

文章编号: 1673-9469 (2018) 01-0028-04

doi:10.3969/j.issn.1673-9469.2018.01.007

植被对红壤坡面侵蚀影响的试验研究

王坤¹, 王保田¹, 唐平慧², 张福海¹, 韩少阳¹

(1. 河海大学岩土力学与堤坝工程教育部重点实验室, 江苏南京 210098; 2. 香港科技大学土木及环境工程系, 香港)

摘要: 考虑种植草本植被时红壤坡面的侵蚀情况, 采用室内人工模拟降雨的方法, 在强降雨(雨强 2.0 mm/min)、短历时(30 min)情况下, 研究不同坡度、不同植被覆盖度下红壤坡面抗侵蚀效应。结果表明: 当植被覆盖度 <40% 时, 随着植被覆盖度的增加, 侵蚀量迅速降低, 当植被覆盖度 >60% 时, 侵蚀量减小趋于平缓, 故本研究的临界植被覆盖度为 40% ~ 60%; 对于不同植被覆盖度的红壤坡面, 其临界坡度也发生了变化, 当植被覆盖度 <40% 时, 临界坡度较裸露坡面逐渐减小, 当植被覆盖度 >60% 时, 随着坡度的增加侵蚀量缓慢递增, 试验中没有出现临界坡度。分析其原因, 指出临界坡度是土壤内在性质、植被特性、降雨等因素综合作用的结果, 并不是一个常数。

关键词: 植被覆盖度; 临界坡度; 红壤; 侵蚀量

中图分类号: S157.1

文献标志码: A

Experimental study on the effect of red soil slope erosion with vegetation action

WANG Kun¹, WANG Baotian¹, TANG Pinghui², ZHANG Fuhai¹, HAN Shaoyang¹

(1. Geotechnical Research Institute and Key Laboratory of Ministry of Education for Geomechanics and Embankment Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, P. R. China; 2. Department of Civil and Environmental Engineering, Hong Kong University of Science and Technology, Hong Kong)

Abstract: Comprehensively considering the erosion of red soil slope with herbaceous vegetation, indoor simulated rainfall experiments are carried out to discuss the anti-erosion effect with different slopes and different vegetation coverages of red soil slope in heavy rainfall(2.0 mm/min)and short duration(30 min). The results show that with the increase of vegetation coverage, the erosion reduces rapidly within the vegetation coverage less than 40% while the erosion reduces gently as the vegetation coverage more than 60%, so the critical vegetation coverage is 40%-60%; The critical slope changes for different vegetation coverages, The critical slope reduces within the vegetation coverage less than 40% while The critical slope disappears as the vegetation coverage more than 60% because the erosion increases gently. The reason led to this phenomenon is that the critical slope can be effected by soil properties, vegetation coverage, rainfall and so on.

Key words: vegetation coverage; critical slope; red soil; erosion

南方红壤丘陵区降雨量大且集中, 多为暴雨。强降雨加上红壤可蚀性较高的物理性质和人类不合理开发, 使得南方红壤区成为我国水土流失最广、程度最严重的地区之一^[1]。研究表明, 植被因子是影响土壤侵蚀的敏感性因子, 具有从根本上治理水

土流失的作用^[2]。由于植被覆盖度与径流量、土壤侵蚀量之间的强相关性, 很多学者研究了植被覆盖度对土壤水土保持的影响^[3-8], 发现植被覆盖情况对土壤的水土保持有重要作用。坡度是影响土壤侵蚀的重要的地形因素, 在一定范围和条件下, 土壤侵

收稿日期: 2017-09-15

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51778211); 中央高校基本科研业务费资助项目(2016B43014); 江苏省研究生科研与实践创新计划(KYCX17_0469)

作者简介: 王坤(1992-), 男, 江苏南京人, 硕士, 从事岩土工程方面的研究。

蚀量随坡度增加而增加。许多试验和野外观测资料表明：在坡度超过一定限度时，土壤侵蚀量反而与坡度呈反比关系，这说明土壤侵蚀量存在一临界坡度^[9-12]。本文通过室内人工模拟降雨试验，探讨不同植被覆盖度对红壤坡面侵蚀和临界坡度的影响，对边坡防护的研究有重要意义。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本文采用广西河池市红壤，旨在探讨植被覆盖度和坡度对红壤侵蚀的影响。土样基本物理性质见表1。试验植被采用狗牙根草地，此种草可在贫瘠的酸性土中快速生长，适宜在有机质少的红壤中种植。试验采用人工模拟降雨试验，采用自制的降雨装置，设定降雨强度2 mm/min，降雨历时30 min，用以模拟短历时、强降雨条件。降雨器的降雨面积20 cm×60 cm，试验土壤坡地用木槽盛放，木槽规格70 cm×20 cm×3 cm。

1.2 试验方法

试验考虑植被覆盖度和红壤坡度两个变量，进行植被覆盖度0、20%、40%、60%、80%、100%，坡度5°、10°、15°、20°、25°、30°的交叉试验，具体方法如下：

将事先已培育好的不同植被覆盖度的红壤整理成相应规格后置于木槽中，木槽用石块垫住以调节不同的坡度，再整个放入集水箱中。调节降雨器待降雨强度稳定在2 mm/min后，将集水箱放在降雨器下，使土坡完全接受降雨器的降雨，计时30 min，结束后移开集水箱。降雨结束后，土坡在雨滴和流水侵蚀下流入集水箱中。将收集到的含泥沙的水静置24 h，排去上层清液，下层悬浊液放入烘箱烘干，测得的质量即为此坡度、此植被覆盖度下红壤坡面的侵蚀量。

为保证试验结果可靠，采用平行试验，每个植被覆盖度和坡度进行两次重复试验，取两次测得的平均值为该坡度、此植被覆盖度下红壤坡面的侵蚀量。

2 结果与分析

2.1 植被对红壤坡面侵蚀的影响

试验测得各植被覆盖度、各坡度下红壤坡面的降雨侵蚀量。图1显示，在降雨强度和时间一致的情况下，坡面侵蚀量随植被覆盖度的增加而减小。经分析发现，红壤坡面上种植草本植物对坡面的抗侵蚀效应有明显的增强。与裸露坡面对比，可以看到，当植被覆盖度达到一定程度时，能有效改善红壤坡面的侵蚀情况。当植被覆盖度<40%时，随着植被覆盖度的增加，红壤侵蚀量迅速降低；当植被覆盖度>60%时，随着植被覆盖度的增加，红壤侵蚀量减小幅度趋于平缓。通过试验发现，植被对红壤坡面侵蚀的改善效果显著，当植被充分覆盖时（植被覆盖度100%），侵蚀量仅为裸露坡面的1/38，土壤侵蚀量减少了97%。因此，植被是影响土壤侵蚀的敏感性因子，具有从根本上治理水土流失的作用。

红壤坡面侵蚀量随植被覆盖度的变化说明，当植被覆盖度达到40%时，植被的茎、叶可以削减降雨动能，减少坡面的溅蚀；植被的根系可以改良土壤结构，增加水分入渗，从而减小坡面径流带来的侵蚀效应；同时，草本植物紧贴地面生长，有良好的拦沙、截流效果，这进一步改善了红壤坡面的抗侵蚀效果。当植被覆盖度达到60%以上时，覆盖度的增加不能引起减沙效益的大幅度增加（图2），减沙作用趋于稳定，植被减沙效益最高在覆盖度40%~60%之间，即为本试验红壤坡面的临界植被覆盖度。许炯心等^[13]的研究也证实了植被对坡面抗侵蚀的作用存在减沙效益临界现象，超过临界覆盖度后，继续增加植被覆盖度不能对水土保持产生明显作用。

2.2 植被对红壤坡地临界坡度的影响

坡度是影响土壤侵蚀的重要的地形因素，在一定范围和条件下，土壤侵蚀量随坡度增大而增加。前人的研究发现，坡度对土壤的侵蚀存在一临界值，超过这一临界坡度，侵蚀反而减少^[8-12]。图3为本试验不同植被覆盖度情况下，侵蚀量随坡度变化而变化的关系图。从图中可以看出裸露坡面的临界坡度在25°附近，随着植被覆盖度的增加，临界坡度

表1 土样基本物理性质
Tab.1 Basic physical properties of soil sample

比重	天然含水率/%	塑限含水量/%	液限含水率/%	塑性指数	液性指数
2.72	29.6	26.8	50.5	24	0.12

逐渐减小。当植被覆盖度达到 40% 时, 临界坡度在 20° 附近。当植被覆盖度继续增加时, 侵蚀量在各个坡度下都迅速减少, 最终表现为随着坡度的增加侵蚀量缓慢递增的情况, 试验中没有出现临界坡度。直至植被覆盖度为 100% 时, 各个坡度下红壤坡面的侵蚀量都几乎相同。

这一临界坡度的存在机理十分复杂, 是雨滴溅蚀力和土壤抗蚀力随坡度变化增加或减少相互影响、作用的综合结果。雨滴的击溅和坡面地表径流的冲刷在坡地侵蚀中起着重要作用, 雨滴击溅提供丰富的溅松土颗粒, 在坡面地表径流的冲刷下引起水土

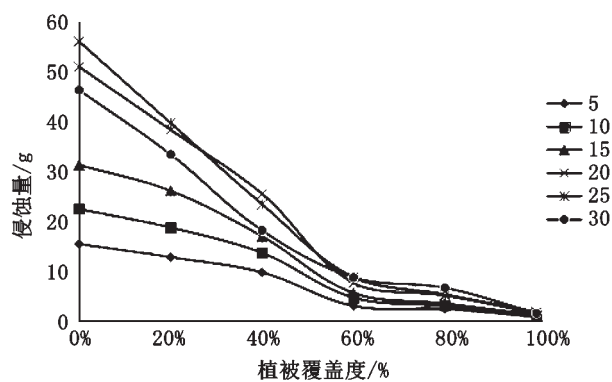


图 1 不同植被覆盖度下侵蚀量图

Fig.1 The diagram of the erosion under different vegetation coverages

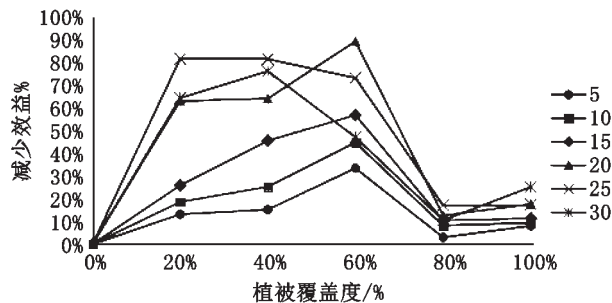


图 2 不同植被覆盖度下减沙效益图

Fig.2 The diagram of sediment reduction benefit under different vegetation coverages

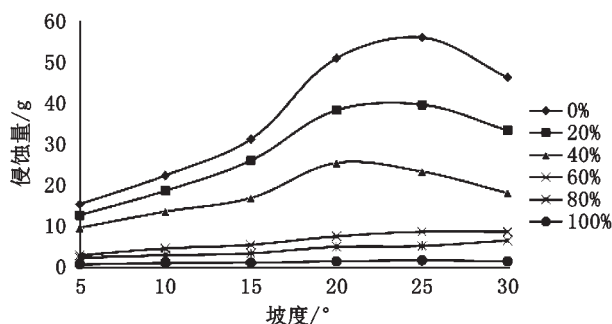


图 3 不同植被覆盖度下侵蚀量与坡度关系图

Fig.3 The diagram of the relationship between erosion and slope under different vegetation coverages

流失。结合前人的研究结果, 临界坡度的存在主要有三个方面原因: 一是随着坡度的增大, 土壤颗粒在重力作用下向下运动能力加强, 同时坡度的增大, 降低了土壤的稳定性, 土壤抗侵蚀能力减弱。二是因入渗量与坡度成反比关系, 随着坡度的增加, 入渗量减小, 从而地表径流变大, 所以坡度直接影响径流的冲刷能力, 再与溅蚀后土颗粒受重力的联合作用下, 土壤侵蚀量增加。三是随着坡度的增大, 在同样的坡长及降雨倾角下受雨面积减小, 即较陡的斜坡上表土被水淹没层比在缓坡为小, 从而影响到径流量, 减弱了土壤侵蚀量。可见, 坡度对土壤侵蚀影响是多种因素综合作用的结果, 在此增彼减的过程中, 必然存在一个界限值。这个界限值目前各家得出的结论差距较大, 而且理论值往往大于试验值。吴普特等^[14]利用人工模拟降雨方法, 研究了水流侵蚀动力、雨滴击溅和水流共同作用下地表侵蚀与坡度的关系, 得出在溅蚀和径流的共同作用下, 侵蚀量与坡度的关系曲线中有一临界坡度, 其值在 26° 附近; 又在降低雨滴高度以降低雨滴动能后, 在 30° 时还没有临界坡度出现。

结合本试验结果, 可以发现植被对雨滴溅蚀、土壤结构和地表径流产生了复杂的影响, 土壤的临界坡度也由此出现了变化。当植被覆盖度不大时, 植被对土壤结构性的改善作用有限, 同时由于植被覆盖度低, 不能有效抑制雨滴溅蚀, 坡面的侵蚀量仍较大; 但本试验采用草本植物, 紧贴地面生长, 即使在覆盖度较低时, 地表茎、叶仍然起到了拦沙、减流的作用, 降低了地表径流冲刷效果。由植被对雨滴溅蚀、土壤结构和地表径流的综合作用下, 此时临界坡度较裸露坡面时减小, 侵蚀量变化曲线较裸露坡面变得平缓。当植被覆盖度大于 60% 后, 土壤结构得到有效改善, 雨滴动能也由于植被覆盖而变相减小, 溅蚀产生的松动土颗粒大大减少。这时坡面的侵蚀量主要来自径流冲刷和溶蚀作用, 所以侵蚀量减少很多, 而且随坡度增加呈缓慢递增的关系, 直至 30° 时仍未出现临界坡度, 这与吴普特等^[14]的研究结果一致。

3 结论

1) 植被覆盖度对红壤抗侵蚀的影响不是线性增强的。在植被覆盖较少时, 随着植被的增加, 能明显发现土壤的侵蚀量减小; 而当植被达到一定覆盖

度后, 植被对土壤抗侵蚀作用的影响开始下降。

2) 对于不同植被覆盖度的红壤坡面, 其临界坡度也发生了变化。试验证明了临界坡度是土壤内在性质、植被特性、降雨等因素综合作用的结果。

3) 植被对土壤抗侵蚀能力有极大的增强作用。

参考文献:

- [1] 赵其国. 我国红壤的退化问题 [J]. 土壤, 1995(6): 281-285.
- [2] 焦菊英, 王万忠. 人工草地在黄土高原水土保持中的减水减沙效益与有效盖度 [J]. 草地学报, 2001, 9(3): 176-182.
- [3] 罗伟祥, 白立强. 不同覆盖度林地和草地的径流量与冲刷量 [J]. 水土保持学报, 1990(1): 30-35.
- [4] 张光辉, 梁一民. 植被盖度对水土保持功效影响的研究综述 [J]. 水土保持研究, 1996, 3(2): 104-110.
- [5] 刘 斌, 罗全华, 常文哲, 等. 不同林草植被覆盖度的水土保持效益及适宜植被覆盖度 [J]. 中国水土保持科学, 2008, 6(6): 68-73.
- [6] ZHANG Y, LIU B, ZHANG Q, et al. Effect of different vegetation types on soil erosion by water[J]. 植物学报: 英文版, 2003, 45(10): 1204-1209.

- [7] 孙佳美, 余新晓, 樊登星, 等. 模拟降雨下植被盖度对坡面流水动力学特性的影响 [J]. 生态学报, 2015, 35(8): 2574-2580.
- [8] 朱冰冰, 李占斌, 李 鹏, 等. 草本植被覆盖对坡面降雨径流侵蚀影响的试验研究 [J]. 土壤学报, 2010, 47(3): 401-407.
- [9] RENNER F G. Conditions influencing erosion on the Boise River watershed[J]. Technical Bulletins, 1936.
- [10] 陈法扬. 不同坡度对土壤冲刷量影响试验 [J]. 中国水土保持, 1985(2): 2.
- [11] HORTON R E. Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology[J]. Journal of the Japanese Forestry Society, 1945, 56(3): 275-370.
- [12] 曹文洪. 土壤侵蚀的坡度界限研究 [J]. 水土保持通报, 1993(4): 1-5.
- [13] 许炯心, 孙 季. 无定河水土保持措施减沙效益的临界现象及其意义 [J]. 水科学进展, 2006, 17(5): 610-615.
- [14] 吴普特, 周佩华. 地表坡度与薄层水流侵蚀关系的研究 [J]. 水土保持通报, 1993(3): 1-5.

(责任编辑 王利君)

(上接第27页)

参考文献:

- [1] DYSKIN A V, GERMANOVICH L N, USTINOV K B. A 3-D model of wing crack growth and interaction[J]. Engineering Fracture Mechanics, 1999, 63(1): 81-110.
- [2] GERMANOVICH L N, SALGANIK R L, DYSKIN A V, et al. Mechanisms of brittle fracture of rock with pre-existing cracks in compression[J]. Pure & Applied Geophysics, 1994, 143(1-3): 117-149.
- [3] DYSKIN A V, SAHOURYEH E, JEWELL R J, et al. Influence of shape and locations of initial 3-D cracks on their growth in uniaxial compression[J]. Engineering Fracture Mechanics, 2003, 70(15): 2115-2136.
- [4] 黄明利, 黄凯珠. 三维表面裂纹相互作用扩展贯通机制试验研究 [J]. 岩石力学与工程学报, 2007(9): 1794-1799.
- [5] 黄凯珠, 黄明利, 焦明若, 等. 三维表面裂纹扩展特征的研究 [J]. 岩石力学与工程学报, 2003(Z1): 2145-2148.
- [6] WONG R H C, LAW C M, CHAU K T, et al. Crack propagation from 3-D surface fractures in PMMA and marble specimens under uniaxial compression[J]. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 2004, 41(3): 37-42.

- [7] SUKUMAR N, MOES N, MORAN B, et al. Extended finite element method for three dimensional crack modelling[J]. International Journal for Numerical Methods in Engineering, 2000, 48(11): 1549-1570.
- [8] BAI T, POLLARD D D, GAO H. Spacing of edge fractures in layered materials[J]. International Journal of Fracture, 2000, 103(4): 373-395.
- [9] AREIAS P M A, BELYTSCHKO T. Analysis of three-dimensional crack initiation and propagation using the extended finite element method[J]. International Journal for Numerical Methods in Engineering, 2005, 63(5): 760-788.
- [10] BELYTSCHKO T, BLACK T. Elastic crack growth in finite elements with minimal remeshing[J]. International Journal for Numerical Methods in Engineering, 1999, 45(5): 601-620.
- [11] 庄 茁. 扩展有限单元法 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2012.
- [12] AYHAN A O. Mixed mode stress intensity factors for deflected and inclined surface cracks in finite-thickness plates[J]. Engineering Fracture Mechanics, 2004, 71(7-8): 1059-1079.
- [13] 中国航空研究院. 应力强度因子手册 [M]. 增订版. 北京: 科学出版社, 1993.

(责任编辑 王利君)