

黄土区浅沟侵蚀影响因素对其侵蚀速率影响的模拟试验研究

龚家国¹, 庞金城², 贾仰文¹, 王文龙³, 周祖昊¹, 彭辉¹

(1. 中国水利水电科学研究院 水资源研究所, 北京 100038; 2. 陕西省渭河流域管理局, 西安 710018;

3. 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 杨凌 712100)

摘要:浅沟侵蚀是黄土高原丘陵沟壑区的主要侵蚀类型之一。利用室内模拟降雨与放水相结合的研究方法,对雨强、上游汇水面积、坡度和耕作等因素对浅沟侵蚀的影响进行了初步研究,结果表明:浅沟侵蚀发生的速率与坡度、雨强和汇水面积均呈正相关关系。耕作通过改变表层土壤结构,改变了浅沟侵蚀随雨强、坡度和上游汇水面积与侵蚀速率的响应关系。且在较小坡度坡面上,耕作显著减少由于雨强变化引起的侵蚀变化,但在大坡度和大雨强条件下,耕作对雨强引起的侵蚀变化有加强作用。

关键词:黄土; 浅沟侵蚀; 影响因素; 雨强; 坡度; 上游汇水面积; 耕作

中图分类号:S157.1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2011)01-0007-05

Experimental Study on Influencing Factors of Ephemeral Gully Erosion on Losses Slope

GONG Jia-guo¹, PANG Jin-cheng², JIA Yang-wen¹, WANG Wen-long³, ZHOU Zu-hao¹, PENG Hui¹

(1. Department of Water Resources, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing, 100038, China; 2. Administration of Weihe River in Shaanxi Province, Xi'an 710018, China; 3. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, CAS and MWR, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Ephemeral gully erosion is an important erosion type in hilly area of Loess Plateau. The influence of rainfall intensity, area of upper catchment, gradient and tillage to ephemeral gully was studied preliminarily by simulating experiments. Main conclusions as follows: there was positive correlation between ephemeral gully erosion velocity and slope gradient, rainfall intensity, upper catchment area; Tillage changed the response relationship between rainfall intensity, slope gradient, upper catchment area and erosion velocity by changing the surface soil structure. Erosion velocity showed accelerating trend from small slope and small catchment area to steep slope and large catchment area. On lesser gradient slope, tillage reduced the erosion changes invited by rainfall intensity significantly, but on bigger gradient slope, tillage increased erosion velocity under bigger rainfall intensity. This study can provide with theoretical support for understanding characteristic of ephemeral gully erosion deeply, developing the mechanism.

Key words: Loess; ephemeral gully erosion; influence factors; rainfall intensity; slope gradient; upper catchment area; tillage

浅沟侵蚀在黄土高原丘陵沟壑区普遍存在,一般发生在距分水岭 20~60 m 以下至切沟侵蚀带之间的坡面上,是细沟到切沟侵蚀的中间过渡侵蚀类型^[1-4],既是上游水沙输移的重要通道,又是主要的侵蚀产沙区,其分布面积可占到沟间地的 70% 左右,侵蚀量占坡面侵蚀量的 35%~70%^[5-7]。同时浅沟使

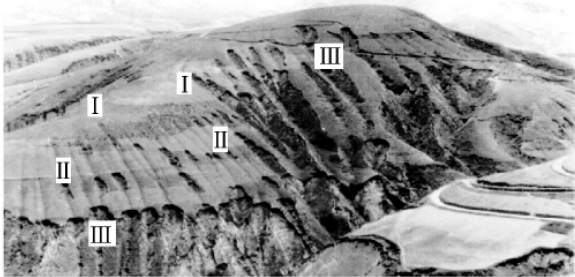
坡地的侵蚀面积增大,浅沟集水区变大,坡面水流的汇流速度加快,使水流更易集中,从而使水流侵蚀动能剧增,是切沟侵蚀和沟头前进的动力源泉^[6-8]。因此,黄土高原地形的破碎始于浅沟侵蚀,其对土地利用、土地生产力、生态环境等产生严重的不利影响。使地形不断演变为支离破碎的同时,土壤中的养分也

在不断流失,土地也随即不断贫瘠化^[9-11]。

浅沟是农耕坡地上永久性水力侵蚀形态,属于坡地水力面蚀和沟蚀之间的过渡类型。刘宝元^[12]野外调查得出,浅沟顶端到分水岭的距离以及集流槽的间距与坡度呈线性相关;张科利等^[9,13]通过野外调查对黄土高原丘陵区坡面浅沟的分布、临界坡长、上游汇水面积、分布密度等侵蚀发育特征进行了研究。得出浅沟断面形态变化的回归拟合方程,并从浅沟发育历史得出推算坡面浅沟年均侵蚀量的计算式。唐克丽等^[14]以考察资料结合定位观测与模拟降雨试验,对黄土丘陵区退耕上限坡度进行了论证。武敏等^[15]通过室内试验定量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。龚家国等^[16]通过野外放水冲刷试验对浅沟水流的流态及其水动力学特性进行了研究。

目前对浅沟侵蚀影响因素的研究主要集中在野外调查和定性研究方面,尚缺乏不同影响因素相互剥离条件下的定量研究。由于浅沟侵蚀的末端与沟沿线相交,野外实地观测试验不但困难而且危险(如图 1)。本研究以黄土高原丘陵沟壑区的浅沟为主要研究对象,采用室内模拟降雨与放水冲刷实验相结合的研究方法,通过试验设计分离出不同侵蚀影响因素对浅沟侵蚀速率的影响,对深入认识浅沟发育影响

因素,揭示黄土丘陵区坡面侵蚀规律,建立土壤侵蚀预报模型和确定坡沟治理方针具有重要的科学意义和应用价值。



其中:Ⅰ——细沟;Ⅱ——浅沟;Ⅲ——切沟。

图 1 黄土高原丘陵沟壑区典型坡面侵蚀图

1 材料与试验设计

影响浅沟侵蚀的因素有许多,包括雨型、雨强、下垫面覆被状况、土壤类型、坡度、坡形、坡长及田间管理措施等。本研究用典型的黄土丘陵沟壑区——安塞黄绵土作为侵蚀对象,重点模拟研究雨强、坡度、坡长、汇水面积、耕作等浅沟侵蚀速率的影响。

土壤性质对浅沟的形成和发育具有重要影响。研究所用的土壤取自位于黄土高原丘陵沟壑区安塞县的黄绵土。土壤颗粒组成见表 1。

表 1 实验用土壤颗粒组成表

粒径/mm	<0.001	0.001~0.005	0.005~0.01	0.01~0.05	0.05~0.25	0.25~1
百分比/%	3.56	10.47	7.93	48.63	28.34	1.07

表 2 浅沟侵蚀模拟实验参数表

雨强/ (mm·h ⁻¹)	坡度/ (°)	浅沟间距/ m	汇水面积/ m ²	放水流量/ (L·min ⁻¹)
60	15	25.66	500	7.53
			800	12.05
	20	19.94	500	9.43
			800	15.08
	25	15.46	500	11.72
			800	18.76
90	15	25.66	500	11.29
			800	18.07
	20	19.94	500	14.14
			800	22.62
	25	15.46	500	17.59
			800	28.14
120	15	25.66	500	15.06
			800	24.09
	20	19.94	500	18.85
			800	30.16
	25	15.46	500	23.45
			800	37.52

*放水流量=(模拟宽度/实际沟间距)×降雨强度×汇水面积×cos(坡度)×产流系数,其中产流系数取 0.4^[17-18]。

具体实验时不考虑坡向和坡形的影响。在相同条件下,耕作处理(T)试验与非耕作处理(NT)试验交替进行,耕作模拟采用锄头(长约 20 cm)进行水平翻松。上游汇水面积形状假定为与浅沟等宽的长方形,其影响采用溢流箱放水进行模拟,放水流量按照沟间距与试验槽的比例进行缩放。坡长受实验装置限制为 8 m。具体实验设计参数见表 2^[8,13]。本实验中不考虑作物因素。

试验在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的人工降雨大厅进行,该大厅有完备的模拟降雨设备。另一主要实验设备为液压式可变坡度实验土槽(如图 2),尺寸为 8 m×2 m×0.6 m。具体实验时将土槽在长度方向上从中间隔开,即每个实验小区试验尺寸可分为两个 8 m×1 m×0.6 m 的实验槽,以利于进行对照实验。

实验中分别在距顶端 2 m、4 m 和 6 m 处设置观测断面,需要测量的数据有水温,浅沟水流的流速、流量、水深、水面宽、含沙量以及浅沟的沟深和沟宽。数据采集对应时刻分别为 1,3,6,9,12,15,18,21,24,

27,30 min。其中水温的观测由煤油温度计直接在上游供水槽测量;流速用染料示踪法观测断面附近 50 cm 流程上的平均流速,因水流紊动强烈,染色剂与水流混合充分,因此直接采用观测值进行分析;流量采用体积法在试验槽下端出口测量;产沙量采用取样烘干法测量;水深、水面宽、沟宽及沟深用三向垂直支架测量,其中沟宽通过测量沟边距试验槽壁的距离计算其差值得到,沟深通过测量两侧沟沿及沟底距水准高程的距离,然后计算其差值求平均得到。实验以沟口开始出流时刻为产流零点,开始监测沟断面形态、水面形态以及流量、含沙量数据。

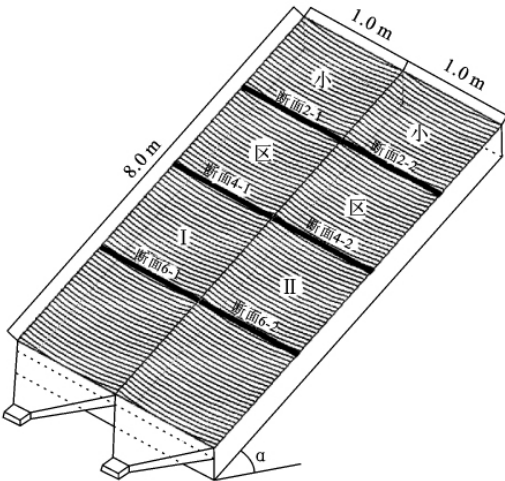


图 2 主要实验设备及实验布设示意图

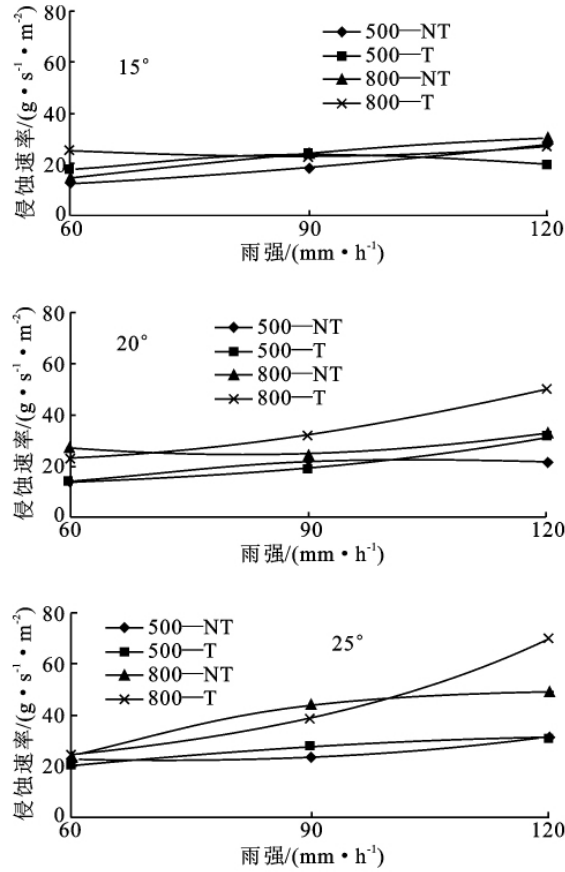
2 侵蚀速率与影响因素的关系

2.1 雨强对侵蚀速率的影响

在相同条件下,由于雨强的增大,相同时间内雨滴打击动能必然增大,坡地产流系数增大,上游汇水区来水以及沟间地的汇流增多,从而使得浅沟流量必然增大,导致侵蚀速率增大。然而由于坡度、汇水面积的不同以及耕作对下垫面性质的巨大改变等原因,也造成侵蚀速率随雨强的变化出现各种变异。

如图 3,15°坡面上在未耕作处理时,侵蚀速率随着雨强的增大而增大,在汇水面积为 500 m² 时,雨强为 90 mm/h 和 120 mm/h 比 60 mm/h 的侵蚀速率分别增大 1.48 倍和 2.27 倍,汇水面积为 800 m² 时,雨强为 90 mm/h 和 120 mm/h 比 60 mm/h 的侵蚀速率分别增大 1.67 倍和 2.11 倍;在耕作处理时,由于渗透系数的增大,土壤侵蚀变异性增大以及土壤抗蚀性降低,随着雨强的增大,侵蚀速率随着雨强变化的规律与未耕作处理时出现很大的差别,在汇水面积为 500 m² 时,雨强为 90 mm/h 和 120 mm/h 比 60 mm/h 的侵蚀速率分别增大 1.36 倍和 1.11 倍,汇水面积为 800 m² 时,雨强为 90 mm/h 和 120 mm/h 比 60

mm/h 的侵蚀速率分别增大 0.89 倍和 1.05 倍;同时对比发现耕作造成了侵蚀速率的变异性增大。



注:T——耕作;NT——非耕作

图 3 不同坡度下侵蚀速率与雨强的关系

20°坡面上在未耕作处理时,侵蚀速率随着雨强的增大而增大,在汇水面积为 500 m² 时,雨强为 90 mm/h 和 120 mm/h 比 60 mm/h 的侵蚀速率分别增大 1.63 倍和 1.55 倍,汇水面积为 800 m² 时,雨强为 90 mm/h 和 120 mm/h 比 60 mm/h 的侵蚀速率分别增大 0.91 倍和 1.23 倍;在汇水面积为 500 m² 时,雨强为 90 mm/h 和 120 mm/h 比 60 mm/h 的侵蚀速率分别增大 1.34 倍和 2.30 倍,汇水面积为 800 m² 时,90 mm/h 和 120 mm/h 比 60 mm/h 的侵蚀速率分别增大 1.40 倍和 2.22 倍。

25°坡面上在未耕作处理时,侵蚀速率随着雨强的增大而增大,在汇水面积为 500 m² 时,雨强为 90 mm/h 和 120 mm/h 比 60 mm/h 的侵蚀速率分别增大 1.05 倍和 1.42 倍,汇水面积为 800 m² 时,雨强为 90 mm/h 和 120 mm/h 比 60 mm/h 的侵蚀速率分别增大 1.90 倍和 2.11 倍;在耕作处理时,在汇水面积为 500 m² 时,雨强为 90 mm/h 和 120 mm/h 比 60 mm/h 的侵蚀速率分别增大 1.36 倍和 1.51 倍,汇水面积为 800 m² 时,雨强为 90 mm/h 和 120 mm/h 比 60 mm/h 的侵蚀速率分别增大 1.60 倍和 2.89 倍。

2.2 坡度对侵蚀速率的影响

坡度是发生浅沟侵蚀的重要影响因素。相同条件下,随着坡度的增大,重力沿坡度方向的分量不断加大,从而使水流在相同坡长条件下获得的动能增大。然而侵蚀能力的增强必然加强了水流改变下垫面土壤的能力,从而改变了侵蚀发生过程中的能量分配规律,使得侵蚀产沙速率在不同坡面上出现不同程度的变异。如图 4a 所示,未耕作处理时,在 60 mm/h 和 90 mm/h 雨强条件下侵蚀速率在坡度增大的过程中表现出递增趋势,而在 120 mm/h 条件下出现了侵蚀速率随坡度的增大先减小后增大的趋势。如图 4b

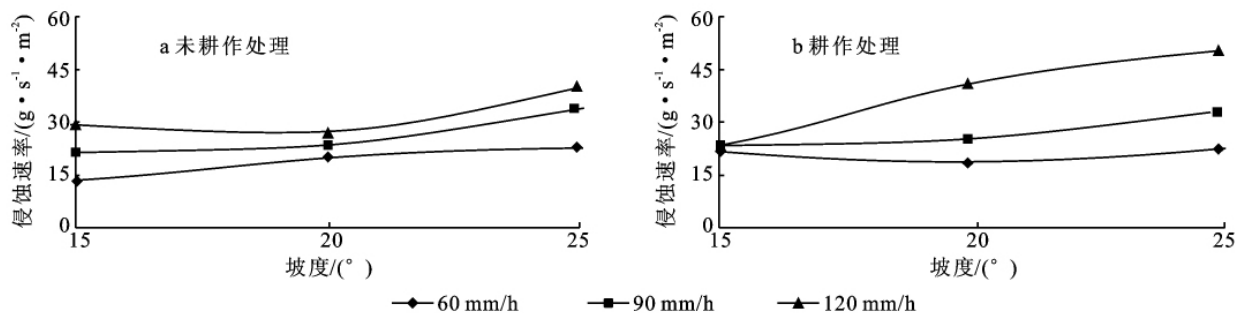
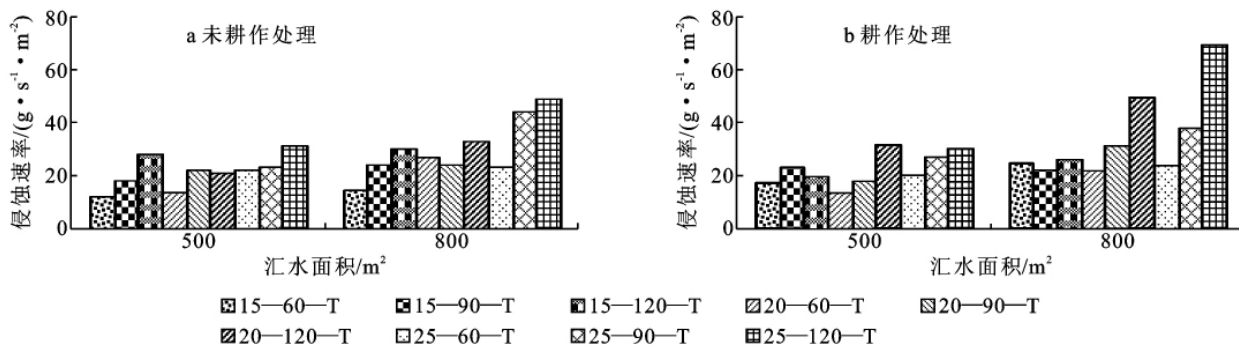


图 4 侵蚀产沙率与坡度的关系



注:图例意义为坡度(°)—雨强(mm/h)—耕作 T(不耕作 NT)

图 5 侵蚀速率与汇水面积的关系

2.4 农垦耕作对侵蚀速率的影响

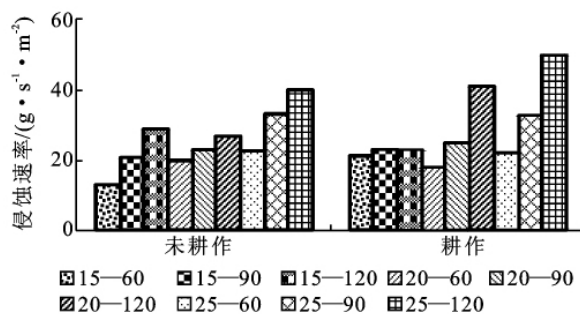
农事耕作破坏了土壤表面结皮和耕层土壤内部结构,增大了土壤抗蚀性空间变异性,显著减小耕层土壤抗侵蚀能力的同时,增大了土壤的入渗能力和浅沟沟壁崩塌的可能性。如图 6,未耕作和耕作两种处理条件下,在坡度为 15°,20°,25°坡面上侵蚀速率随雨强的变化都存在明显的递增趋势,但耕作使得 15°坡面上侵蚀速率受雨强变化的影响显著减小,但侵蚀速率仍然大于未耕作条件下的侵蚀速率,同时使得 20°和 25°坡面上在 60 mm/h 和 90 mm/h 时的侵蚀速率变化的速度显著小于 90 mm/h 和 120 mm/h 时的侵蚀速率变化。这说明小坡度坡面上,由于入渗速度的增大可以显著减少由于雨强引起的侵蚀变化,但在大坡度和大雨强条件下,耕作对雨强引起的侵蚀变化

所示,耕作处理时,侵蚀速率随坡度的变化趋势则与未耕作处理时相反。

2.3 汇水面积对侵蚀速率的影响

如图 5,侵蚀速率随汇水面积的增大而增大。在汇水面积从 500 m² 增大到 800 m² 时,未耕作处理条件下,侵蚀速率在 15°、20°和 25°坡面上分别增大 1.17 倍、1.48 倍、1.52 倍;而在耕作处理条件下,侵蚀速率在 15°、20°和 25°坡面上分别增大 1.20 倍、1.63 倍、1.68 倍。这说明在实验条件下侵蚀速率表现为从小坡度小汇水面积向大坡度大汇水面积加速增大的趋势。

有加强作用。



注:图例意义为坡度(°)—雨强(mm/h)

图 6 侵蚀速率与耕作的关系

3 结论

本文在对前人调查研究总结的基础上,通过模拟实验对黄土丘陵沟壑区浅沟侵蚀的主要影响因素进

行了研究,研究表明浅沟侵蚀发生的速率与坡度、雨强和汇水面积均呈正相关关系,但耕作对这种趋势的影响最大,其次是降雨强度的影响。耕作通过改变土壤表层结构,改变了浅沟侵蚀随雨强、坡度和上游汇水面积与侵蚀速率的响应关系。

未耕作处理时,在 60 mm/h 和 90 mm/h 雨强条件下侵蚀速率在坡度增大的过程中表现出递增趋势,而在 120 mm/h 条件下出现了侵蚀速率随坡度的增大先减小后增大的趋势。耕作处理时,侵蚀速率随坡度的变化趋势则与未耕作处理时相反。

未耕作处理条件下,侵蚀速率与坡度、雨强和汇水面积均呈正相关关系,即侵蚀速率随着坡度、雨强和汇水面积的增加而增大;而在耕作处理条件下,侵蚀速率与坡度、雨强及汇水面积的相关关系出现很大变异,特别是坡度为 15° 条件下的侵蚀速率随雨强的变化不明显,在 20° 和 25° 条件下随雨强的增大侵蚀速率呈加速增大的趋势。

从小坡度小汇水面积向大坡度大汇水面积变化时,侵蚀速率表现为加速增大的趋势。且小坡度坡面上,耕作显著减少了由于雨强引起的侵蚀变化,但在大坡度和大雨强条件下,耕作对雨强引起的侵蚀变化有加强作用。

参考文献:

- [1] 朱显谟. 黄土区土壤侵蚀的分类[J]. 土壤学报, 1956, 4(2): 99-115.
- [2] 甘枝茂. 陕北黄土高原的土壤侵蚀类型[J]. 陕西师范大学学报: 自然科学版, 1981(Z1): 46-49.
- [3] 姜永清, 王占礼, 胡光荣, 等. 瓦背状浅沟分布特征分析[J]. 水土保持研究, 1999, 6(2): 181-184.
- [4] 王文龙, 雷阿林, 李占斌, 等. 土壤侵蚀链内细沟浅沟切沟流动动力机制研究[J]. 水科学进展, 2003, 14(4): 471-475.
- [5] 王文龙, 莫翼翔, 雷阿林, 等. 黄土区土壤侵蚀链各垂直带水沙流时空分布特征研究[J]. 水动力学研究与进展: A 辑, 2003, 18(5): 540-546.
- [6] 刘宝元. 黄土高原坡面沟蚀的类型及其发生发展规律[J]. 中国科学院西北水土保持研究所集刊, 1988, 7: 9-18.
- [7] 张科利. 浅沟发育对土壤侵蚀作用的研究[J]. 中国水土保持, 1991(1): 17-19.
- [8] 张科利. 陕北黄土高原丘陵沟壑区坡耕地浅沟侵蚀及其防治途径[D]. 陕西杨凌: 中国科学院西北水土保持研究所, 1998.
- [9] 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.
- [10] 郑粉莉, 张成娥. 林地开垦后坡面侵蚀过程与土壤养分流失的研究[J]. 水土保持学报, 2002, 16(1): 44-46.
- [11] Zheng Fenli, He Xiubin, Xuetian Gao, et al. Effects of erosion patterns on nutrient loss following deforestation on the Loess Plateau of China[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2005: 85-97.
- [12] 刘宝元, 朱显谟. 黄土高原土壤侵蚀垂直分带性研究[J]. 中国科学院西北水土保持研究所集刊, 1988, 7: 5-8.
- [13] 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.
- [14] 唐克丽, 张科利. 黄土丘陵区退耕上限坡度的研究论证[J]. 科学通报, 2000, 43(2): 200-203.
- [15] 武敏, 郑粉莉, 黄斌. 黄土坡面汇流汇沙对浅沟侵蚀影响的试验研究[J]. 水土保持研究, 2004, 11(4): 74-76, 90.
- [16] 江忠善, 王志强. 黄土丘陵区小流域土壤侵蚀空间变化定量研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1996, 2(1): 1-10.
- [17] 杨春霞, 吴卿, 杨剑锋, 等. 人工模拟坡面产流试验研究[J]. 中国水土保持, 2003(6): 24-25.
- [18] 夏军, 乔云峰, 宋献方, 等. 岔巴沟流域不同下垫面对降雨径流关系影响规律分析[J]. 资源科学, 2007, 29(1): 70-76.