母质主要为白垩纪和第三纪的紫红色页岩, 砂页岩和砂岩, 砂岩颗粒粗大, 含石英砂粒, 透水性好, 碳酸钙淋失快, 保留了紫色页岩分化快, 土层薄的性质。由于其易风化, 保水差, 夏季地表温度过高, 植被极难恢复, 极易受降雨和地表径流侵蚀, 极易发生水土流失, 因此该土样的选择比较典型。试验土样中粒径 >3, 2~3, 1~2, 0.5~1, 0.25~0.5, <0.25 mm 占比分别为 41.86%, 10.37%, 5.60%, 17.02%, 8.10%, 17.06%。试验前剔除供试土壤中的植物根茬、石块和砂砾, 并混合均匀。

1.2 试验小区设计

试验小区设计为可移动式钢槽, 可移动式钢槽长 1.5 m, 宽 0.5 m, 深 0.35 m。对福建省宁化县的 DEM 高程图进行坡度分级, 宁化县的地形坡度主要在 10°~25°。因此将试验小区坡度恒定为 15°。土槽填土之前, 底部填厚 5 cm 沙石, 土槽底部均匀打孔, 以确保土壤通透性, 为减少土壤变异性 and 土壤形态的改变, 改善土槽排水, 上铺棉纱布。试验土样风干过 1 cm 筛, 装土时采用分层填土, 每层土厚度为 5~10 cm, 填土和压实同时进行, 每层填土填完表面都进行刮毛打平, 以确保不同土层更好结合, 同时压实土槽边壁, 以减小边界效应的影响。填土过程中尽量保证土壤的密度和含水率与野外采样时的测量值一致。土壤容重计算公式为: $r=w/v$ 。式中: w 为环刀中土壤被烘干后的质量(g); v 为环刀的体积(100 m³)。紫色土属于初育土, 该类土土壤容重平均值为 1.39 g/cm³, 并经过对研究区紫色土土壤容重的实地测定, 确定当地紫色土容重为 1.35~1.42 g/cm³, 所以将试验土壤容重控制在 1.35~1.42 g/cm³。土槽尾部设“V”形收集口, 用来收集模拟降雨过程产生的径流和泥沙。因福建省平均植被覆盖率 65.95%, 宁化

县平均植被覆盖率 71.50%，为了更好的代表研究区实际覆盖情况，将土槽分别分成 50% 和 75% 植被覆盖度。并以径流小区为尺度，在自然生长和保证植被均匀生长前提下，采用人工干扰措施来确保植草小区的植被覆盖度始终保持在所需范围(50%，75%)。

1.3 人工模拟降雨设备

试验设备为 BX-1 型侧喷式野外模拟降雨器，有效喷洒面积 3 m×5 m，有效面积内，降雨均匀度大于 80%，雨强调控范围 20~200 mm/h，符合试验需求。设备降雨高 6 m，喷嘴直径分为 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 mm 8 个梯度，喷嘴工作压力为 0.15, 0.20 MPa，每场降雨前进行率定。根据研究区多年降雨量、降雨时间及降雨强度，选定 0.5, 1.0, 1.5 mm/min 3 个雨强来进行试验。

1.4 样品采集与处理

本试验以降雨总量(30 mm)一定，雨强不同，降雨历时不定为原则。以 5—10 cm 土层为例，因 2 种覆盖度(50% 和 75%)不同，前期含水率分别为 16.55% 和 17.33%。为尽量确保两土槽前期含水率一致，每场降雨前先用 0.5 mm/min 的雨强，降雨直到坡面产流后停止，之后将土槽静置 24 h，第 2 天降雨前，为确保降雨强度在土槽各部位分布均匀，先进行 1 min 的降雨率定，使雨强达到试验需求，并尽量保持每次降雨环境条件一致。1.5, 1.0, 0.5 mm/min 大、中、小 3 种雨强下降雨历时分别为 20, 30, 60 min。从降雨开始计时，坡面产流后，每 3 min 接取 1 个径流泥沙样。采样结束后，将样品拿回实验室，静置 12 h，使不稳定团聚体由于内部空气和压力而破裂，将取样品瓶中上清液倒入大试管测量每个样品的径流量，沉淀在底层的泥沙通过湿筛法分别过 3.0, 2.0, 1.0, 0.5, 0.25 mm 的筛子，可获 >3.0, 3.0~2.0, 2.0~1.0, 1.0~0.5, 0.5~0.25, <0.25 mm 6 个等级的团聚体，装入铝盒，放入烘箱，105℃ 烘干，称重。

1.5 数据处理

采用 ENVI 5.0 对植被覆盖图片进行解译，通过解译得出植被覆盖情况；运用 Excel 2010 和 SPSS 19.0 软件对数据进行统计分析；用 Origin 8.5 软件作图。

2 结果与分析

2.1 雨强对坡面产流量的影响

由图 1 可知，雨强越大，产流总量越大，二者有明显的线性正相关的关系。相同时间内，3 种雨强(1.5, 1.0, 0.5 mm/min)下，50% 覆盖度时，产流量分别占坡面产流总量的 17%，30%，53%；75% 覆盖度时，分别占 19%，28%，53%。试验过程中，大雨强的

径流入渗速率高于中小雨强，但大雨强到达地表的降雨速率明显高于土壤的入渗速率，所以产生较大的产流量。而小雨强径流入渗率虽然小于大雨强，但因其到达坡面的降雨速率远小于大雨强，所以产生的产流量较小；且相同时间内，大雨强降雨总量大，也是坡面产流量大的原因。

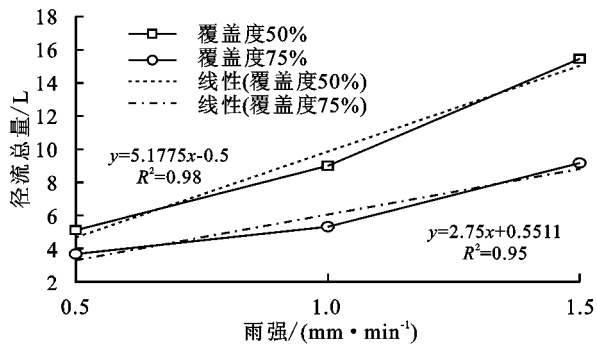


图 1 产流量随雨强的变化

由表 1 可知，相同时间内，大雨强之间的产流总量差值大，不同雨强间产流量斜率 1.0~1.5 mm/min > 0.5~1.0 mm/min。0.5~1.0 mm/min 的雨强下，产流量的差值较小，斜率小，1.0~1.5 mm/min 雨强间产流量差值较大，斜率大。2 种覆盖度下(50% 和 75%)，1.0~1.5 mm/min 雨强间紫色土坡面产流量斜率分别为 0.5~1.0 mm/min 间的 1.66, 2.33 倍。

表 1 不同雨强和覆盖度下产流量斜率

雨强/(mm·min ⁻¹)	覆盖度 50%	覆盖度 75%
0.5~1.0	3.90	1.65
1.0~1.5	6.46	3.87

2.2 雨强对坡面径流率的影响

由图 2 可知，大雨强(1.5 mm/min)时坡面径流率高且波动较大，小雨强(0.5 mm/min)坡面径流率低且处于相对平稳状态。不同雨强径流率由大到小分别为 1.5 mm/min > 1.0 mm/min > 0.5 mm/min。3 种雨强(0.5, 1.0, 1.5 mm/min)下，50% 覆盖度径流率变化范围分别为 5.33~7.17, 7.02~9.22, 11.28~14.23 mL/s; 75% 覆盖度径流率变化范围分别为 2.89~5.00, 4.33~6.01, 8.75~9.86 mL/s。这是可能是因为相同时间内，大雨强的产流量增加幅度明显高于小雨强，因此径流率高于小雨强。

在 0.5 mm/min 的小雨强下，50% 和 75% 覆盖度试验小区的径流率峰值分别出现在 27, 39 min，均滞后于雨强 1.0, 1.5 mm/min 时径流峰值出现的时间，这与刘力等^[12]研究结果一致。在试验过程中，雨强越大，径流入渗率越大，但随降雨历时推移，土壤水分渐趋饱和，径流入渗率呈减少趋势。相同时间内，50% 覆盖度下，雨强 1.5, 0.5 mm/min 时径流入渗率下降幅度分别为 0.34, 0.03 mm/min; 75% 覆盖度下，雨强 1.5, 0.5 mm/min 时径流入渗率下降

幅度分别为 0.08, 0.01 mm/min, 大雨强径流入渗率随降雨历时下降速度快, 小雨强径流入渗率下降

速度慢, 这可能是因为小雨强径流率峰值滞后于中大雨强。

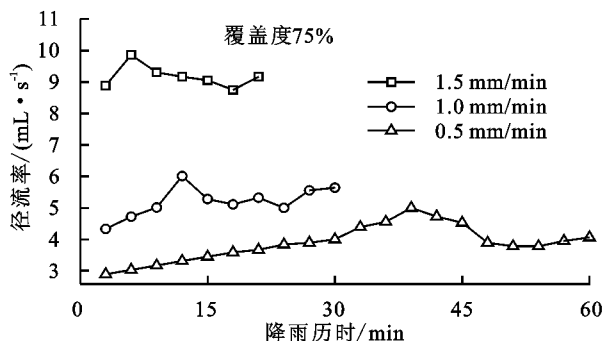
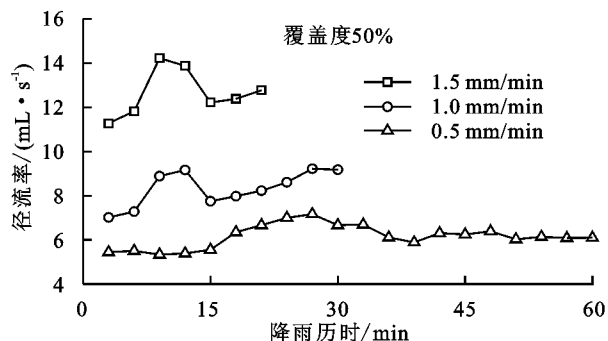


图2 不同雨强坡面径流率的变化

2.3 雨强对坡面产沙量的影响

坡面侵蚀产沙是坡面侵蚀过程的重要研究内容之一, 产沙过程也是坡地发育的重要原因, 而坡面侵蚀产沙的动力来源则是降雨击溅和坡面径流的冲刷。由图3可知, 雨强越大, 累积产沙量越大, 累积产沙量大小为 1.5 mm/min > 1.0 mm/min > 0.5 mm/min。相同时间内, 雨强 1.5 mm/min 时, 2 种覆盖度下累积产沙量之和是雨强 1.0 mm/min 的 1.66 倍; 雨强 1.0, 1.5 mm/min 时, 2 种覆盖度下累积产

沙量之和是雨强 0.5 mm/min 时的 2.52, 3.17 倍。50% 覆盖度时, 其产沙量分别占坡面产沙总量的 16%, 33%, 51%; 75% 覆盖度时, 分别为 7%, 32%, 61%。不同雨强通过改变雨滴对坡面溅蚀强度来影响坡面产沙量, 已有研究^[13]表明, 无雨滴击溅时坡面侵蚀量明显减少, 雨强增大则雨滴直径变大, 相同降雨高度下, 大直径雨滴降落至坡面转化成的动能大, 对坡面产生的溅蚀作用强, 促进坡面土粒迁移, 产沙量较大。

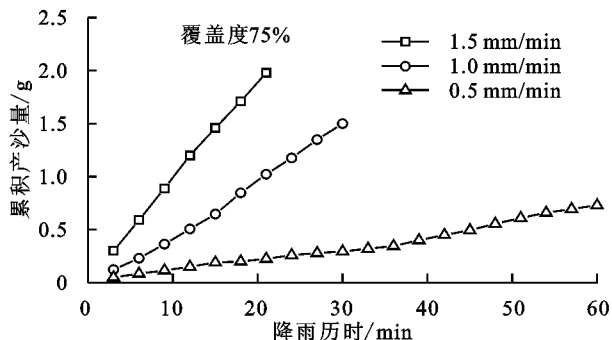
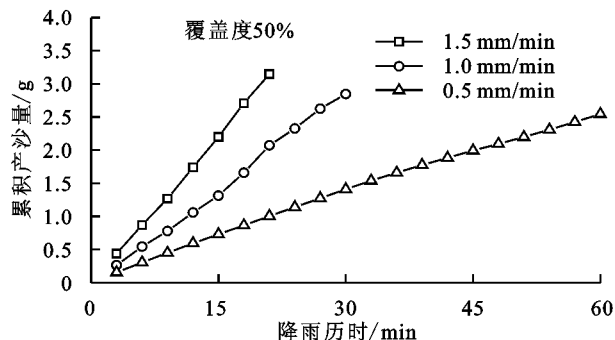


图3 不同雨强坡面累积产沙量的变化

2.4 雨强对坡面侵蚀率的影响

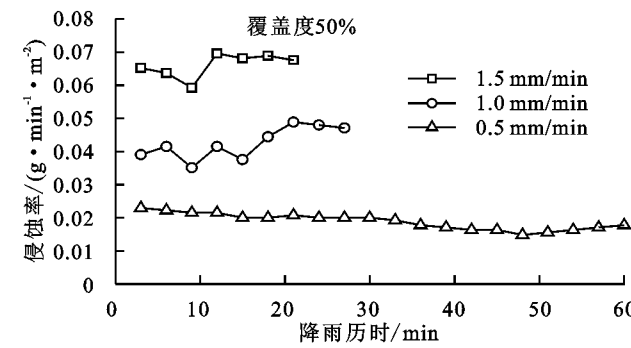
由图4可知, 2 种覆盖度下侵蚀率变化趋势具有一定规律。不同雨强下侵蚀率大小为 1.5 mm/min > 1.0 mm/min > 0.5 mm/min, 大雨强侵蚀率高于小雨强。大雨强地表径流流速快, 其携带泥沙流出坡面的速度也快, 侵蚀率高。雨滴直径和下落动能大, 对坡面击溅侵蚀作用强, 同时径流率大会加大径流扰动和对坡面的侵蚀强度, 增大坡面侵蚀率^[14]。而小雨强 (0.5 mm/min) 径流率小于大雨强, 其携泥沙流出坡面的速度慢, 对径流扰动和坡面的侵蚀作用小, 泥沙不易跃移, 所以侵蚀率小于中大雨强 (1.0, 1.5 mm/min)。0.5 mm/min 雨强的侵蚀率变化平稳, 1.0 mm/min 雨强的侵蚀率变化波动比较大, 1.5 mm/min 雨强下侵蚀率波动下降后上升, 最后下降并趋于平稳状态。在产流初始阶段, 因为坡面径流少, 对降落雨滴的缓冲作用小, 使初始侵蚀率相比较较大。2 种覆盖度下, 雨强 1.5 mm/min 时, 降

雨 15 min 时达到峰值, 雨强 1.0 mm/min 时, 降雨 20 min 达到峰值, 说明雨强越大, 侵蚀率达到峰值的时间越短, 径流是泥沙的载体。因此, 小雨强侵蚀率峰值滞后与其径流率峰值滞后密切相关。

2.5 雨强对坡面侵蚀泥沙水稳性团聚体的影响

土壤团聚体是土壤结构重要单元, 其粒径会影响径流入渗和土壤抗蚀性, 土壤团聚体的流失也是紫色土土壤退化重要原因^[15]。由图5可知, 侵蚀泥沙颗粒各个粒径基本上随着雨强增加而增加。3 种雨强下, 粒径 < 0.25 mm 的泥沙质量最大, 其次是 > 3 mm 粒径的泥沙比重大, 50% 和 75% 覆盖度下, < 0.25, > 3 mm 粒径的水稳性团聚体总量分别占泥沙总量的 74% 和 67%, 0.25 ~ 3 mm 粒径的水稳性团聚体分别占泥沙总量的 30% 和 26%。侵蚀泥沙颗粒呈现双峰分布, 被搬运的主要是大颗粒和小颗粒, 不易被搬运的为中间颗粒。这种特征与紫色土土壤质

地密切相关。以 $<0.25\text{ mm}$ 的微团聚体为例,小雨强(0.5 mm/min)与中大雨强($1.0, 1.5\text{ mm/min}$)的水稳性团聚体含量差别最明显。2 种覆盖度下,不同雨强下,每种粒径的水稳性团聚体含量均为 $1.5\text{ mm/min} > 1.0\text{ mm/min} > 0.5\text{ mm/min}$ 。雨强越



大,各粒级水稳性团聚体含量越大,因为大雨强降雨动能大于土壤颗粒内部黏结力,使土壤崩解破碎,增加各粒径团聚体含量。该结论与戴金梅等^[16]认为紫色土坡面侵蚀泥沙中水稳性团聚体多为 $<0.25\text{ mm}$ 的微团聚体结论一致。

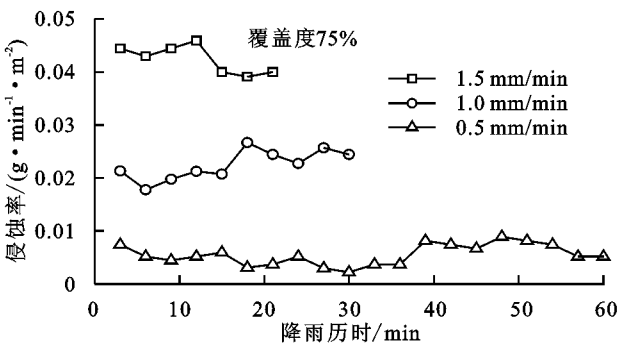


图 4 不同雨强坡面侵蚀率的变化

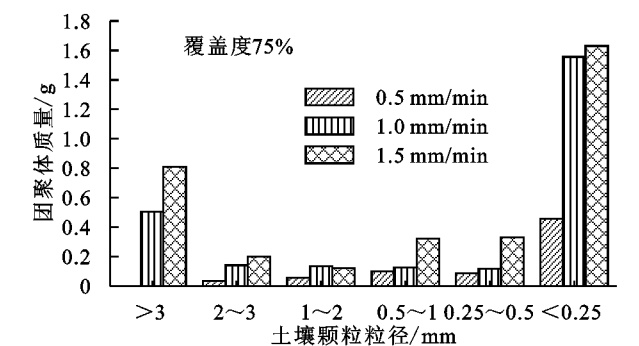
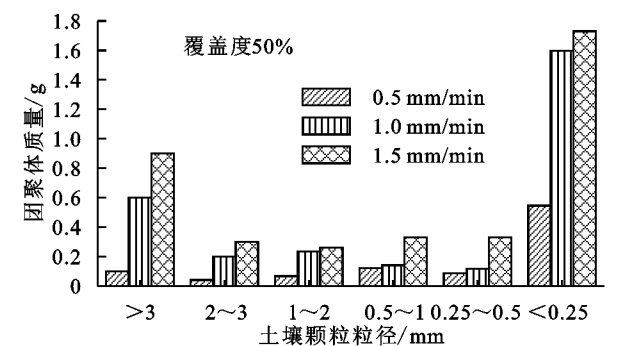


图 5 侵蚀泥沙水稳性团聚体粒径分布

2.6 雨强对坡面产流量、产沙量的统计分析

拟合方程可为不同雨强下紫色土坡面产流量、产沙量的预测提供客观依据,运用 SPSS 软件统计分析,通过单因素分析拟合,得出雨强对产流量、产沙量的影响均为极显著($P<0.01$),说明随着雨强的增加,坡面的产流量、产沙量不断的增大,为更好地体现雨强与紫色土坡面侵蚀的实际关系,在所有拟合方程中,均选取相关系数最高的拟合方程。由表 2 可知,在 50%和 75%覆盖度下,雨强与产流量分别拟合为一次线性方程和二次方程,相关系数 R^2 分别为 0.89,0.94;雨强与产沙量拟合为一次线性方程,相关系数 R^2 分别为 0.96,0.97,以上拟合方程的相关系数 R^2 均大于 0.80,模型具有较高的精度,拟合结果与以上分析的雨强对坡面产流量、产沙量的影响分析结果相一致。

表 2 不同雨强产流量、产沙量拟合方程

覆盖度/%	拟合方程	R^2
50	$Y_1=6.169x+2.888$	0.89
75	$Y_1=5.3x^2-5.3x+5.198$	0.94
50	$Y_2=0.104x-0.008$	0.96
75	$Y_2=0.081x-0.028$	0.97

注: Y_1 为产流量(mL); Y_2 为产沙量(g); x 为雨强(mm/min)。

3 讨论

本研究将 2 种植被覆盖度小区放置在同一地点,依据福建省以及研究区常见的 3 种降雨强度($0.5, 1.0, 1.5\text{ mm/min}$)和具有代表性的 2 种植被覆盖度(50%,75%),分析雨强对紫色土坡面产流产沙的影响,揭示了在不同植被覆盖度下,雨强与紫色土坡面产流产沙之间的共性规律,增加了其普遍的适用意义。

本次试验中紫色土坡面侵蚀主要以雨滴溅蚀和坡面侵蚀为主,由于大雨强降雨滴对地面击溅作用强,其到达地面的降雨速率远高于紫色土坡面的土壤入渗速率,地表容易超渗产流。而小雨强降雨速率明显小于大雨强,所以紫色土坡面产流量较小。刘力等^[12]认为小雨和暴雨时,紫色土地表径流由超渗产流机制形成,小雨时,在雨前土壤较干燥、降雨初期雨强陡然增大情况下,紫色土坡面地表产流峰值有明显滞后现象,这是由于临时相对不透水表层形成的缘故。本次试验中,小雨强的紫色土坡面径流率峰值出现时间也滞后于大雨强。这可能是因为相同时间内,大雨强径流入渗率随降雨历时的减小速度快,小雨强径流入渗率的下降速度慢所致,其短时间可产生较大的产流量,也是大雨强径流率高于小雨强的原因之一。

雨强越大,紫色土坡面产沙量和侵蚀率越大。本次试验中,因为大雨强降雨滴直径大,其落至坡面转化成的动能大,对紫色土坡面溅蚀作用强,容易使单个土粒离开土体发生迁移,进而加大产沙量;相同时间内,大雨强产流量大,不仅可承载更多的泥沙,也会加大径流扰动,对坡面造成侵蚀,增大紫色土坡面含沙量。同时径流是泥沙的载体,大雨强的紫色土坡面径流率比小雨强高,所以相应的大雨强的紫色土坡面侵蚀率要高于小雨强。王玉宽等^[5]研究表明,紫色土侵蚀率基本由降雨强度所控制,降雨强度的增加实质上增大了雨滴对紫色土坡面的打击频率,降雨动能增加,雨滴对地表土颗粒分散、击溅、推移作用加强,紫色土的侵蚀率必然增加。所以在暴雨季节,要着重做好研究区紫色土的水土保持措施。

本次试验中紫色土侵蚀泥沙水稳性团聚体粒径主要集中在 $>3, <0.25$ mm。Shi等^[17]研究表明,侵蚀泥沙颗粒呈现双峰分布,被搬运的主要是大颗粒和小颗粒。所以在紫色土水土保持措施中应着重截留侵蚀泥沙中 $>3, <0.25$ mm粒径的团聚体。

左烽林等^[18]研究表明,随着紫色土坡面细沟发育逐渐趋于稳定和跌坑联通之后径流连通程度的增加,产沙量开始趋于稳定。但本次试验中,试验小区里并没有出现侵蚀沟,这可能是由于相比于野外天然降雨,降雨历时还不够长,试验小区面积较小所致,所以今后将结合野外天然降雨试验进一步研究紫色土坡面侵蚀过程。

4 结论

(1)紫色土坡面产流量和径流率随雨强的增大而增大,雨强和坡面产流量之间呈极显著正相关($P < 0.01$)。3种雨强下坡面产流量和径流率大小均为 $1.5 \text{ mm/min} > 1.0 \text{ mm/min} > 0.5 \text{ mm/min}$,在大雨强(1.5 mm/min)和中雨强(1.0 mm/min)时产流量波动比较显著,在小雨强(0.5 mm/min)时产流量处于较低的稳定值。

(2)紫色土坡面产沙量和侵蚀率随雨强增大而增大,雨强和坡面产沙量之间呈极显著正相关($P < 0.01$)。3种雨强下紫色土坡面产沙量和侵蚀率大小分别为 $1.5 \text{ mm/min} > 1.0 \text{ mm/min} > 0.5 \text{ mm/min}$ 。

(3)不同雨强下,紫色土侵蚀泥沙的水稳性团聚体粒径主要集中在大颗粒($>3 \text{ mm}$)和小颗粒($<0.25 \text{ mm}$),中间粒径的泥沙颗粒比重小。微团聚体($<0.25 \text{ mm}$)含量比重最大。大雨强(1.5 mm/min)下,各粒级团

聚体含量均高于中、小雨强($1.0, 0.5 \text{ mm/min}$)。

参考文献:

- [1] 青长乐. 紫色土再研究(I)紫色土的母质:红层[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2009, 31(7): 120-125.
- [2] 何长高, 尹忠东. 紫色土区土壤侵蚀对土地生产潜力的影响研究[J]. 水土保持学报, 2001, 15(4): 110-114.
- [3] 马琨, 马斌, 何宪平, 等. 宁南黄土高原坡面土壤侵蚀与影响因子研究[J]. 水土保持研究, 2007, 14(1): 7-10.
- [4] 林超文, 陈一兵, 黄晶晶, 等. 不同耕作方式和雨强对紫色土养分流失的影响[J]. 中国农业科学, 2007, 40(10): 2241-2249.
- [5] 王玉宽, 王勇强, 傅斌, 等. 紫色土坡面降雨侵蚀试验研究[J]. 山地学报, 2006, 24(5): 597-600.
- [6] 陈正维, 朱波, 唐家良, 等. 自然降雨条件下坡度对紫色土地土壤侵蚀的影响[J]. 人民珠江, 2016, 37(1): 29-33.
- [7] 霍云梅, 毕华兴, 朱永杰, 等. 模拟降雨条件下南方典型粘土坡面土壤侵蚀过程及其影响因素[J]. 水土保持学报, 2015, 29(4): 23-26.
- [8] 郑粉莉. 坡面降雨侵蚀和径流侵蚀研究[J]. 水土保持通报, 1998, 18(6): 17-21.
- [9] 贾莲莲, 李占斌, 李鹏, 等. 黄土区野外模拟降雨条件下坡面径流—产沙试验研究[J]. 水土保持研究, 2010, 17(1): 1-5.
- [10] 盛贺伟, 蔡强国, 孙莉英. 黄土质地对坡面侵蚀的影响[J]. 水土保持学报, 2016, 30(1): 31-35.
- [11] 刘恒. 强化水土流失治理, 助推生态文明建设: 以福建省宁化县为例[J]. 亚热带水土保持, 2016, 28(1): 34-36.
- [12] 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.
- [13] 王丽园, 查轩, 黄少燕, 等. 不同雨强条件下坡度对红壤坡面侵蚀的影响[J]. 水土保持学报, 2017, 31(5): 40-44.
- [14] 马美景. 降雨—径流作用下土壤坡面侵蚀过程及溶质迁移特征[D]. 武汉: 华中农业大学, 2015.
- [15] Dimoyiannis D. Interrill erosion on cultivated Greek soils: Modelling sediment delivery [J]. Earth Surface Processes & Landforms, 2006, 31(8): 940-949.
- [16] 戴金梅, 查轩, 黄少燕, 等. 不同植被覆盖度对紫色土坡面侵蚀过程的影响[J]. 水土保持学报, 2017, 31(3): 33-38.
- [17] Shi Z H, Fang N F, Wu F Z, et al. Soil erosion processes and sediment sorting associated with transport mechanisms on steep slopes [J]. Journal of Hydrology, 2012, 454/455(3): 123-130.
- [18] 左烽林, 钟守琴, 冉卓灵. 紫色土丘陵区新改土坡面产流产沙及水动力学参数特征[J]. 水土保持学报, 2018, 32(1): 59-66.