

不同坡形坡面侵蚀规律试验研究^{*}

杨丽娜¹, 范昊明^{1,2}, 郭成久¹, 王铁良¹, 郑国相³

(1. 沈阳农业大学 水利学院, 沈阳 110161; 2. 辽宁省农业科学院,

沈阳 110161; 3. 辽宁省水土保持研究所, 辽宁 朝阳 122000)

摘 要: 采用室内人工模拟降雨方法, 研究不同坡形坡面侵蚀规律。结果表明产流量和含沙量、总径流量和侵蚀量大体上是凹形坡大于凸形坡, 其次是内聚直坡, 直线形坡最小, 并且随着雨强和坡度的增大而增大。坡面上部和坡脚侵蚀较弱, 坡面侵蚀的剧烈段在坡面中下部, 并随雨强和坡度增大而逐渐上移。细沟的宽度和深度随雨强的增大而增大, 产生细沟后侵蚀量将迅速增大, 最大占总侵蚀量的 91%。

关键词: 坡形; 含沙量; 径流量; 侵蚀量; 细沟

中图分类号: S157.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2007)04-0237-03

Experimental Study of Soil Erosion in Different Slopes

YANG Li-na¹, FAN Hao-ming^{1,2}, GUO Cheng-jiu¹, WANG Tie-liang¹, ZHENG Guo-xiang³

(1. College of Water Resources, Shenyang Agriculture University, Shenyang 110161, China;

2. Institute of Liaoning Academy of Agricultural Science, Shenyang 110161, China;

3. Soil and Water Conservation Institute of Liaoning Province, Chaoyang, Liaoning 122000, China)

Abstract: The soil erosion of different slopes is studied by simulating rainfall. The results indicate that amounts of runoff and sediment content, total runoff and erosion is concave type slope > male slope > cohesion slope > straight line slope, moreover, which is stronger with rainfall intensity and slope gradient. The erosion is weak on upper part and slope foot, and strong in middle lower part. Rill width and depth become bigger with rainfall intensity, erosion amount promptly enhances after rill appears, accounts for 91%.

Key words: slope shape; sediment content; amount of runoff; amount of erosion; rill

坡面是侵蚀基本单元, 地形是影响土壤侵蚀形成发展的下界面因素之一。对于不同坡形土壤侵蚀规律研究, 国内外很少也不深入。因此, 研究不同坡形坡面土壤侵蚀规律, 对于认识坡面土壤侵蚀过程, 揭示坡面土壤侵蚀机理, 进一步完善坡面侵蚀理论, 建立侵蚀模型提供科学依据, 为合理配置水土保持措施, 有效治理坡耕地和实现土壤可持续利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验在沈阳农业大学水利学院综合试验基地的人工模拟降雨试验大厅内进行, 降雨装置为下喷式, 降雨强度可在 22.68~91.39 mm/h 之间调节, 均匀

度都达到 80% 以上, 喷头可覆盖的降雨面积为 5 m × 5 m。双土槽径流试验小区, 长 3 m、宽 1.5 m、高 0.8 m, 土槽底部留有直径 5 mm 小孔, 用以排出雨水。试验用土取自辽宁省沈阳市东陵区表层 30 cm 的潮棕壤。试验设置凸形、凹形、直线形和内聚式 4 种坡形如图 1; 降雨历时 30 min; 设置 5°, 10°, 15° 三个坡度; 0.64 mm/min, 1.05 mm/min, 1.52 mm/min 3 种降雨强度, 每次试验 2 次重复, 共 36 场降雨。

1.2 测定方法

装土时先在槽底垫 5 cm 厚的天然沙, 保证土壤的透气透水。采用分层装土, 每次填土 5 cm, 适当压实, 控制土壤容重在 1.30 g/cm³ 左右, 用手指将

^{*} 收稿日期: 2007-03-28

基金项目: 辽宁省教育厅高等学校科学研究青年基金资助项目(05L403); 国家自然科学基金青年基金资助项目(40601054)

作者简介: 杨丽娜(1981-), 女, 辽宁葫芦岛人, 硕士研究生, 研究方向: 土壤侵蚀规律研究。

土槽四周压实,以减小边界效应,土壤前期含水量控制在 15% 左右。一场降雨结束后,待土壤表面不粘结时,深翻加入新土做好坡形,调节雨强和坡度后进行下一场试验。降雨开始计时,记录坡面完全产流时间、出流口出流时间;用烧杯采集径流小区出流口处的含沙水样,用来计算含沙量和侵蚀率,时间间隔为 1 min;用塑料桶收集全部径流泥沙样,用来计算总径流量和侵蚀量;用高锰酸钾染色剂测量水流流过固定坡长的时间,用来计算坡面流速,时间间隔为 1 min;记录细沟产生的时间,观察坡面形态的变化过程;降雨结束后用量测法和回填法测量细沟的深、宽以及细沟侵蚀量。

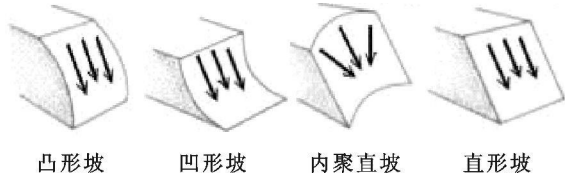


图 1 坡形示意图

2 结果与分析

2.1 产流量和含沙量变化特征

坡面产流量随降雨时间的变化可以分为迅速增加和渐趋平缓两个阶段如图 2,并且雨强越大、坡度越大,出现迅速增大的时间越早,增加幅度越大;一定时间后,坡面产流量逐渐平缓并达到相对稳定阶段。含沙量是衡量坡地水土流失的重要参数之一^[1],由图 3 看出含沙量过程线有起始峰值,这是雨滴溅蚀造成的。降雨初期坡面主要发生面蚀,侵蚀量较小,径流的含沙量也较小。当坡面上出现跌坎并发育成细沟后,径流侵蚀力增大,携沙能力增强,含沙率随之迅速增加。由于在一定流量和坡度条件下,径流的侵蚀能力是固定的,因此当径流中含沙量增大时,对坡面的剥离能力就减小,表现出含沙量的波动性。大体上产流量和含沙量都是凹坡大于凸坡,其次是内聚直坡,直线形坡最小,并且随着雨强和坡度的增大而增大。

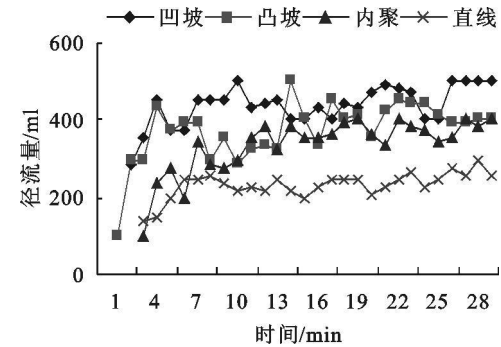


图 2 雨强 1.52 mm/min、坡度 10° 的产流量变化

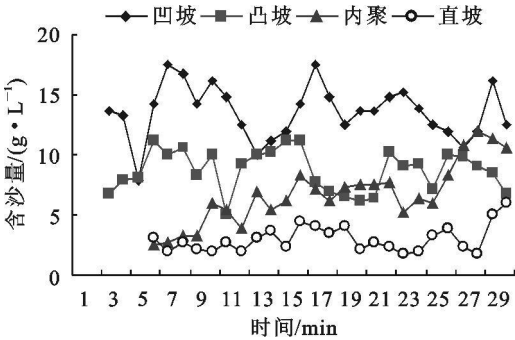


图 3 雨强 1.05 mm/min、坡度 10° 的含沙量变化

2.2 不同坡形总径流量和侵蚀量

径流对土壤具有侵蚀和直接挟带的双重作用,是导致水土流失的重要因子;土壤侵蚀量的计算,可以确认某些地域是否需采取水土保持,确定引起水土流失的关键因子,制定相应的措施^[2]。

表 1 是不同坡形、不同降雨强度和坡度的径流量统计表。总体上凹坡径流量>凸坡>内聚直坡>直线坡,随着雨强和坡度的增大而增大,并且径流量占降雨量的比例也增大。如凹形坡、坡度 5° 时,雨强 0.64, 1.05, 1.52 mm/min 时径流量分别为 29.31, 56.52, 125.59 L, 分别占降雨量的 33.92%, 39.87%, 61.20%;直线坡在雨强 1.52 mm/min、坡度 5°, 10°, 15° 径流量分别为 85, 111.03, 143.46 L。回归分析后知径流量与坡度直线相关,与雨强幂函数回归效果较好。

表 1 不同坡形、不同降雨强度和坡度的径流量 L

坡形	坡度/(°)	雨强/(mm·min ⁻¹)			形	坡度/(°)	雨强/(mm·min ⁻¹)		
		0.64	1.05	1.52			0.64	1.05	1.52
凹形坡	5	29.31	56.52	125.59	直线坡	5	16.64	29.85	85.00
	10	39.07	80.96	150.15		10	20.24	55.53	111.03
	15	53.67	104.69	185.25		15	34.37	75.08	143.46
凸形坡	5	25.35	50.38	112.53	内聚直坡	5	20.38	43.58	96.35
	10	35.62	75.64	141.32		10	25.67	70.47	138.28
	15	50.88	95.36	175.61		15	43.28	93.88	177.37

从图 4 可看出同雨强、同坡度条件下,凹形坡的侵蚀量最大,凸形坡的其次,再次是内聚直坡,直线

形坡的最小。内聚直坡在大雨强和大坡度表现出侵蚀量大于凸坡, 与观察到的此时内聚直坡细沟下切和侧蚀发育强烈, 此坡形可能在更大雨强和坡度情况下更易侵蚀, 在生产实践中应及时治理。侵蚀量随着坡度和雨强的增大而增大, 幂函数关系显著。根据实测数据对土壤侵蚀量与降雨强度和坡度的关系回归分析得出下面关系式:

凹形坡: $Y = 129.04X_1 + 4.41 - 90.44X_2$;
凸形坡: $Y = 120.97X_1 + 4.45 - 89.22X_2$;

内聚直坡: $Y = 122.77X_1 + 5.14 - 103.96X_2$;
直线形坡: $Y = 102.22X_1 + 4.05 - 86.38X_2$ 。
式中: Y ——侵蚀量(g); X_1 ——降雨强度(mm/min); X_2 ——坡度(°)。
依据各场降雨的总径流量和侵蚀量值, 绘制成散点图。可知总侵蚀量随着径流量的增加而增加, 体现了水大沙大的特点, 经计算表明径流量与侵蚀量的幂函数方程的回归效果较好。
 $Y = 0.3499x^{1.5964}, R^2 = 0.938$ 。

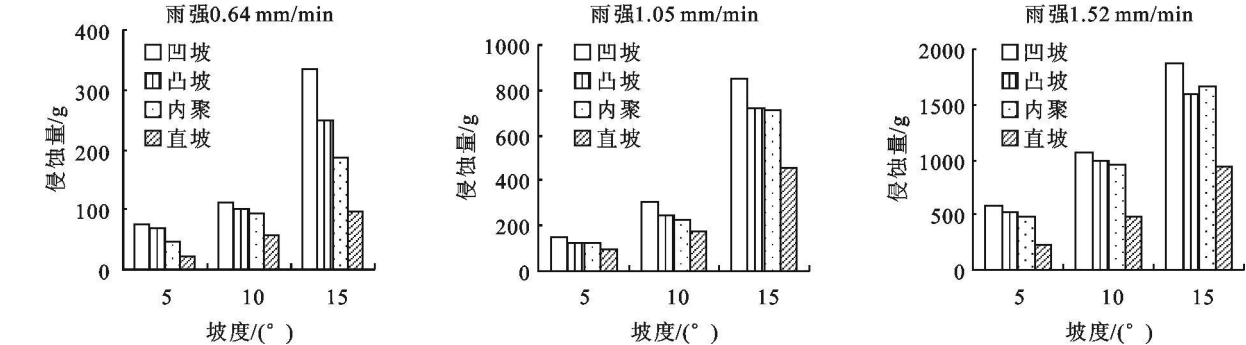


图 4 不同坡形在不同雨强和坡度时土壤侵蚀量

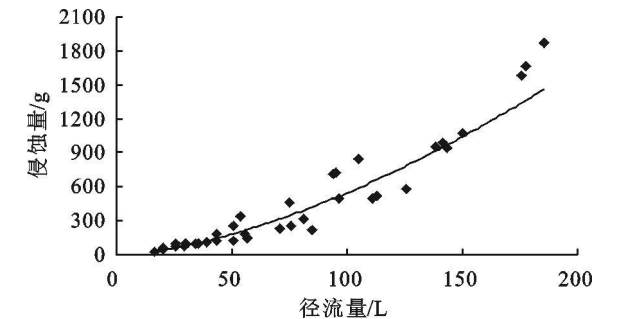


图 5 总侵蚀量与径流量回归分析

2.3 坡面侵蚀空间分异

4 种坡形的各场降雨, 在坡面的上部侵蚀较弱, 最上部 50 cm 内始终没有细沟的发育, 这主要由于这段坡面范围内汇水面积小, 水流强度不足以冲刷切割坡面。从总体上来看, 坡面侵蚀的剧烈段在坡面中下部, 并随雨强和坡度增大而逐渐上移, 水平方向上基本相近。而坡脚则侵蚀较弱, 甚至出现了泥沙的沉积现象。内聚直坡空间分异与凹坡和凸坡略有不同。但是仍然是坡面上部侵蚀程度较弱, 侵蚀

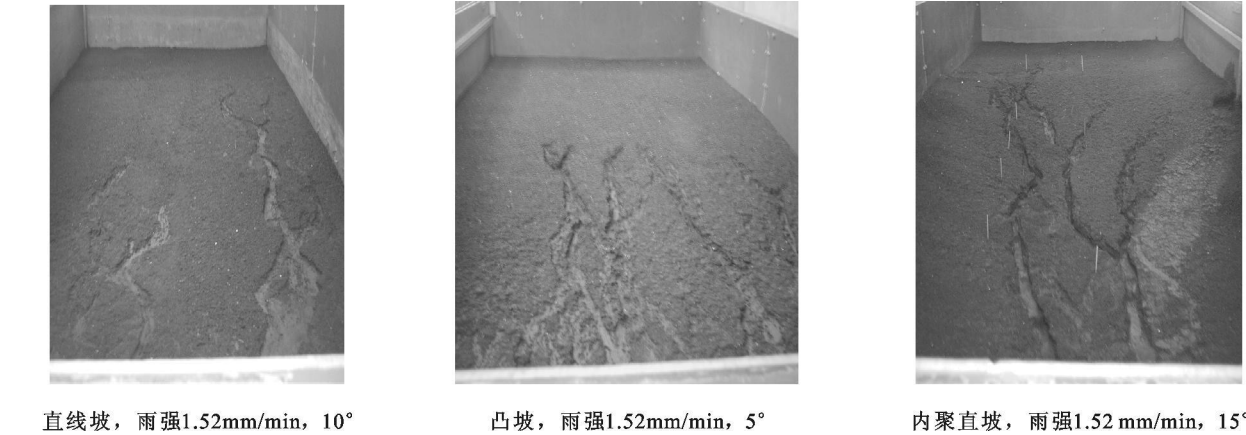


图 6 坡面侵蚀形态图

剧烈处在坡面中部地带, 坡面下部接近小区出口处侵蚀程度弱。水平方向上相差较大, 侵蚀剧烈处在水平方向弧线的最低点, 而两侧边缘侵蚀强度低。这是因为两侧边缘雨滴落到坡面形成径流后, 很快就汇集在坡面中间, 细沟的发育最快, 径流汇集在

沟内, 而水平方向上左右就很难再出现细沟。
降雨结束后量测 4 种坡形坡面细沟的条数、最大宽度和深度, 利用传统的测量坡面土壤侵蚀量的方法填土法、侵蚀沟体积量测法相结合, 粗略计算了
(下转第 243 页)

[2] 张甘霖, 朱永官, 傅伯杰. 城市土壤质量演变及其生态环境效应[J]. 生态学报, 2003, 23(3): 539– 546.

[3] 章家恩, 徐琪. 城市土壤的形成特征及其保护[J]. 土壤, 1997, 29(4): 189– 193.

[4] 张甘霖, 骆国保, 龚子同. 城市土壤特性与城市土壤研究的兴起和进展[A]. 冯光, 张昌全, 史学正, 等. 土地资源持续利用与技术[C]. 北京: 中国大地出版社, 1998. 33– 37.

[5] 卢瑛, 龚子同, 张甘霖. 南京城市土壤的特性及其分类的初步研究[J]. 土壤, 2001, 33(1): 47– 51.

[6] 刘廷良, 高松武次郎, 佐濑裕之. 日本城市土壤的重金属污染研究[J]. 环境科学研究, 1996, 9(2): 47– 51.

[7] 菲尔汗· 汉杰尔, 潘丽英, 等. 汽车废气中的铅对城市土壤污染状况调查[J]. 干旱环境监测, 2002, 16(3): 154– 161.

[8] Miguel D E, Jimenez D G M, Llamas J F, et al. The overlooked contribution of compost application to the trace element load in the urban soil of Madrid(Spain) [J]. The Science of the Total Environment, 1998, 215(1– 2): 113– 122.

[9] Paterson E, Sanka M, Clark L. Urban soils as pollutant sinks—a case study from Aberdeen, Scotland[J]. Applied Geochemistry, 1996, 11(1– 2): 129– 131.

[10] 黄勇, 郭庆荣, 任海, 等. 城市土壤重金属污染研究综述[J]. 热带地理, 2005, 25(1): 14– 18.

[11] 张贞, 魏朝富, 高明, 等. 土壤质量评价方法进展[J]. 土壤通报, 2006, 37(5): 999– 1005.

[12] 周广柱, 杨锋杰, 程建光, 等. 土壤环境质量综合评价方法探讨[J]. 山东科技大学学报(自然科学版), 2005, 24(4): 113– 118.

[13] McGratha D, Zhang C S, Cartona O T. Geostatistical analyses and hazard assessment on soil lead in Silvermines area, Ireland[J]. Environmental Pollution, 2004, 127: 239– 248.

[14] 石晓翠, 熊建新. 模糊数学模型在土壤重金属污染评价中的应用[J]. 土壤通报, 2006. 37(5): 999– 1005.

[15] 李德胜, 杨忠芳, 靳职斌. 太原盆地土壤微量元素的地球化学特征[J]. 地质与勘探, 2004, 40(3): 86– 89.

[16] 张乃明, 等. 太原市污灌区土壤重金属污染研究[J]. 农业环境保护, 1996, 15(1): 21– 23.

[17] 王应刚, 辛晓云, 郭翠花. 太原市土壤中汞污染及其成因研究[J]. 生态学杂志, 2003, 22(5): 40– 42.

[18] 刘先勇, 袁长迎, 段宝福, 等. SPSS 10. 0 统计分析软件与应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2002.

(上接第 239 页)

细沟侵蚀量。坡面水平方向上凹形坡和凸形坡的细沟条数和侵蚀面积大于内聚直坡和直线形坡, 在坡面上的水平分布是每隔一定距离出现一条细沟, 交替排列, 因为坡面细沟的产生是由于径流的集中造成的, 在坡面上径流形成股状水流需要一定的汇水面积。内聚直坡上细沟主要出现在水平方向上的凹面处, 边缘侵蚀程度弱, 这也是水流汇集的侵蚀结果。细沟的宽度和深度随雨强的变化没有明显的规律性, 多数情况下细沟的宽度和深度随雨强的增大而增大, 因为雨强越大, 坡面径流也越大, 侵蚀动能也就越大, 因此细沟发育就越好, 坡面侵蚀形态见图 6。产生细沟后侵蚀量将迅速增大, 最大占总侵蚀量的 91%。总之, 细沟在坡面上的发生特征是坡面径流集中趋势的反映, 坡形不但影响细沟侵蚀的分布状况, 也影响细沟侵蚀的程度。

3 结论与对策

(1) 产流量和含沙量都是凹形坡大于凸形坡, 其

次是内聚直坡, 直线形坡最小, 并且随着雨强和坡度的增大而增大。

(2) 总径流量和侵蚀量大体上是凹形坡> 凸形坡> 内聚直坡> 直线形坡, 随着雨强和坡度的增大而增大, 幂函数回归效果较好。

(3) 坡面的上部侵蚀较弱, 侵蚀的剧烈段在坡面中下部, 并随雨强和坡度增大而逐渐上移。细沟的宽度和深度随雨强的增大而增大, 产生细沟后侵蚀量将迅速增大, 最大占总侵蚀量的 91%。

根据以上结果应及时加强不同坡形的改造和治理, 减小降雨侵蚀和地面坡度, 最大限度的截断坡面汇流, 减少径流量, 防止细沟侵蚀的发生。

参考文献:

[1] 王兆印. 泥沙研究的发展趋势和新课题[J]. 地理学报, 1998, 53(3): 245– 253.

[2] 高玉山, 徐刚, 李月灵. GIS 在区域土壤侵蚀研究中的应用探讨[J]. 阜新师范学院学报, 2004, 21(1): 51– 53.