

黄土坡面汇流汇沙对浅沟侵蚀影响的试验研究

武 敏^{1,2}, 郑粉莉^{1,2}, 黄 斌³

- (1. 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨陵 712100;
2. 中国科学院水利部水土保持研究所黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨陵 712100;
3. 甘肃省庆阳市气象局, 甘肃 庆阳 745000)

摘 要: 采用供沙土槽与试验土槽双土槽径流小区的人工模拟降雨试验, 研究了不同含沙水流、不同降雨条件下坡面汇水汇沙对浅沟侵蚀过程的影响。结果表明, 坡面浅沟侵蚀过程以侵蚀-搬运过程为主, 当雨强为 64 mm/h 和 116 mm/h 时, 坡面汇水使坡下方浅沟侵蚀产沙量分别增大 26. 2% ~ 82. 5% 和 23. 5% ~ 58. 7%, 坡面汇水引起坡下方的净侵蚀产沙量随坡面汇水含沙量的减小和降雨强度的增加而增大。
关键词: 双土槽径流小区; 浅沟侵蚀; 坡面汇水汇沙
中图分类号: S 157 文献标识码: A 文章编号: 1005-3409(2004) 04-0074-03

Experimental Study on Upslope Runoff Effects on Ephemeral Gully Erosion Processes at Loessial Hillslope

WU Min^{1,2}, ZHENG Fen-li¹, HUANG Bin³

- (1. Northwest Sci-tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China;
2. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Science and Ministry of Water Resource, Yangling, Shaanxi 712100, China;
3. Qingyang Meteorological Bureau, Qingyang, Gansu 745000, China)

Abstract: A dual-box system(one was the test box located at the downslope and the other was the feeder box located at the upslope)was used to quantify effect of up-slope runoff and sediment on down-slope ephemeral gully erosion process under different sediment concentrations from up-slope runoff and rainfall intensities. The results showed erosion-transport process with ephemeral gully slope was dominated. The sediment delivery caused by up-slope runoff increased by 26. 2% ~ 82. 5% and 23. 5% ~ 58. 7% when rainfall increased from 64 mm/h to 116 mm/h. The sediment delivery caused by up-slope runoff increased with a decrease of sediment concentration and an increase of rainfall intensity.
Key words: the dual-box runoff system; ephemeral gully erosion; runoff and sediment from up-slope

浅沟侵蚀是坡面土壤侵蚀的一种重要侵蚀方式, 其发生发展在坡面土壤侵蚀中占有重要地位。在我国黄土高原, 浅沟侵蚀量占坡面总侵蚀量的 35% ~ 70%^[1]; 在美国浅沟侵蚀量占 17% ~ 73%^[2]。由于浅沟侵蚀的重要性, 使浅沟侵蚀研究给予了较多的关注, 并在浅沟侵蚀量、浅沟发生的临界坡长与坡度及其影响因素、集水面积、浅沟横断面形态及其定量评价等方面取得了重要进展^[2~6], 为浅沟侵蚀防治提供了重要科学依据。但有关浅沟侵蚀过程定量描述、坡面汇流汇沙对浅沟侵蚀过程的影响研究还相对薄弱。本研究通过在黄土高原土壤侵蚀和旱地农业国家重点实验室人工降雨大厅建立供沙土槽和试验土槽的双土槽系统径流小区, 研究坡面汇流汇沙对浅沟侵蚀过程的影响及其机理, 以期对浅沟侵蚀过程定量化研究和坡面土壤侵

蚀预报模型的建立提供科学依据。

1 试验设计与研究方法

1. 1 试验设计

试验模型(双土槽径流小区)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, 试验土槽长 6 m, 供沙土槽长 2 m, 两个土槽的宽均为 2 m, 地面坡度皆均为 15°; 土槽填土深度 0. 5 m, 两个土槽通过连接装置进行连接, 连接装置由隔板, 倒置的三角型集流槽组成。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供沙土槽和试验土槽(图 1)。在试验过程中, 当试验土槽和供沙土槽分开时, 供沙土槽

① 收稿日期: 2004-07-10
基金项目: 国家自然科学基金重点项目(40335050); 中国科学院知识创新重要方向项目(KZCX3-SW-422)
作者简介: 武敏(1977-), 男(汉族), 山西大同人, 硕士研究生, 研究方向为土壤侵蚀过程与预报。

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, 可分别采集两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通过出水孔流入集流槽消能后均匀铺开流到试验土槽, 模拟自然坡面中坡上部汇水汇沙对坡下部浅沟侵蚀产沙的影响。试验过程中两个土槽通过软管可以很快地分开和连接而不需关闭降雨设备。

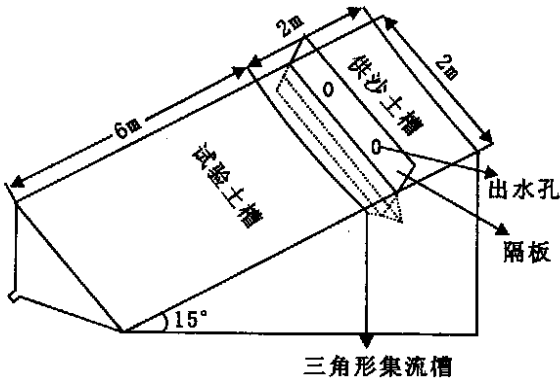


图 1 模型试验示意图

试验所用降雨设备为侧喷式人工降雨设备^[7], 降雨高度为 16 m, 可以满足所有雨滴达到终点速度。试验所用两种降雨强度为 64 mm/h 和 116 mm/h。为保证供沙土槽在每一次试验中保持径流量基本相同, 用供水装置分别供 7. 8 和 5 L/min 的流量, 通过用塑料布覆盖不同比例供沙土槽表面, 即供沙土槽覆盖 100% (全覆盖), 75%, 50%, 25%, 0% (裸露) 形成不同浓度的含沙水流, 研究上方不同含沙水流对坡面浅沟侵蚀产沙过程的影响, 试验设计见表 1。

表 1 试验设计

试验处理	雨强 $/(mm \cdot h^{-1})$	供水流量 $/(L \cdot min^{-1})$	试验条件	供沙土槽覆盖/%
1	64	7. 8	地面: 翻耕裸露; 坡度: 15°	100, 75, 50, 25, 0
2	116	5	坡长: 6m; 人工建造浅沟模型	100, 75, 50, 25, 0

1. 2 试验过程

试验用土为杨陵黏黄土, 在装土之前, 先在供沙土槽和试验槽土槽底层填 10 cm 细沙, 以保证良好的透水性, 填土

时边填边压实, 完成 50 cm 厚的填土。供沙土槽为平整坡面, 试验土槽从挡板处起, 由平整逐渐过渡到出水口时, 人工制造浅沟初期发育雏型, 横剖面为凹形, 浅沟沟底与两侧的高差为 10 cm。土槽准备好后, 对试验土槽进行前期降雨, 以保证相对均匀的下垫面条件。

试验开始时, 两个土槽为分开状态, 此时供沙土槽覆盖度为 100%, 采集每个土槽的初始产流量和径流量, 在同步采集每个土槽的 8 个径流样后, 将两个土槽连接, 每分钟采集试验土槽径流泥沙样一次, 采集 4 个径流样后, 再将两个土槽分开, 分别采集试验土槽和供沙土槽径流泥沙样各两个, 用于对比两个土槽连接前后的侵蚀产沙变化。至此, 一个覆盖度的侵蚀泥沙样采集完毕。然后, 改变供沙土槽覆盖度, 使覆盖度分别达到 75%; 50%; 25%; 0%。重复上述步骤采集泥沙样。降雨试验结束后, 将径流泥沙样沉淀并倒掉清水后, 放在 105 ° 的烘箱中烘干, 用烘干泥沙重计算含沙量和侵蚀产沙量。

当试验浅沟侵蚀槽和供沙土槽分开时, 每个土槽平均产流量和平均产沙量的计算分别取两个土槽连接前各自的 4 个样(8 个样时取后 4 个) 和连接后各自的 2 个样的平均值。当两个土槽连接时, 其产流量和产沙量的计算为 4 个样的平均值。两个土槽分开时, 同一试验处理供沙土槽和试验浅沟土槽的侵蚀产沙量分别为 S_f 和 S_t , 当两个土槽连接时浅沟土槽接受上方汇水时的侵蚀产沙量为 S_{ft} 。

2 试验结果与分析

在不同降雨强度下浅沟侵蚀槽接受供沙土槽后径流量 (R_{ft}) 与其不接受供沙土槽的径流量 (R_t) 和供沙土槽径流量 (R_f) 之和($R_t + R_f$) 基本相等, 表明在试验过程中, 径流量维持平衡状态。但是, 浅沟侵蚀槽接受供沙土槽后的产沙量 (S_{ft}) 总是大于两土槽分开时各自产沙量之和($S_f + S_t$), 即 $S_{ft} > S_f + S_t$, 表明上方汇沙不但被径流全部搬运, 且上方汇水在浅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° 坡面上的浅沟侵蚀过程以侵蚀—搬运过程为主。坡上部汇水在坡下方引起的净侵蚀产沙量 S 值的大小受坡上方汇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、上方汇水引起的净侵蚀产沙量

供沙土槽					试验土槽				上方汇水引起的净侵蚀产沙量 $S(S_{f1}-S_{f2}-S_{f3})/(g \cdot min^{-1})$
雨强 $/(mm \cdot h^{-1})$	覆盖度/%	径流量 $/(L \cdot min^{-1})$	含沙量 $/(kg \cdot m^{-3})$	产沙量 $/(g \cdot min^{-1})$	分(无上方汇水)		连(有上方汇水)		
					径流量 $/(L \cdot min^{-1})$	产沙量 $/(g \cdot min^{-1})$	径流量 $/(L \cdot min^{-1})$	产沙量 $/(g \cdot min^{-1})$	
64	100	10.7	0.0	0.0	13.5	859.9	29.6	4211.1	3351.1
	75	6.0	29.9	182.3	20.5	1462.5	28.4	2755.3	1110.6
	50	8.4	62.6	537.4	17.1	1283.5	28.2	3987.9	2167.1
	25	13.0	115.2	1424.2	14.0	858.3	28.8	5263.5	2981.0
	0	13.5	116.6	1571.5	11.8	243.2	20.4	2522.1	707.4
116	100	7.5	0.0	0.0	28.2	1720.6	38.0	4182.7	2462.1
	75	11.1	17.2	198.7	26.4	2534.7	41.4	6166.0	3432.5
	50	13.1	70.7	944.1	22.1	2507.7	38.9	4957.6	1505.8
	25	14.2	164.2	2493.6	22.2	1914.4	39.4	5746.3	1338.2
	0	15.3	185.6	2932.2	27.3	5933.0	46.6	10697.8	2498.9

2. 1 上方汇水汇沙的侵蚀产沙作用

在降雨过程中, 上方汇水汇沙是上下不同地貌部位之间

水流能量传递的媒介, 不仅影响坡下方的入渗、产流能力, 同时会影响到坡面的径流挟沙能力和侵蚀产沙量。描述上方汇水在自然坡面中侵蚀作用的重要指标是它的净侵蚀产沙量 S , 它是指两个土槽连接时试验土槽的侵蚀产沙量 S_{fi} 与两个土槽分开时试验土槽侵蚀产沙量 S_i 与供沙土槽的侵蚀产沙量 S_f 之和的差, 可用公式表示为: $S = S_{fi} - S_f - S_i$ 。

试验资料表明 (表 3), 当降雨强度为 64 mm/h 时, 试验土槽接受上方汇水后引起的净侵蚀产沙量 S 占试验土槽全部产沙量 S_{fi} 的 28.0% ~ 79.6%; 试验土槽接受上方汇水后, 翻耕裸露处理时试验土槽接受上方汇水时的侵蚀产沙量 S_{fi} 是无上方汇水时侵蚀产沙量 S_i 的 1.9 ~ 10.4 倍。当降雨强度为 116 mm/h 时, 试验土槽接受上方汇水后引起的净侵蚀产沙量 S 占试验土槽全部产沙量 S_{fi} 的 23.3% ~ 58.9%; 试验土槽接受上方汇水后, 翻耕裸露处理时试验土槽接受上方汇水时的侵蚀产沙量 S_{fi} 是无上方汇水时侵蚀产沙量 S_i 的 1.8 ~ 3.0 倍。上方含沙水流的汇入导致坡下方含沙水流侵蚀和搬运能力增强, 上方汇水使试验土槽的净侵蚀产沙量 S 占坡面侵蚀产沙量 S_{fi} 达 80% 左右。由以上分析可知, 上方汇水汇沙在整个坡面侵蚀产沙过程中起着较大的作用, 因而实施坡面水土保持措施, 控制坡面径流使其就地入渗, 是防止坡面土壤侵蚀的关键所在。

表 3 有、无上方汇水时试验土槽侵蚀产沙量比较							
雨强 (mm·h ⁻¹)	覆盖度 /%	S_f /(g·min ⁻¹)	S_i /(g·min ⁻¹)	S_{fi} /(g·min ⁻¹)	S_{fi}/S_i	S /(g·min ⁻¹)	S/S_{fi} /%
64	100	0.0	859.9	4211.1	4.9	3351.1	79.6
	75	182.3	1462.5	2755.3	1.9	1110.6	40.3
	50	537.4	1283.5	3987.9	3.1	2167.1	54.3
	25	1424.2	858.3	5263.5	6.1	2981.0	56.6
	0	1571.5	243.2	2522.1	10.4	707.4	28.0
116	100	0.0	1720.6	4182.7	2.4	2462.1	58.9
	75	198.7	2534.7	6166.0	2.4	3432.5	55.7
	50	944.1	2507.7	4957.6	2.0	1505.8	30.4
	25	2493.6	1914.4	5746.3	3.0	1338.2	23.3
	0	2932.2	5933.0	10697.8	1.8	2498.9	23.4

2.2 降雨强度对浅沟侵蚀产沙过程的影响

图 2 表示了不同降雨强度下上方汇水汇沙对浅沟侵蚀搬运过程的影响。当坡面接受上方汇水后, 侵蚀产沙量迅速增大; 当无上方汇水后, 侵蚀产沙量迅速减小。降雨强度的增加, 也使坡上方汇水引起坡下方的净侵蚀产沙量增加。

从图 2 可以看出, 降雨强度对坡面浅沟侵蚀产沙过程具有显著影响, 浅沟侵蚀槽不接受供沙土槽汇水和接受供沙土槽汇水的侵蚀产沙量 (S_i 和 S_{fi}) 皆随降雨强度的增加而增大。雨强为 116 mm/h 时的侵蚀产沙量明显高于雨强为 64 mm/h, 雨强为 116 mm/h 时, 在 68 min 时出现峰值 13 479 g/min, 侵蚀量最小值为 1 043 g/min。雨强为 64 mm/h 时, 55 min 时出现最大产沙量 6 948.9 g/min, 侵蚀量最小值只有 75 g/min。116 mm/h 雨强的产流开始时间为 45 s, 而 64 mm/h 雨强的产流开始时间为 1 min 17 s。浅沟侵蚀槽不接受供沙土槽汇水时降雨强度对浅沟侵蚀的影响较浅沟侵蚀槽接受供沙土槽汇水时小。图 2 也表明了上方汇水对坡下方浅沟侵蚀产沙量过程的影响。在两种降雨强度下, 当浅沟土槽接受上方汇水后, 侵蚀产沙量迅速增大 (峰值); 而在无上方汇水时, 浅沟侵蚀产沙量迅速降低 (谷值)。降雨强度的增

加, 也使坡上方汇水引起坡下方的净侵蚀产沙量 S 值增加。当降雨强度由 64 mm/h 增加到 116 mm/h 时, S 值由 707.4 ~ 3 351.1 g/min 增加到 1 338.3 ~ 3 432.5 g/min。坡上方单位来水量引起的侵蚀产沙量由 52.4 ~ 313.2 g/L 增加到 94.1 ~ 328.7 g/L。

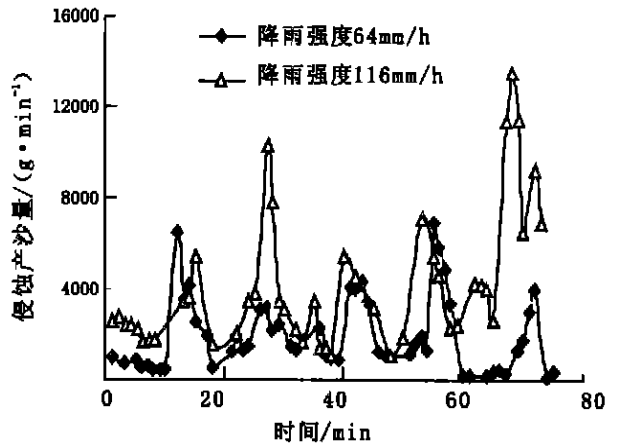


图 2 侵蚀产沙量随时间变化

上方汇水对坡下方浅沟侵蚀试验还表明, 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。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。

2.3 上方汇水汇沙对浅沟水流径流含沙量的影响

上方汇水通过增加坡下方径流量及其增加径流的挟沙能力来实现增加坡下方侵蚀产沙量的, 其结果表现为增加水流含沙量。图 3 表明, 试验土槽接受上方汇水后, 径流含沙量明显增大, 且随着降雨强度的增加或上方汇水含沙量的减少而增大。在降雨强度为 64 mm/h 情况下, 当上方汇水含沙量由 116.6 减少到 29.9 kg/m³ 时, 试验土槽接受上方汇水汇沙后, 坡下方径流含沙量由 98.0 增加到 147.1 kg/m³。在降雨强度为 116 mm/h 情况下, 上方汇水含沙量由 185.6 kg/m³ 减少到 17.2 kg/m³ 时, 试验土槽接受上方汇水汇沙, 径流含沙量由 78.9 kg/m³ 增加到 226.7 kg/m³。

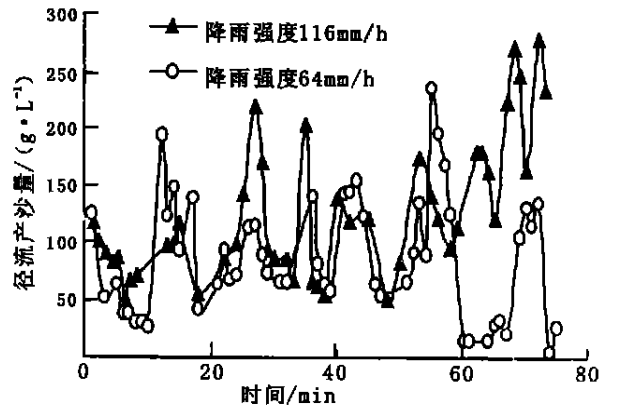


图 3 坡面径流量含沙量变化过程

3 结 论

利用双土槽系统径流小区, 定量研究了不同上方汇水含 (下转第 90 页)

- (1) 降雨量和降雨强度一致的情况下, 植被覆盖度对小区的径流和含沙量具有明显的影响; 覆盖度增加 10%, 其径流量大约减少 13% ~ 15%, 含沙量减少 14% ~ 15%。

(2) 坡度是影响坡地土壤侵蚀的重要地形因素之一。但小区退耕后, 植被覆盖度有很大的差别, 造成全年径流量和有机碳流失量和坡度之间的规律并不明显。
- (3) 土壤有机碳流失主要以泥沙为载体被带走; 随径流被带走的只是很少的一部分。土壤侵蚀造成了有机碳在泥沙中的富集, 且富集比大于 1。

(4) 泥沙中有机碳含量与侵蚀强度呈递减的对数关系; 而土壤有机碳流失程度与侵蚀强度呈明显的线性关系, 相关系数达到了 0. 989。

参考文献:

[1] 潘根兴, 李恋卿, 张旭辉. 土壤有机碳库与全球变化研究的若干前沿问题——兼开展中国水稻土有机碳固定研究的建议[J]. 南京农业大学学报, 2002, 25(3) : 100– 109.

[2] Liu S, Bliss N, Sundquist E, et al. Modeling carbon dynamics in vegetation and soil under the impact of soil erosion and deposition[J]. Global Biogeochem. Cycles, 2003, 17(2): 1074– 1078.

[3] Lal, R. Soil erosion and the global carbon budget[J]. Environment International, 2003, 29: 437– 450.

[4] U NEP. World Atlas of Desertification[M]. Nairobi, Kenya: Edward Arnald Seven Oaks, U NEP, 1992,

[5] Lal R. Soil erosion impact on agronomic productivity and environment quality[J]. Crit Rev Plant Sci. , 1998, 17: 319– 464.

[6] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1978.

[7] Dillaha T A. Vegetative filter strips for agricultural non-point-source pollution control [J]. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, 1989, 32: 513– 519.

[8] Chaubey I. Errectiveness of VFS in controlling losses of surface-applied poultry litters constituents[J]. Tran. Of the ASAE, 1985, 38(6): 1687– 1692.

[9] 唐克丽, 张仲子, 孔晓玲, 等. 黄土高原水土流失与土壤退化研究初报[J]. 环境科学 1984, 5(6) : 52– 57.

[10] 张兴昌, 刘国彬, 付会芳. 不同植被覆盖度对流域氮素径流流失的影响[J]. 环境科学, 2000, 21(6) : 16– 19.

[11] 刘秉正, 李光录, 吴发启, 等. 黄土高原南部土壤养分流失规律[J]. 水土保持学报, 1995, 9(2): 77– 86.

[12] 李光录, 赵晓光, 吴发启, 等. 水土流失对土壤养分的影响研究[J]. 西北林学院学报, 1995, 10(增) : 28– 33.

[13] Palis R G, Okwach G, Rose C W, et al. Soil erosion processes and nutrient loss: 1. The interpretation of enrichment ratio and nitrogen loss in runoff sediment[J]. Aust. J. Soil Rec. , 1990, 28: 623– 639.

(上接第 76 页)

沙量、不同降雨强度下陡坡地的浅沟侵蚀—搬运过程及其坡上方汇水对坡下部侵蚀产沙量的影响。

(1) 上方汇水汇沙对坡下方侵蚀—沉积—搬运过程产生重要影响, 其影响程度受上方汇水径流量及其含沙量, 降雨强度和下垫面条件的制约。由于本试验研究的是在疏松试验条件下, 经过研究发现, 坡面浅沟侵蚀过程以侵蚀—搬运占主导地位。

(2) 在降雨过程中, 上方汇水汇沙是坡上下各部位之间能量传递的媒介, 不仅对坡下方的入渗、产流过程产生影响, 而且也能影响坡面的径流挟沙能力。衡量上方汇水汇沙对坡下方侵蚀产沙量影响的指标为上方汇水汇沙引起坡下方净

参考文献:

[1] 唐克丽, 郑世清, 席道勤, 等. 杏子河流域坡耕地的水土流失及其防治[J]. 水土保持通报, 1983, 3(5) : 43– 48.

[2] Zheng Fenli, Huang Chi-hua. Gully erosion[A]. In: Lal Rattan edited. Encyclopedia of soil science[M]. New York: Marcel Dekker, Inc, Basel, 2002. 630– 634.

[3] 郑粉莉, 高学田. 上方来水来沙对浅沟侵蚀带侵蚀过程[A]. 黄土坡面土壤侵蚀过程与模拟[M]. 西安: 陕西人民出版社, 2000.

[4] 张科利, 唐克丽. 浅沟发育与陡坡开垦历史的研究[J]. 水土保持学报, 1992, 6(2) : 59– 62.

[5] 张科利, 唐克丽, 王斌科. 黄土高原坡面浅沟侵蚀特征值的研究[J]. 水土保持学报. 1991, 5(2): 8– 13 .

[6] Woodward D E. Method to predict cropland ephemeral gully erosion. Special Issue: Soil Erosion Modeling at the Catchments scale[J]. Catena, 1999, 37(3– 4), 393– 399.

[7] 陈文亮. 组合侧喷式野外人工模拟降雨装置[J]. 水土保持通报, 1984, 4(5): 36– 41.

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

(3) 上方汇水增加坡下方侵蚀产沙的原因主要是上方汇水汇沙使坡下方径流量和流速增大, 从而导致坡面侵蚀能力加剧。大的径流量具有较强的挟沙能力, 上方汇水的增加, 必然使下方产生较多的泥沙。在浅沟沟槽内, 水流速度增大, 有利于浅沟沟壁被侵蚀, 随水流被搬运。

(4) 通过分析不同含沙水流对坡面侵蚀产沙的影响可知, 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。