

花岗岩风化土不同土层抗蚀性差异分析

王秋霞¹, 丁树文^{2,3}, 赵欣¹, 童莉莎¹, 万印康¹, 张勇²

(1. 华中农业大学 资源与环境学院, 武汉 430070; 2. 华中农业大学 水土保持实验室, 武汉 430070; 3. 农业部 长江中下游耕地保育重点实验室, 武汉 430070)

摘 要:土壤的抗蚀性即土壤抵抗外力对其破坏和搬运的能力, 土壤抗蚀性越强, 受到的侵蚀破坏就越少。本文通过对通城崩岗区花岗岩发育的淋溶层、淀积层、母质层进行多次人工模拟降雨试验, 在一定雨强、坡度的条件下, 收集径流、泥沙来研究崩岗区花岗岩发育的不同土层的抗蚀性。结果表明: 崩岗区花岗岩发育的淋溶层、淀积层、母质层的抗蚀性有显著差异, 各土层的入渗率呈现稳定差异, 淀积层的稳定入渗率是淋溶层的 1.25 倍, 母质层的 2.27 倍; 且输沙率差异明显, 母质层的平均输沙率是淀积层的 1.79 倍, 淋溶层的 3.11 倍。结合 3 层土理化性质和土壤粒径分析可知, 母质层的抗蚀性最弱, 淀积层次之, 淋溶层最强, 其中决定 3 层土抗蚀性大小的主要因素是土层中小颗粒含量和颗粒间的粘结能力。

关键词:土壤抗蚀性; 人工模拟降雨试验; 径流; 入渗率; 输沙率; 粒径分析

中图分类号: S157.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2015)03-0006-04

Studies on the Variation of Soil Antierodibility of Collapse Horizons of Weathered Earth in Granite Region

WANG Qiuxia¹, DING Shuwen^{2,3}, ZHAO Xin¹, TONG Lisha¹, WAN Yinkang¹, ZHANG Yong²

(1. College of Resources and Environment, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China; 2. Research Center of Soil and Water Conservation, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China; 3. Key Laboratory of Arable Land Conservation for Middle and Lower Reaches of Yangtze River, Ministry of Agriculture, Wuhan 430070, China)

Abstract: Soil anti-erodibility is the ability to resist to the damage and removal from external forces, the stronger the anti-erodibility of soil is, the less erosion damages it suffers. This paper aimed to conduct the research on anti-erodibility of different soil layers developed from the granite in collapsed gullies through lots of artificial simulation of rainfall experiments with eluvial horizon, illuvial horizon and parent material horizon of collapsed gullies granite development in Tongcheng County and collecting runoff and sediment under certain rainfall intensity and slope conditions. The results showed that there was a significant anti-erodibility difference among eluvial horizon, illuvial horizon and parent material horizon of collapsed gullies granite development while the infiltration rate of different soil layers showed the stable difference, the stable infiltration rate of illuvial horizon was 1.25 times greater than the eluvial horizon and 2.27 times greater than the parent material horizon. The transport rates showed a sharp distinction. The average sediment transport rate of parent material horizon was 1.79 times greater than the illuvial horizon, 3.11 times greater than the eluvial horizon. Combining with analysis of physical and chemical properties of three layers and particle sizes in the soil profile, soil anti-erodibility of the parent material horizon is the weakest, followed by the illuvial horizon, while eluvial horizon is the strongest. The main factors determining soil anti-erodibility of the three layers are the contents of medium and small particle sizes and bonding capability of particles.

Keywords: soil anti-erodibility; artificial rainfall simulation experiments; runoff; infiltration rate; sediment transport rate; particle size analysis

收稿日期: 2014-06-03

修回日期: 2014-07-26

资助项目: 国家科技支撑项目 (2011BAD31B04); 国家自然科学基金 (41201271); 华中农业大学国家级大学生创新创业训练计划 (201410504021)

第一作者: 王秋霞 (1990—), 女, 河南周口人, 本科生, 研究方向为花岗岩风化土可蚀性及崩岗稳定性。E-mail: qxwangchn@gmail.com

通信作者: 丁树文 (1964—), 男, 湖北孝感人, 学士, 副教授, 主要从事水土保持、农业生态环境保护研究。E-mail: dingshuwen@mail.hzau.edu.cn

国内外对土壤抗蚀性的研究有很多,许多国外研究结果表明可以通过测定和比较土壤质地、结构、有机质含量、化学组成等研究土壤可蚀性的影响程度^[1-5],同时可以把黏粒率作为土壤可蚀性的直接指标,黏粒率越小则土壤越不易受到侵蚀^[6-7]。室外小区试验分析了土壤物理性质对于土壤侵蚀的影响后,认为渗透率、悬浮率和分散率是判断土壤抗蚀性的很好指标^[8-10]。国内大多学者的研究表明土壤抗蚀性强弱程度主要取决于土壤与水的亲和力以及土粒间的胶结力。对长江上游区域的侵蚀率进行研究,结果显示土壤有机质含量、土壤团聚体稳定性、土壤渗透性能等因素对土壤侵蚀率影响较大^[11-16]。不同土地利用类型径流量和产沙量对降雨因子的响应不一样,与裸露荒地、坡耕地和旱地相比,林地和疏林地径流量及产沙量相对变化较缓^[17]。黄土区土壤抗蚀性研究发现褐土抗蚀性比黄绵土强,且土壤上层高于下层。黄土低山丘陵区各个土地利用类型中,油松林地抗蚀性最大,其次是草地,农田的抗蚀性最小^[18]。通过空间分析,对不同土层土壤侵蚀下的土地利用类型,不同土地利用结构下的土壤侵蚀状况进行动态分析。采用入渗率、输沙率、粒径流失量 3 项指标和数学分析方法综合比较 3 层土的抗蚀性差异。

表 1 通城花岗岩风化土基本性质						
土壤层次	典型取土深/m	机械组成/%				容重/ (g·cm ⁻³)
		>2 mm	0.2~2 mm	0.02~0.2 mm	<0.02 mm	
淋溶层 A	0.1~0.3	5.85	38.21	18.19	37.75	1.20
淀积层 B	0.5~1.5	27.21	21.17	14.8	36.82	1.32
母质层 C	8~15	33.45	19.23	16.77	30.55	1.37

注:淋溶层(eluvial horizon)、淀积层(illuvial horizon)、母质层(parent material horizon)在下文分别简写为 EH,IH,PMH。

1.2 试验方法

试验在华中农业大学水土保持研究中心降雨大厅内进行。根据南方年降雨情况及地形地貌状况,本试验设计雨强为 70 mm/h,降雨时长 40 min,设计坡度 20°;分别对 3 层土进行人工模拟降雨试验,测定雨强、含水率并收集径流和泥沙;每层土做 5 个平行试验。

试验所采用的土槽为自行设计的钢槽。设计规格为:长 2 m、宽 0.6 m、深 0.2 m,土槽径流出口处安装 V 形钢槽用以收集径流泥沙,土槽底板均匀打孔,便于土壤水自由渗透。

装土前在土槽底板铺设一层纱布,防止土样渗漏,将土样按照室外实测容重装在土槽车内用以模拟自然条件下的坡面,设计土槽坡度为 20°。每层土填车时以 5 cm 压实一次,填装 3 层,每层均匀压实到固定容重 1.37 g/cm³。

降雨过程中将 4 个雨量筒均匀摆放在土槽车两

崩岗是指在水力和重力综合作用下山坡土体受破坏而崩塌和冲刷的侵蚀现象,属于复合侵蚀类型^[19]。对于南方花岗岩地区崩岗而言,崩岗各土层(淋溶层、淀积层和母质层)的物质组成、理化性质、物质迁移等都有较大差异^[20-21]。只有了解不同类型崩岗的侵蚀特征,才能有针对性地采取最有效措施进行治理。因此本研究在湖北省通城采集典型花岗岩崩岗不同部位土壤样品,测定不同土层样品质地,采用入渗率和输沙率表征土壤入渗能力的强弱和模拟降雨条件下崩岗侵蚀产沙来源及其运移规律,进而深入研究不同土层的抗蚀性差异。研究不仅能定量分析南方崩岗不同土体侵蚀泥沙的输移规律,而且进一步丰富了崩岗侵蚀理论,也为崩岗治理措施合理布设提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 试验设备与材料

试验装置:单土槽车(长 2 m×宽 0.6 m×深 0.2 m),降雨器,雨量筒 4 个,径流瓶(1 L)时域反射仪(TDR)。

试验材料:根据崩岗发生剖面的土壤层次,采取湖北通城花岗岩风化土发育较典型的淋溶层、淀积层、母质层土样,土壤性质见表 1。

侧进行雨强数据的收集,用径流瓶收集每 2 min 土槽产生的径流及泥沙,收集阶段记录细沟产生的时间并观察细沟产生状况。

测量并记录各个土层每 2 min 收集的径流量,并将收集的泥沙分别过 2,1,0.2 mm 筛,然后将过筛后的不同粒级的土样转移到小铝盒中进行烘干称重。通过单位时间不同土层各个粒级的烘干重表征降雨对不同土层抗蚀性的差异。

试验数据使用 SPSS 18.0 软件进行处理分析。

2 结果与分析

2.1 降雨对 3 层土体入渗率的影响

土壤入渗能力的强弱,通常用入渗率来表示,即在土面保持有大气压的水层时,单位时间内通过单位面积土壤的水量。分析 3 层土 15 次降雨的入渗数据,结果表明在初期含水量达(20±2)%的情况下,

3 层土体的入渗率在整个降雨时间段内表现出均匀差异,且在 10 min 后都趋于平稳(图 1)。结合表 2,淋溶层和淀积层的平均入渗率虽高低不同,但两者间差异不显著。但是,母质层的入渗率显著低于淋溶层和淀积层。

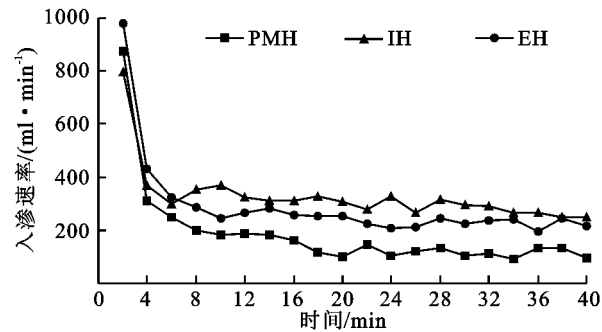


图 1 3 层土体的入渗率

表 2 3 层土体入渗率多重比较结果 ml/min

土壤层次	IH	EH	PMH
入渗率平均	328.75a	291.00a	186.42b

注:数据采用 DUNCAN 检验,不同小写字母代表差异显著 ($p < 0.05$),下表同。

这可能是因为崩岗区 3 层土体的质地差异。母质层是发育程度很低或未发育的岩石风化层,>2 mm 的土壤粒径最多,颗粒组成主要为砂粒且较粗,土壤容重大,孔隙度小,入渗率较小;淋溶层颗粒较细,颗粒组成为黏粒,0.2~2 mm 的土壤粒径最多,土壤有机质含量较高且结合紧密,容重小,土质疏松,小孔隙发育较完全,初期含水率较高且入渗率较大;淀积层颗粒组成主要为粉粒,<0.02 mm 的土壤粒径最多,孔隙度小,孔隙数量较多,入渗率相对较大。

2.2 降雨对 3 层土体输沙率的影响

采用输沙率对模拟降雨条件下侵蚀产沙量的特征进行定量描述。通过分析 3 层土 15 次降雨的产沙数据,结果表明在初期含水量达(20±2)%的情况下,3 层土的输沙率在降雨时间段内差异极显著(表 3)。如图 2 所示,母质层的输沙率随时间波动较大,但整体呈下降趋势;淀积层的输沙率在最初 6 min 内下降,后呈缓慢上升趋势;淋溶层输沙率在第 4 min 后整体呈缓慢下降趋势。母质层的输沙率明显高于淀积层和淋溶层,淀积层平均输沙率高于淋溶层。

表 3 3 层土体输沙率多重比较结果 g/(L·min)

土壤层次	PMH	IH	EH
输沙率平均	40.43A	22.56B	13.01C

这可能由于 3 层土的各项理化性质差异明显。母质层是缺少有机质的砂质土,砂粒单个存在,并不粘结成结构体,颗粒较易分散和搬运;淋溶层沙砾很

少,富含有机质,团粒结构数量多,团粒之间充满空气,团粒内部孔隙小,降雨过程中过多的水分通过团粒间的大孔隙渗入土壤下层,减弱了对土壤颗粒的分散和搬运。试验过程中,母质层土体经长时间降雨,形成冲沟,造成细沟侵蚀,这可能是图 2 中 28 min 处输沙率突增的原因。

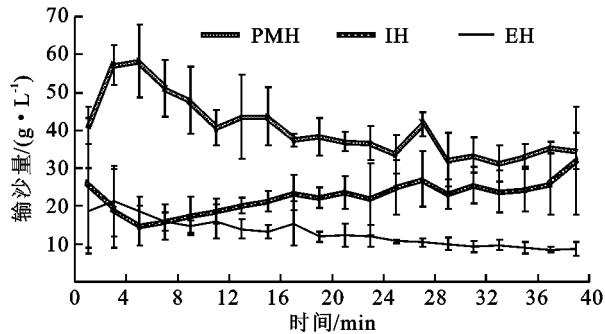


图 2 3 层土体的输沙量变化

2.3 降雨对 3 层土各粒径流失量的影响

3 层土的各项物理性质差异都很大,其中以质地最为突出,对于不同粒径的泥沙颗粒,其被分散搬运的难易程度不同。由图 3 可见,各土层中<0.2 mm 的粒径流失量最大,0.2~1 mm 的粒径流失量次之,淋溶层各粒径颗粒流失量较淀积层、母质层显著减少。淋溶层主要流失颗粒粒径在 0.2~1,<0.2 mm。>2 mm 粒径颗粒含量较少,这可能是由于淋溶层大颗粒组成主要是团聚体,在降雨初期接触面积小、黏着性弱的大团聚体容易先被冲走,降雨后期<0.2 mm 的黏粉粒流失量保持稳定下滑;母质层各粒径的流失量较淀积层、淋溶层多,小颗粒(0.2~1,<0.2 mm)流失量很大,占流失量的总比重较大,大颗粒(1~2,>2 mm)所占比例较小,<0.2 mm 粒径颗粒流失量巨大,这可能由于母质层团聚作用很小,大颗粒构成基本全部为砂砾,因此离散程度较小。

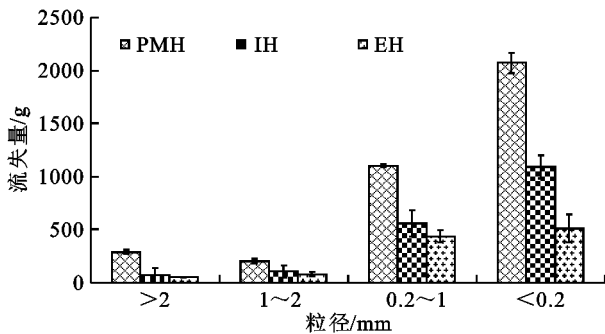


图 3 3 层土各粒径流失量

3 结论

(1) 不同土层水分渗透性能不同。淀积层的稳定入渗率是淋溶层的 1.25 倍,母质层的 2.27 倍。母质层细颗粒(<1 mm)较多,降雨时细颗粒沉降,形成

隔水层,孔隙重新分布时大孔隙被填满,入渗率相应较小;淋溶层含有大量的黏粒和有机质,孔隙发育完全,有良好的入渗路径;淀积层比淋溶层孔隙大,而细颗粒($<1\text{ mm}$)又比母质层少,入渗速度最大。

(2) 不同土层在径流条件下输沙规律存在极显著差异。随着降雨持续进行,淋溶层和淀积层的输沙率会不断减小,且母质层的输沙率一直大于淋溶层的输沙率。但随着降雨时间的延长,淀积层的输沙率不断增加,防治淀积层崩岗区土壤侵蚀的关键在于减少水力的作用时间。在自然条件下,淀积层相对母质层更容易暴露在外,为防止扩大侵蚀,应注意淀积层的保护。

(3) 3层土的流失均以小颗粒($1\sim 0.2, <0.2\text{ mm}$)为主。淋溶层小颗粒流失量较少,大颗粒流失以团聚体为主;淀积层小颗粒流失量适中,但随着时间增加流失速度也会增长;母质层小颗粒流失量较大,大颗粒流失量以沙砾为主。粒径较小的泥沙流失量最大,黏粒的可分离性较弱,可搬运性较强,与砂粒相反。决定3层土抗蚀性大小的主要条件是小颗粒的多少及粘结能力的大小。

(4) 3层土的抗蚀性存在明显差异,深层土层的侵蚀速率更快,长期过度的侵蚀无法支撑上层土体,最终形成崩岗。因此,增加淋溶层表面的植被覆盖,减少径流等水力对土层的作用时间,对于改善崩岗频发状况,防治水土流失具有重要的意义。

参考文献:

- [1] Wang B, Zheng F, Römkens M J M, et al. Soil erodibility for water erosion: A perspective and Chinese experiences[J]. *Geomorphology*, 2013, 187: 1-10.
- [2] Auerswald K, Fiener P, Martin W, et al. Use and misuse of the K factor equation in soil erosion modeling: An alternative equation for determining USLE nomograph soil erodibility values[J]. *Catena*, 2014, 118: 220-225.
- [3] Bryan R B. Soil erodibility and processes of water erosion on hillslope[J]. *Geomorphology*, 2000, 32(3): 385-415.
- [4] Stavi I, Lal R. Variability of soil physical quality and erodibility in a water-eroded cropland[J]. *Catena*, 2011, 84(3): 148-155.
- [5] Gupta R D, Arora S, Gupta G D, et al. Soil physical variability in relation to soil erodibility under different land uses in foothills of Siwaliks in NW India[J]. *Tropical Ecology*, 2010, 51(2): 183-197.
- [6] 王文艳. 黄土中主要黏土矿物构成对土壤肥力与抗蚀性的影响及空间变异研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2013.
- [7] 门明新, 赵同科, 彭正萍, 等. 基于土壤粒径分布模型的河北省土壤可蚀性研究[J]. *中国农业科学*, 2004, 37(11): 1647-1653.
- [8] 林金石, 黄炎和, 张旭斌, 等. 南方花岗岩区典型崩岗侵蚀产沙来源分析[J]. *水土保持学报*, 2012, 26(3): 53-57.
- [9] 张黎明, 于东升, 史学正, 等. 不同降雨类型下的南方典型土壤侵蚀量差异研究[J]. *水土保持通报*, 2011, 31(4): 1-6.
- [10] 林敬兰, 黄炎和, 蒋芳市, 等. 崩岗土体的渗透性能机理研究[J]. *水土保持学报*, 2013, 27(2): 53-56.
- [11] 周璟, 张旭东, 何丹, 等. 小流域土壤可蚀性的空间变异及其在不同土地类型下的比较[J]. *土壤通报*, 2011, 42(3): 715-719.
- [12] 何毓蓉, 廖超林, 张保华. 长江上游人工林与天然林土壤结构质量及保水抗蚀性研究[J]. *水土保持学报*, 2006, 19(5): 1-4.
- [13] 黎建强, 张洪江, 陈奇伯, 等. 长江上游不同植物篱系统土壤抗冲、抗蚀特征[J]. *生态环境学报*, 2012, 21(7): 1223-1228.
- [14] 刘旦旦, 张鹏辉, 王健, 等. 黄土坡面不同土地利用类型土壤抗蚀性对比[J]. *林业科学*, 2013, 49(9): 102-106.
- [15] 薛莲, 刘国彬, 张超, 等. 黄土丘陵区人工灌木林土壤抗蚀性演变特征[J]. *中国农业科学*, 2010, 43(15): 3143-3150.
- [16] 陈佳, 陈洪松, 冯腾, 等. 桂西北喀斯特地区不同土地利用类型土壤抗蚀性研究[J]. *中国生态农业学报*, 2012, 20(1): 105-110.
- [17] 于俊峰, 孙丽娜, 王震洪. 不同土地利用类型对紫色土抗蚀性影响研究[J]. *广东农业科学*, 2013, 39(24): 62-64.
- [18] 刘旦旦, 张鹏辉, 王健, 等. 黄土坡面不同土地利用类型土壤抗蚀性对比[J]. *林业科学*, 2013, 49(9): 102-106.
- [19] 任兵芳, 丁树文, 吴大国, 等. 鄂东南崩岗土体特性分析[J]. *人民长江*, 2013(3): 93-96.
- [20] 张德斌. 南方花岗岩区崩岗不同土层抗蚀性评价因子研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2010.
- [21] 郑子成, 杨玉梅, 李廷轩. 不同退耕模式下土壤抗蚀性差异及其评价模型[J]. *农业工程学报*, 2011, 27(10): 199-205.