

基于人工模拟降雨的垂直侵蚀研究

丁文荣, 王 洁, 周 跃

(昆明理工大学环境科学与工程学院, 云南 650093)

摘 要: 凭借人工模拟降雨装置, 对大红山工矿区弃石场的土壤与沙砾间的横向与纵向的垂直侵蚀状况比较, 分析了影响垂直侵蚀的主要因素。结果表明: (1) 垂直侵蚀物质输移量随深度的增加而减少, 随降雨强度的增加而增加; (2) 加剧垂直侵蚀的主要土壤物理性质是降雨强度、降雨量和土壤渗透性; (3) 抑制垂直侵蚀的主要土壤物理性质是土壤容重、土壤初始含水量; (4) 土壤化学性质对垂直侵蚀的影响主要通过土壤物理性质表现出来。

关键词: 人工模拟降雨; 垂直侵蚀; 土壤侵蚀; 水土流失

中图分类号: S157.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-3409(2006)04-0182-03

Study on the Vertical Erosion Based on Artificial Simulation of Rainfall

DING Wenrong, WANG Jie, ZHOU Yue

(Faculty of Environment Science and Engineering, Kunming University of
Science and Technology, Kunming 650093, China)

Abstract: The authors base on the artificial simulation of rainfall device, and compare the differences of vertical erosion between soil and sand of Dahongshan mineral district, and analyze the main affect factors of vertical erosion. The results show: (1) The quantity of material movement of vertical erosion increases with the rain intensity but decreases with the depth; (2) the soil physical properties which enhance vertical erosion are rainfall intensity, rainfall, soil permeability; (3) the soil physical proper2 ties which depress vertical erosion are soil bulk density, initial soil moisture content; (4) the soil chemical properties influence the vertical erosion by means of soil physical properties.

Key words: artificial simulation of rainfall; vertical erosion; soil erosion; water and soil loss

1 引 言

垂直侵蚀是指随着土壤水分的下渗, 伴随着可溶性矿物质和土壤颗粒在土壤内部垂直向下移动的流失形式, 是土壤侵蚀的一种类型^[1]。尽管垂直侵蚀可能发生在所有土地上, 但在一些特殊的区域, 如工矿区弃石场、岩溶地貌发育地区、坡面物质孔隙发达等地区常常成为垂直侵蚀发育的典型区域。此外, 垂直侵蚀与下切侵蚀是不同的概念, 并且其发生机理也不相同, 应该加以区分。与其它土壤侵蚀一样, 垂直侵蚀会造成土壤的理化性质改变、土壤结构破坏, 并导致水土流失、养分流失、土壤肥力下降, 有时甚至还会引起不同规模的陷落、坍塌。因此, 垂直侵蚀理当受到足够的重视。但目前国内外对其研究还很少, 并都停留在定性分析阶段, 还未看到定量分析的案例, 给垂直侵蚀区的水土保持工作造成了不利的影响。本文以大云南玉溪红山工矿区弃石场的垂直侵蚀为研究对象, 总结概括了垂直侵蚀的主要影响因素和一般规律, 以起抛砖引玉的作用, 推动垂直侵蚀的深入研究, 并为垂直侵蚀的防治提供科学依据和决策支持。

2 实验方法、设计与过程

2.1 实验方法

实验采用 KUST03-1 人工模拟降雨装置, 其室内降雨有

效面积为 3 m@4 m 到 3 m@6 m, 降雨压强可达 0.16 MPa, 平均降雨强度在 10~90 mm/h 之间, 降雨均匀度最低为 78.6%, 最高达 98.6%^[2]。这套装置用来测定不同的雨量与雨强。此外, 土壤理性质的确定也用专门的实验仪器与方法。土壤容重的测定采用环刀法, 土壤比重采用比重瓶法, 土壤初始含水量用烘干法, 土壤渗透性分析用环刀法, 土壤颗粒分析采用比重计法, 土壤孔隙度分析用环刀法与比重瓶法的结合, 土壤水稳性分析时所用的土壤颗粒数是 100 粒。

2.2 实验设计

在大红山工矿区弃石场垂直侵蚀明显的典型样地取回原样土和尾矿, 其中原样土需要体积为 50 cm@50 cm@30 cm 的 9 筐, 而尾矿则需要 50 cm@50 cm@15 cm 的 5 筐, 尾矿粒的体积在 1~150 cm 之间。原样土取回实验室后转入体积为 50 cm@50 cm@30 cm 的实验筐中, 实验筐上部开口, 下部垫有孔隙面积为 1 mm@1 mm 的铁丝网, 以便让水分与横截面积小于 1 mm@1 mm 土壤颗粒通过。尾矿在实验前需经过洗涤, 洗涤的标准以直至洗出清水为准。经过洗涤的尾矿也将转入体积为 50 cm@50 cm@15 cm 的 5 个实验筐中, 实验筐上部开口, 下部垫有孔隙面积为 1 cm@1 cm 的铁丝网。把 5 筐尾矿依次叠在高度为 5 cm 的脚架上, 然后再把原样土筐叠在最上层, 叠置时要注意 6 个实验筐完全重合, 这样, 6 个实验筐总高度是 105 cm (脚架除外), 其高度相当于野外地表至

* 收稿日期: 2002-09-17

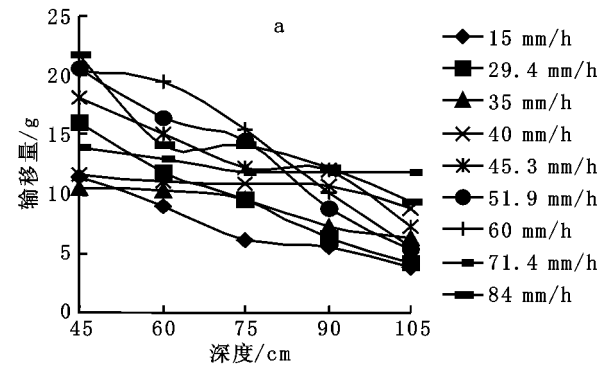
基金项目: 国家重点基础发展计划(973)项目(2003CB415105-06); 云南省自然科学基金(2002D00117M)

作者简介: 丁文荣(1979-), 男, 云南人, 博士, 主要从事生态工程、水土保持与生态水文学方面的研究。

105 cm 的深度。沙组的对比实验过程也完全与土壤组一样,只是沙采用均匀度达 80% 以上且粒径均小于 1.5 mm 的沙粒。由于土壤组的实验与沙组的实验不是同时进行,所以沙组的尾矿也用以上处理过的 5 筐。叠置后采样,采样后就可以进入具体的人工模拟降雨过程。降雨采用 9 个雨强,即 15.00 mm/h、29.40 mm/h、35.00 mm/h、40.00 mm/h、45.30 mm/h、51.90 mm/h、60.00 mm/h、71.40 mm/h、84.00 mm/h,这意味着土壤组需要进行 9 次实验,沙组进行 9 次实验。人工模拟降雨后是相应数据的收集过程,然后是数据的处理过程,最后是分析数据并得出垂直侵蚀的一般规律。

2.3 实验过程

在人工模拟降雨前,首先在大红山采集实验土样,所采集的土样需要具有典型性,并且是原状土样。为了使土样的理化性质保持原状,所采集的土样经过处理之后用土筐运回实验室。运回实验室后立即用环刀和铝土盒进行第一次实验的取样,为了使实验数据与真实情况最大程度相吻合,每个土筐都取三个样本。取回的样本将用来进行土壤的初始含水量、容重、比重、土壤渗透性、土壤水稳性、土壤孔隙度等所需数据的测试与分析,这需要采用一次取样连续测定土壤物理性质的方法^[3]。取样之后即开始按设定的模拟降雨雨强与时间进行人工模拟降雨。设定的降雨时间每一组都是 90 min,降雨结束后让土壤静置 24 h,以便让土壤颗粒充分往下输移。第 24 h 时再次用环刀、铝土盒采取土壤样本,以和降



雨前的各项数据进行比较。与此同时依次洗涤置于土筐下面石筐里的尾矿,洗涤的水量控制在 9 500~ 10 500 ml 之间,洗涤后的泥水搅拌均匀后取 500 ml 经过过滤、烘干、称量,所得的数值即为各层 500 ml 泥水里的纯土壤量。通过计算各层 500 ml 与相应层的总泥水量的比值,再耦合以 500 ml 泥水里的纯土壤颗粒重量,就可以得到不同层次里的总纯土壤量。重复以上的实验过程就可以得到土壤组所需的各项数据,沙组的对比实验过程完全与土壤组一样。

3 结果与分析

将实验前、实验过程中和实验后所获取的各项测定结果输入计算机,采用 SPSS12.0 软件进行分析与处理。由于垂直侵蚀的影响因素众多,要得出各个因素对其贡献率的大小,仅凭借传统的相关分析还不够。因此,本文将各项实验的原始数据录入计算机后,采用多元回归分析与相关分析相结合进行数据处理,然后得出相应的结果并输出与绘制相应的图表。

3.1 垂直侵蚀物质输移量的变化状况与分析

从图 1 中可以明显看出,垂直侵蚀的物质输移量随深度与降雨强度的不同存在着明显的变化。无论是土壤组(图 1 a)还是对照组沙组(图 1 b),其垂直侵蚀的物质输移量都随着深度的增加而减少,只是土壤组减少的速率比较均匀,而沙组减少的速率较快。此外,物质输移量还随着降雨强度的减弱而呈现出下降的趋势。

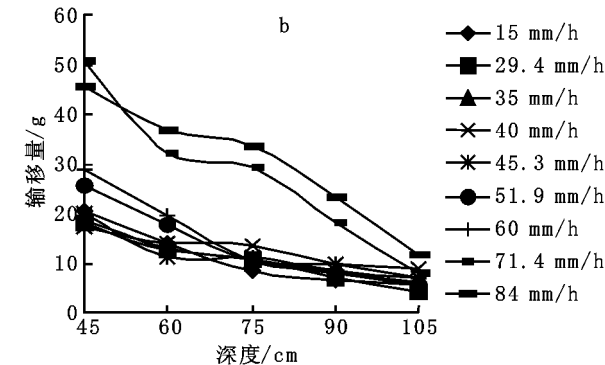


图 1 垂直侵蚀物质输移量随深度和降雨强度的变化

造成这种现象一方面缘于下层物质(土壤、石块等)具有吸附性,可以过滤来自上层的各种输移物质,使得输移物质随着深度的增加而减少。在这个过程中,水的动力学性质也发挥了关键的作用,这就是随着降雨强度的减弱而输移量有下降趋势的主要原因。此外,土壤的各种理化性质也影响垂直侵蚀物质输移量的变化状况,这将在下面进行讨论。

3.2 影响垂直侵蚀的主要物理性质分析

土壤的理化性质都对垂直侵蚀产生影响,只是不同的理化性质对不同类型的垂直侵蚀的贡献率不同而已。通过实验,笔者认为就工矿区的垂直侵蚀而言,土壤的化学性质主要通过物理性质表现出来。表 1 是土壤组和沙组的 9 组实验的基本数据,表 2 是土壤组和沙组的各项物理性质对垂直侵蚀的贡献率,这个贡献率主要通过相关系数体现出来。

3.2.1 降雨强度与降雨量

通过查阅/检验相关系数 $Q=0$ 的临界值 r_{α} 表^[4]得知,当样本 $n=9$ 时, $r_{0.05}=0.6664$ 。从表 2 中可以看出,降雨强度与降雨量和含沙量之间的相关系数均大于 0.6664。表明降雨强度与降雨量和含沙量之间呈现显著的正相关,即降雨强度与降雨量显著影响着垂直侵蚀,并且其数值的增大都会导致垂直侵蚀强度的加剧。尽管从表 2 中可以看出降雨强度与降雨量对垂直侵蚀的影响率一致,但野外并非完全如此,

这主要是由于野外垂直侵蚀的影响因素更多,如地貌、植被等因素都会对其产生影响。因此,降雨强度与降雨量对垂直侵蚀的影响率是不同的,两者间具体贡献率的排序还需考虑具体的下垫面情况。

3.2.2 土壤初始含水量

从表 2 中看出,土壤的初始含水量与垂直侵蚀之间也存在着显著的相关性,并且是负相关,这说明土壤的初始含水量一定程度上可以抑制垂直侵蚀的发生、强度或过程。就其原因,笔者认为由于决定入渗量大小的因素主要为土水势梯度和水力传导度。土壤初始含水量主要从入渗水流湿润区的平均势梯度方面影响土壤水分入渗能力。土壤初始含水量越高,水分入渗锋面的土水势越高,则水分入渗锋面与地表之间的平均势梯度越小,因此土壤的入渗通量越小,即土壤入渗能力越低。从而导致土壤初始含水量越高,土壤入渗能力越低,在一定时间(本实验为 90 min)内的累积入渗量也就越少,这直接削弱了垂直侵蚀物质的输移。有研究也已经表明尽管初期含水量对入渗影响较大,但随着入渗的进行,地表附近形成不断向下扩展的饱和区,土壤下部含水率条件差别逐渐减小,土壤含水率对入渗率的影响也将逐渐减弱,并稳定于一定水平^[4],这表明土壤的初始含水量对垂直侵蚀的影响主要发生在土壤水分入渗未达到稳渗阶段之前。

表 1 土壤组的各项基本数据

实验 组数	降雨强度 /(mm# h ⁻¹)	降雨量 /mm	初始含水/量/%		土壤容重/(g# cm ⁻³)		土壤渗透系数		含沙量/g	
			土壤组	沙组	土壤组	沙组	土壤组	沙组	土壤组	沙组
1	15. 00	22. 50	15. 73	8. 54	1. 30	1. 38	0. 79	1. 46	35. 94	55. 11
2	29. 40	44. 10	15. 41	8. 45	1. 26	1. 35	0. 83	1. 45	47. 97	52. 61
3	35. 00	52. 50	15. 24	8. 46	1. 25	1. 36	0. 80	1. 48	44. 12	56. 32
4	40. 00	60. 00	14. 75	8. 35	1. 25	1. 31	0. 88	1. 45	53. 08	62. 72
5	45. 30	67. 95	14. 92	8. 43	1. 26	1. 33	0. 88	1. 50	64. 78	58. 01
6	51. 90	77. 85	14. 04	8. 28	1. 24	1. 34	0. 85	1. 49	65. 83	67. 48
7	60. 00	90. 00	14. 88	7. 95	1. 18	1. 30	0. 89	1. 51	70. 93	74. 92
8	71. 40	107. 10	14. 05	7. 88	1. 20	1. 30	0. 85	1. 51	62. 44	138. 24
9	84. 00	126. 00	14. 45	8. 01	1. 21	1. 29	0. 96	1. 55	71. 63	150. 84

表 2 各项物理性质与垂直侵蚀之间的关系

实验组	降雨强度	降雨量	初始含水量	容重	渗透系数
土壤组含沙量	0. 87364	0. 87364	- 0. 75618	- 0. 79582	0. 83059
沙组含沙量	0. 87463	0. 87463	- 0. 81177	- 0. 72027	0. 79308

3.2.3 土壤容重

土壤容重是土壤的一个基本物理性质,对土壤的透气性、渗透性能、持水能力、溶质迁移特征以及土壤的抗侵蚀性、抗冲性都有非常大的影响,土壤容重对垂直侵蚀的影响也主要从这几个方面发生作用。但是,不同的自然条件下土壤容重受到成土母质、成土过程、气候、生物作用及耕作等的影响,是一个高度变异的土壤性质,使得其对垂直侵蚀的影响也因此而有所不同。从表 2 中可以看出,土壤容重与垂直侵蚀之间的相关系数也达到了显著的水平,并且是负相关。证明了土壤容重对垂直侵蚀也产生巨大的影响,这就是工矿区或路面通过压实土壤,增加土壤容重可以一定程度上抑制垂直侵蚀的原因。

3.2.4 土壤渗透性

土壤质地、结构、孔隙度、通气度、土壤湿度、温度、有机质含量、盐分含量等土壤理化性质都对垂直侵蚀产生影响,并且,它们对垂直侵蚀的影响主要体现在土壤的渗透性能这个土壤重要的物理性质上。此外,土壤渗透性能对垂直侵蚀的影响主要通过土壤渗透性这个综合指标反映出来^[5-6]。因此,本实验采用渗透系数这个综合指标来代替它们。从表 2 得知,渗透系数与垂直侵蚀之间存在着显著的正相关,意味着渗透系数的增大将加剧垂直侵蚀,这主要是由于渗透性好有利于物质的垂向输移,从而促进垂直侵蚀的发生与发展。

参考文献:

[1] 周跃. 山地灾害与生态工程[M]. 云南: 云南科技出版社, 2004. 18- 19.
[2] 王洁, 胡少伟, 周跃. 人工模拟装置在水土保持方面的应用[J]. 水土保持研究, 2005, 12(4): 190.
[3] 卫茂荣. 一次取样连续测定土壤物理性质的方法[J]. 辽宁林业科技, 1990, (1): 56- 57
[4] 解文艳, 樊贵盛. 土壤含水量对土壤入渗能力的影响[J]. 太原理工大学学报, 2004, 35(3): 272- 275.
[5] 张万儒, 庞鸿宾, 杨承栋, 等. 卧龙自然保护区植物生长季节森林土壤水分状况[J]. 林业科学, 1990, 3(2): 103- 112.
[6] 冯绍元, 丁跃元, 姚彬. 用人工降雨和数值模拟方法研究降雨入渗规律[J]. 水利学报, 1998, (11): 17- 20.

(上接第 186 页)

参考文献:

[1] Donald H Gray, Robbin B Sot ir. Biotechnical and Soil Bioengineering Slope stabilization[M]. USA: John Wiley & Sons, Inc., 1996.
[2] Gray, D H. Influence of vegetation on the stability of slope[A]. proceedings , International Conferenœ on Vegetation and Slope[C]. Institution of Civil Engineers, University Museum , Oxford , England, 1994. 1- 23.
[3] Vanicek, V. The soil protective role of specially shaped plant roots[J]. Biological Conservation, 1973, 5(3): 175- 180.
[4] Jaecklin, F P. Retaining beaut ifully[M]. Architect and Builder(May), 1983.
[5] 黄琼彪. 符合生态工法之林道植生工程技术[J]. 水土保持研究, 2003, 10(4): 225- 230.
[6] 5土壤学6编写组. 土壤学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1992. 99- 103, 5- 7, 52- 55.
[7] 都市绿化开发机构. 地面植被共同研究会(日) 地面绿化手册[M]. 北京: 中国林业出版社, 2003.