

上方来水来沙对细沟侵蚀产沙过程的影响

肖培青, 郑粉莉

(中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 利用双土槽系统径流小区(供沙土槽和试验土槽), 定量研究了不同上方来水含沙量和不同降雨强度下 15 坡面上方来水来沙对坡下方细沟侵蚀产沙过程的影响。结果表明, 坡上方来沙量不但被径流全部搬运, 且坡上方来水在坡下方细沟侵蚀槽引起另外的侵蚀产沙量 S 。坡面细沟侵蚀过程以侵蚀—搬运过程为主。上方来水对细沟侵蚀产沙的贡献受上方来水含沙量和降雨强度的影响。降雨强度的增加或上方来水含沙量的减少, 使 S 值的增加更为显著。

关键词: 上方来水来沙; 细沟侵蚀产沙; 双土槽

文献标识码: A

文章编号: 1000—288X(2001)01—0023—03

中图分类号: S157.1

Effect of Run-on Water and Sediment on Rill Erosion Process at Down-slope Section

XIAO Pei-qing, ZHEN Fen-li

(Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling District 712100, Shaanxi Province, PRC)

Abstract: A dual-box system (one is rill box and the other is feeder box) with 15 gradient and clay loess is used to quantify effects of runoff and sediment from up-slope on down-slope rill erosion and sediment under different sediment concentrations and rainfall intensities. The experiment results showed that the sediment from up-slope was completely transported, runoff from up-slope caused the additional sediment delivery at down-slope rill erosion channel. Sediment regime in rill erosion process was always detachment—transport. The additional sediment delivery caused by up-slope runoff increased with a decrease of sediment concentration in up-slope runoff or an increase of rainfall intensity.

Keywords: run-on water and sediment; rill erosion and sediment; dual-box

在坡面水蚀过程中, 侵蚀、沉积和搬运过程随时随地连续发生, 但受研究手段的限制, 定量研究坡面此类过程的问题至今没有得到很好地解决。研究表明, 黄土高原上方来水来沙对坡下方侵蚀产沙的贡献随上方来水含沙量的减少而增加^[1,2]。缓坡地(5%和10%)人工模拟降雨试验结果表明, 上方来水含沙量的减少可使坡下方的侵蚀过程由沉积—侵蚀—搬运演化为侵蚀—搬运过程^[3,4]。但上方来水来沙对细沟侵蚀过程影响的研究目前还未见报导。

1 试验设计与研究方法

1.1 试验设计

试验模型由位于坡面下部的试验土槽和位于坡面上部的供沙土槽组成, 2 个土槽的地面坡度皆为 15°。供沙土槽长 2 m, 宽 2 m, 试验土槽长 5 m, 宽 2 m。对于坡面下部的试验土槽, 用 PVC 板将其分割成 2

个 20 cm 宽的细沟侵蚀槽, 并人工建造细沟初期发育模型, 研究上方来水来沙对坡下方细沟侵蚀过程的影响。位于坡上方的供沙土槽和位于坡下方的试验土槽通过连接装置进行连接, 使供沙土槽的水沙输入到细沟侵蚀槽。连接装置由隔板、倒置的三角型集流槽、出水口和塑料软管组成。隔板为长 2 m, 高 30 cm 的铁皮插入土中, 隔板上开出与小区坡面平行的出水孔, 孔口焊接钢管连接塑料软管。倒置的三角型集流槽安装在隔板下方连接试验土槽和供沙土槽。在试验过程中, 当供沙土槽和试验土槽分开时, 供沙土槽的径流泥沙通过隔板上的出水孔连接的塑料软管输出, 不进入试验土槽, 可分别采集 2 个土槽的径流泥沙样。试验土槽和供沙土槽连接时, 供沙土槽的含沙水流经过集流槽消能后均匀流入细沟土槽, 模拟自然坡面坡上部来水来沙对坡下部侵蚀产沙过程的影响。试验过程中 2 个土槽可以很快地分开或连接而不需关

闭降雨设备。

试验用降雨设备为侧喷式的人工降雨设备。降雨高度为 16 m, 可以满足所有的雨滴达到终点速度。试验所用 3 种降雨强度为 50, 90, 130 mm/h, 土壤表面处理为翻耕裸露。在每一次试验过程中在保持径流量基本相同的条件下, 对供沙土槽通过 0% (裸露), 50%, 75% 和 100% (全覆盖) 覆盖(覆盖所用材料为塑料布) 形成不同的含沙水流, 研究上方含沙水流对坡下方细沟侵蚀产沙的影响(表 1)。

表 1 试验设计

试验处理	降雨强度/ (mm·h ⁻¹)	坡度/ (°)	表面条件	土壤含水量/ %	供沙土槽覆盖率/ %
1	50	15	翻耕裸露	11.18	0, 50, 75, 100
2	90	15	翻耕裸露	11.26	0, 50, 75, 100
3	130	15	翻耕裸露	12.30	0, 50, 75, 100

注: 试验重复次数为 4 次。

1.2 试验过程

试验用土为陕西省杨凌区接近 C 层的粘黄土母质, 填土时过 10 mm 筛。为了减少 PVC 板的边界影响, 将 PVC 硬质胶合剂刷到板上, 再抹上一层土。在装填土之前, 先在细沟侵蚀槽中铺填 15 cm 厚的天然沙, 并铺上透水纱布, 以保持试验土的透水状况接近天然坡面。填土时边填边压实, 进行称重填土 30 cm 深, 填土完成后试验用土含水量和干容重分别为 10% ~ 12% 和 1.18 ~ 1.21 g/cm³。试验前 1 d, 进行 30 mm/h 降雨到坡面出现产流为止, 以保证每次试验土

壤含水量基本一致和消除地面处理的差异性。

试验开始时, 2 个土槽分开, 采集每个土槽的初始产流量和径流量, 再同步采集每个土槽的 8 个径流样后, 将两个土槽连接, 每 1 min 采集试验土槽径流泥沙样 1 次, 采集 4 个径流样后, 再将 2 个土槽分开, 分别采集细沟侵蚀槽和供沙土槽径流泥沙样各 2 个, 用于对比 2 个土槽连接前后的侵蚀产沙变化。至此, 一个覆盖度的径流泥沙样采集完毕。然后, 将供沙土槽进行不同比例的覆盖, 重复上述步骤采集径流泥沙样。每个试验处理重复 4 次。降雨试验结束后, 量得每一个径流泥沙样的体积, 将径流泥沙样沉淀并倒掉清水, 用烘干法求得泥沙含量和侵蚀产沙量。

2 上方来水来沙与下方细沟侵蚀过程

不同降雨强度下, 细沟侵蚀槽接受供沙土槽后径流量(R_{fi}) 与其不接受供沙土槽的径流量(R_i) 和供沙土槽径流量(R_f) 之和($R_i + R_f$) 基本相等, 表明在试验过程中, 径流量维持平衡状态(表 2)。然而, 细沟侵蚀槽接受供沙土槽后的产沙量(S_{fi}) 总是大于两土槽分开时各自的产沙量之和($S_f + S_i$), 即 $S_{fi} > S_f + S_i$, 表明上方来沙不但被径流全部搬运, 且上方来水在细沟侵蚀槽引起了另外的侵蚀产沙量, 即净侵蚀产沙量 S (表 2)。此结果说明, 在试验条件下, 15 坡面上的细沟侵蚀过程以侵蚀—搬运过程为主。坡上部来水在坡下方引起的净侵蚀产沙量 S 值的大小受坡上方来水含沙量和降雨强度的影响。

表 2 各次试验的径流量、产沙量和上方来水引起下方细沟侵蚀槽的产沙量

雨强/ (mm·h ⁻¹)	供沙土槽				细沟侵蚀槽				
	覆盖度/ %	径流量/ (L·min ⁻¹)	含沙量/ (kg·m ⁻³)	产沙量/ (g·min ⁻¹)	无上方来水		有上方来水		
					径流量/ (L·min ⁻¹)	产沙量/ (g·min ⁻¹)	径流量/ (L·min ⁻¹)	产沙量/ (g·min ⁻¹)	上方来水引起的 净产沙量/%
50	0	1.56	7.2	11.2	0.33	3.8	1.96	43.3	28.2
	50	1.98	5.3	10.5	0.47	11.8	2.15	56.8	34.6
	75	1.39	3.2	4.5	0.51	7.6	1.93	122.6	110.5
	100	2.01	1.8	3.6	0.54	9.0	2.29	239.3	226.7
90	0	6.58	10.6	69.6	1.10	63.0	7.76	739.9	607.2
	50	6.24	8.9	55.7	0.90	11.0	6.92	1335.6	1268.9
	75	6.84	5.2	35.8	1.02	16.8	7.12	1359.7	1307.1
	100	6.11	3.5	21.1	1.04	35.2	7.45	1608.4	1552.1
130	0	9.58	12.5	120.1	1.39	184.2	9.44	2315.6	2011.3
	50	7.58	11.0	83.1	1.50	98.4	8.97	2537.1	2355.4
	75	8.25	8.2	67.5	1.59	200.9	9.67	3078.1	2809.8
	100	6.54	5.4	35.3	2.12	306.5	8.48	4131.4	3789.6

2.1 上方来水含沙量和径流量对净产沙量的影响

从表 2 可见, 一次试验过程中, 上方来水引起细沟侵蚀槽的净侵蚀产沙量 S 随上方来水含沙量的减少而增加。因为在一次试验过程中, 一定的水流条件

对应于一定的泥沙搬运能力, 当供沙土槽供沙量减少时, 水流必在细沟侵蚀槽引起另外的产沙量。因而随供沙土槽来水含沙量减少, 其引起细沟侵蚀槽的侵蚀产沙量在增加。这一点在一定程度上支持了 Ellison

的清水对土壤具有最大侵蚀分离能力的观点^[5]。上方来水引起细沟侵蚀槽的净侵蚀产沙量与水流含沙量的关系以指数方程回归模拟结果最好(表 3)。

表 3 上方来水引起的净侵蚀产沙量与上方来水含沙量关系

降雨强度	回归方程	R^2
50 mm/h	$S = 609.54 C_f^{-1.6002}$	0.9747
90 mm/h	$S = 3611 C_f^{-0.6373}$	0.7104
130 mm/h	$S = 1292 C_f^{-0.1249}$	0.9916

表 2 还表明在不同的降雨情况下, 上方来水引起细沟侵蚀槽的净侵蚀产沙量随上方来水径流量的增加而增加, 其相关方程为:

$$S = 22.731 R_f^{2.1903}, \quad r = 0.9169$$

基于上方来水引起坡下方净侵蚀产沙量随上方径流量增大而呈指数增大的事实, 采取层层拦蓄的水土保持措施对减少坡面土壤侵蚀有十分重要的作用。

2.2 降雨强度对细沟侵蚀产沙过程的影响

降雨强度对坡面细沟侵蚀产沙过程具有显著影响。细沟侵蚀槽不接受供沙土槽来水和接受供沙土槽来水的侵蚀产沙量(S_f 和 S_{f_i}) 皆随降雨强度的增加而增大。细沟侵蚀槽不接受供沙土槽来水时降雨强度对细沟侵蚀的影响较细沟侵蚀槽接受供沙土槽来水时小。降雨强度从 50 mm/h 增加到 90 和 130 mm/h, S_f 由 4~12 g/min 增加到 11~63 和 98~306 g/min, S_{f_i} 由 43~239 g/min 增加到 740~1 608 g/min 和 2 315~4 131 g/min。图 1 表明了上方来水对坡下方细沟侵蚀产沙量过程的影响。

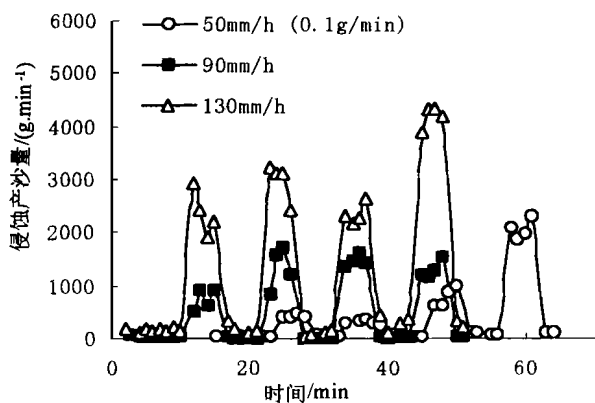


图 1 不同雨强下细沟侵蚀产沙变化过程

在 3 种降雨强度下, 当细沟土槽接受上方来水后, 侵蚀产沙量迅速增大; 而在无上方来水时, 细沟侵蚀产沙量迅速降低。降雨强度的增加, 也使坡上方来水引起坡下方的净侵蚀产沙量 S 值增加。当降雨强度由 50 mm/h 增加到 90 和 130 mm/h 时, S 值由 28~226 g/min 增加到 607~1 552 g/min 和 2 011~3 790 g/min。因此, 采取坡面径流就地入渗拦蓄的水

土保持措施是防止坡面土壤侵蚀的关键所在。

试验还表明, 整个侵蚀产沙过程为非平衡输沙, 即径流下泻过程的泥沙都被搬运下移。事实上, 对于坡度较陡的黄土坡面, 由于径流紊动性强度高和径流搬运能力大, 坡面很少发生沉积现象。这可由野外自然坡面发育的细沟看不到沿程淤积的事实证明。

2.3 上方来水来沙对细沟水流径流含沙量的影响

上方来水增加坡下方侵蚀产沙量是通过增加坡下方径流量及其增加径流的挟沙能力而实现, 其结果表现为增加水流含沙量。图 2 表明细沟侵蚀槽接受上方来水后, 细沟水流含沙量明显增大, 且随着降雨强度的增加和上方来水含沙量的减少而增大。当降雨强度为 50 mm/h 时, 上方来水含沙量由 7.2 减到 1.8 kg/m³ 时, 下方细沟侵蚀槽接受上方来水后的细沟水流含沙量由 26.91 kg/m³ 增到 114.63 kg/m³; 当降雨强度为 90 mm/h 时, 上方来水含沙量由 10.6 kg/m³ 减到 3.5 kg/m³ 时, 下方细沟侵蚀槽接受上方来水后的细沟水流含沙量由 137.15 增到 293.64 kg/m³; 当降雨强度为 130 mm/h 时, 上方来水含沙量由 12.54 kg/m³ 减到 5.4 kg/m³, 下方细沟侵蚀槽接受上方来水后的细沟水流含沙量由 274.46 kg/m³ 增到 547.49 kg/m³。细沟侵蚀槽接受上方来水与不接受上方来水相比, 在 50 mm/h 降雨强度下, 平均细沟水流含沙量增加 2.94 倍; 在 90 mm/h 降雨强度下, 平均细沟水流含沙量增加 9.81 倍; 在 130 mm/h 降雨强度下, 平均细沟水流含沙量增加 3.04 倍。据报导^[6], 当上方来水含沙大于 50 kg/m³, 即上方产沙量为 208 g/min, 在有细沟和细沟间侵蚀的 20 坡面上有沉积发生。本次试验的上方来水含沙量较小, 没有达到 50 kg/m³, 因而没有沉积发生。如果上方来水含沙量达到某个临界值时, 且超过一定细沟水流的挟沙能力, 坡面将会有沉积发生。这个问题尚需进一步试验研究解决。

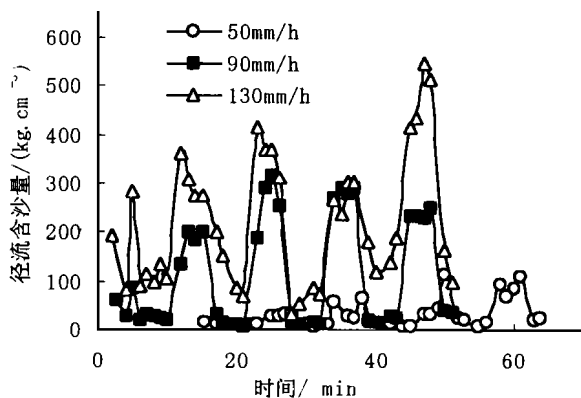


图 2 不同雨强下细沟径流含沙量变化过程

(下转第 38 页)

最佳措施之一。(3) 我国广大山区历史上曾是林草茂盛地区,如今在人口较少地区仍保存一定面积的次生林,具有植树造林的自然条件,若减少乔木比例,建设疏林草地,不仅缩短了树木成材时间,降低了造林成本,同时其带动畜牧经济增长作用将是巨大经济贡献。对于经济林,这里是多种经济林木的适生区,若经济林建设能与农牧业紧密结合,发展潜力仍然巨大。

3.2 林牧结合与林粮结合

美国著名生态学家 Dr. Angus. A. Sanson 指出,“任何人不能把农地、林地、草地分割开来,否则在土地利用规划中就会发生错误。若单纯地利用土地,常会造成悲剧。所以人们只有不断地寻找利用土地的最佳方案来造福人类^[1]”。

由此可见,过分强调某一技术措施的功能不仅难以实现经济目标,就是生态功能也会变得极其脆弱。把山区林业建设与粮食生产、畜牧业发展有机结合起来,是林业建设的重要方向和根本出路。(1) 应通过林、粮、草复式配置,实现山地农田林网化、山区草地疏林化、森林利用畜牧化、果树开发多元化、刈割草场轮作化、粮果生产梯田化,利用农林牧各产业之间的互通互融,提高山区生态经济系统的综合能力;(2) 通过多林种配置,把“成林不成材,成材不成林”的乡

土树种巧妙地点缀在人工林中,开展食用菌森林野生栽培,把灌草作为人工林建设的主要生物措施,加快人工林建设步伐,全面提高人工林综合经济能力和综合防护能力;(3) 就生态学研究成果来看,不同生态系统的结合地带常常结构复杂,出现不同生境的物种共生,种群密度变化大,某些物种特别活跃,生产力亦相对较高的边缘效应^[5]。山区森林建设与农、果、牧地镶嵌配置,地埂开发及农田林网化,都是提高人工造林综合效益的有效措施。人工林相对集中与分隔的最佳量化比例是值得研究的重大课题。同样,边缘地带也是生态敏感区,开发与保护的科学与否,常常会带来截然相反的效果。

[参 考 文 献]

- [1] 曹世雄. 草地农业生态系统[J]. 生态经济, 1990(2): 27—29.
- [2] 曹世雄. 黄土高原人为水土流失历史根源与防治对策[J]. 农业考古, 1994(3): 12—15.
- [3] 曹世雄. 山区农业的历史与未来[J]. 农业考古, 1992(1): 1—5.
- [4] 丁举贵, 等. 农业生态经济学[M]. 郑州: 河南人民出版社, 1990.
- [5] 陈芳洲, 等. 山区开发与生态经济[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 1994.

(上接第 25 页)

3 结 论

利用双土槽系统径流小区, 定量研究了不同上方来水含沙量、不同降雨强度下陡坡地的细沟侵蚀—搬运过程及其坡上方来水对坡下部侵蚀产沙量的影响。

(1) 在不同的降雨强度下, 上方来沙量不仅全被径流搬运, 且上方来水在坡下方引起了另外的侵蚀产沙量。在试验条件下, 坡面细沟侵蚀过程以侵蚀—搬运占主导地位。

(2) 在上方来水量相同时, 上方来水引起坡下方的净细沟侵蚀产沙量 S 随上方来水含沙量的减少而增加。 S 值随降雨强度的增加而增加, 且与上方来水径流量呈正相关。

(3) 上方来水引起细沟水流的含沙量迅速增大, 同无上方来水相比, 有上方来水时细沟水流含沙量增加 2.94 ~ 9.81 倍, 其增加幅度取决于降雨强度和上方水流含沙量。

(4) 基于上方来水引起坡下方净侵蚀产沙量随上方径流量增大而呈指数增大的事实, 采取层层拦蓄的措施对减少坡面土壤侵蚀有十分重要的作用。

上方来水来沙在坡面细沟侵蚀中有重要作用。本试验仅仅局限在一定条件下, 对此问题进行初步探讨。有关上方来水来沙对细沟水流水力学参数的影响研究及其高含沙水流对坡面细沟侵蚀—搬运过程的影响, 尚待进一步研究。

[参 考 文 献]

- [1] 陈浩. 降雨特征和上坡来水对产沙的综合影响[J]. 水土保持学报, 1992, 6(2): 17—23.
- [2] 郑粉莉, 康绍忠. 黄土坡面不同侵蚀带侵蚀产沙关系及其机理[J]. 地理学报, 1998, 53(5): 422—428.
- [3] Huang C, Well L K, Norton L D. Sediment transport capacity and erosion processes: concept and reality[J]. Earth Surface Processes Landforms. 1999, 24: 503—516.
- [4] Fen-ji, Zheng, Chi-hua Huang, Norton L D. Vertical hydraulic gradient and run-on water and sediment effects on erosion processes and sediment regimes[J]. Soil Sci. Soc. Am. J. 2000, 64(1): 4—10.
- [5] Ellison W D. Soil erosion studies - Part I[J]. Agric. Eng. 1947, 28: 145—146.
- [6] 郑粉莉, 高学田. 黄土坡面土壤侵蚀过程与模拟[M]. 西安: 陕西人民出版社, 2000: 95—104.