

尖山河小流域坡耕地的细沟侵蚀研究

郭玲梅, 王克勤, 苏备, 蒋薇, 米涛

(西南林业大学 环境科学与工程学院, 昆明 650224)

摘要:开展坡耕地细沟侵蚀的研究,对搞清坡面土壤侵蚀规律,促进坡耕地水土保持具有十分重要的意义。通过定位观测和野外调查资料分析,研究了尖山河小流域坡耕地细沟侵蚀的发展过程。结果表明:坡耕地产生细沟后,随着侵蚀性降雨的继续,坡面细沟向坡下侵蚀加长,细沟密度逐渐增大,细沟不断加深加宽,细沟侵蚀量也不断增加。细沟发展至其深度达到犁底层后,将基本趋于稳定。细沟侵蚀深度一般不超过 30 cm,宽可达 35 cm,而大多数细沟深度小于 15 cm,宽度小于 20 cm。由细沟侵蚀产生的年土壤侵蚀量可达到 8 700 t/km² 以上。

关键词:尖山河小流域; 坡耕地; 降雨量; 细沟侵蚀

中图分类号:S157.1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2015)02-0012-05

Rill Erosion in Slope Farmland in Jianshan River Small Watershed

GUO Lingmei, WANG Keqin, SU Bei, JIANG Wei, MI Tao

(Faculty of Environmental Science and Engineering, Southwest Forestry University, Kunming, Yunnan 650224, China)

Abstract: The research for rill erosion in slope land has the very vital significance to clarify the slope soil erosion, to promote farmland soil and water conservation. The analysis on location observation and field investigation data was carried out to study the development of rill erosion process on the slope in Jianshan River small watershed. The results showed that after the generation of rill in slope farmland, the slope rill erosion lengthened along the slope, rill density increased gradually, the rill became wide and deep, and rill erosion was also increasing under the erosive rainfall. With the accelerating development of rill, rill depth increased. After developing to the depth of the plough, the rill was stable basically. According to statistics, rill erosion depth was generally less than 30 centimeters, its width can be up to 35 cm, and most of the rill depths were less than 15 cm, width was less than 20 cm. Soil losses produced by rill erosion could reach more than 8 700 t/km².

Keywords: Jianshan River small watershed; slope farmland; rainfall; rill erosion

坡耕地土壤侵蚀造成的危害已成为全世界共同关注的问题。细沟侵蚀是坡耕地土壤侵蚀的主要方式之一,是介于片状侵蚀和沟道侵蚀之间的一种侵蚀类型,细沟一旦发生,坡面侵蚀量将增加几倍至几十倍^[1]。据唐克雨等^[2]的研究,黄土高原坡耕地细沟侵蚀量可占总侵蚀量的 60%~70%。影响坡耕地土壤细沟侵蚀的因素很多,其中气候因素中的降雨因素是侵蚀的主要动力之一,是引起细沟侵蚀的最主要因子^[3]。坡耕地上形成的这种细小沟道可被正常的耕作活动所填平。

据监测统计结果显示,云南省广布的人为开垦>25°的坡耕地是土壤侵蚀的主要源地,全省年流失土壤 5 亿多吨,是全国年流失土壤总量的 10%^[4]。而尖山河是澂江县抚仙湖的一条入湖河流^[5],径流区

内荒山荒地和坡耕地面积占 55%,水土流失中度侵蚀面积达 64.9 km²,每年流失的土壤约 34.6 万 t。本研究从尖山河坡耕地的细沟侵蚀为出发点,通过观测调查坡耕地细沟侵蚀的发展演变状况,从而揭示坡耕地土壤侵蚀的规律,确定防治措施,对控制坡耕地土壤侵蚀有重大的实践意义,进而使坡耕地水土流失综合治理工作取得更好的生态、经济和社会效益,推动水土保持事业的进一步发展。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验区位于珠江南北盘江上游岩溶区域的玉溪市澂江县西南部的尖山河小流域,为抚仙湖的一级支流。地理位置为 102°47'21"—102°52'02"E, 24°32'00"—

收稿日期:2014-04-01

修回日期:2014-05-30

资助项目:国家自然科学基金(30660037);西南林业大学水土保持与荒漠化防治重点学科建设项目

第一作者:郭玲梅(1987—),女,云南宣威人,硕士研究生,主要研究方向为土壤侵蚀。E-mail:15198791135@163.com

通信作者:王克勤(1964—),男,甘肃庄浪人,博士,教授,博士生导师,主要从事山区小流域环境综合治理的理论与技术研究。E-mail:wangkeqin7389@sina.com

24°37′38″N,海拔 1 722~2 347.4 m,距离县城 16 km,北接龙街镇广龙村委会,南接禄充管委会,东临抚仙湖,西接晋宁县。流域总面积 35.42 km²,河道全长 8.5 km。

流域属低纬度高原气候,地貌类型为中山高原地带,多年平均降雨量 1 050 mm,雨季为 5—10 月,降水量占全年总降水量的 74%。暴雨基本出现在雨季,年平均径流深 300 mm,年均蒸发量为 900 mm。流域内土壤主要是红紫泥土和红壤,人为开垦的 >25°的坡耕地较多,水土极易流失,农作物以种植烤烟和玉米为主。

1.2 试验地和雨量计的布设

根据小流域地形条件,在研究区选择一块典型坡

耕地,对坡耕地内的 15 m×15 m 样地翻耕疏松整平。

为了便于观察、测量与记录细沟侵蚀变化,首先把调查样地顺坡布设为 5 个 3 m×15 m 的小区,再把每个小区划分为 5 个 3 m×3 m 的微型小区,最后在每个微型小区的交点处打细桩,并用细绳圈起。调查时采用测绳沿小区边界顺坡固定,结合固定在杆上的钢卷尺得到细沟所在坡面位置的 (x,y) 坐标,并用直尺测量细沟的宽度及深度,这样就减少了测定细沟时对小区的影响。

在调查样地附近布设了一个重庆水文仪器厂制造的 JDZ-1 型数字自记雨量计测定每场降雨的降雨量、降雨历时。坡耕地区域特征见表 1。

表 1 坡耕地区域特征

土地利用类型	海拔/m	坡向	坡位	坡度	土壤类型	土壤容重/(g·cm ⁻³)	土壤 pH 值	土壤含水率/%
坡耕地	1788	南北向	坡中下部	24.62°~30°	红壤	1.39	4.93	2.68

1.3 观测方法

本研究主要以 2013 年雨季,天然降雨情况下所形成的细沟为研究对象,并采用定位观测和野外调查来观测细沟侵蚀的发生发展。

1) 降雨过程使用数字自记雨量计测定并计算每次的降雨量和降雨强度。

2) 采用烘干称重法测定土壤容重和土壤含水量。

3) 降雨结束后,实测细沟长、宽、深、条数,计算细沟侵蚀量,画细沟侵蚀分布图,(细沟的平均沟宽、沟深由沿沟长间隔 50 cm 测得的数值确定)。

4) 细沟侵蚀的发展过程(定时照相)。

相关计算及数据分析:本研究采用 Excel 2003 数据处理系统,进行数据分析和图表处理。

1.4 细沟侵蚀量的计算

计算细沟侵蚀量时采用断面以矩形处理,单位面积上的细沟侵蚀量由公式计算得出:

$$G_r = \frac{\sum_{i=1}^m [(\sum_{i=1}^n R_{wi} \cdot R_{hi}) \times (R_l/n)] \times r_d}{A} \times 10$$

式中:G_r——细沟侵蚀量(kg/m²);m——细沟的总条数;n——量测一条细沟宽深的次数;R_{wi},R_{hi}——第 i 次量测的细沟宽度和深度(cm);R_l——所量测细沟的长度(cm);r_d——土壤容重(g/cm³);A——样方面积(m²)。

2 结果与分析

2.1 降雨特征

2013 年尖山河小流域共有 65 场降雨,降雨量共

计 900.2 mm,其中降雨主要集中在 5—10 月,这 6 个月的降雨量占了总降雨量的 85.0%,旱季仅占 15.0%,所以选择雨季进行坡耕地细沟侵蚀的观测调查是具有代表性的。由于年内降雨量分配不均,夏季降雨过分集中易形成大雨或暴雨,导致容易产生大的地表径流并冲刷地表,造成水土的流失^[6]。

为了确切的分析降雨与细沟侵蚀的关系,首先要确定侵蚀性降雨标准。本研究采用 RUSLE^[7] 的侵蚀性降雨标准;如果一次降雨<12.7 mm,则把这次降雨从侵蚀力计算中剔除,但如果此次降雨 15 分钟降雨量>6.4 mm,则仍将这次降雨计算在内。根据这个标准,本文所选试验区调查过程中的 45 次降雨资料中,只有 16 次降雨达到侵蚀力降水标准。侵蚀性降雨时间分布见表 2。

从 2013 年的 7 月 10 日到 10 月底对试验区进行观测调查,其中试验区坡耕地首次出现细沟的降雨时间是 7 月 25 日,侵蚀降雨量为 29.6 mm,历时共 200 min,平均降雨强度 8.9 mm/h;到 8 月 12 日的第 5 场侵蚀性降雨结束,累积侵蚀性降雨 101.5 mm;8 月 24 日的第 6 场侵蚀性降雨是降雨量最大的场次,为 42.3 mm,历时共 926 min,平均降雨强度 2.7 mm/h;到 10 月 23 日的第 16 场侵蚀性降雨结束,累积侵蚀性降雨 330.5 mm,其中从 8 月 24 日后到 10 月 23 日的侵蚀性降雨有 186.7 mm。

到 9 月中旬时,坡面上出现野古草植被的生长,覆盖度为 2%,多集中在坡面上部,而细沟侵蚀多产生在坡面的中下部,少量植被对坡面细沟侵蚀的影响不明显。

表 2 侵蚀性降雨时间分布

降水次序	降雨起			降雨止		历时/min	雨量/mm	累积雨量/mm
	月	日	时:分	日	时:分			
1	7	25	13:30	25	16:50	200	29.6	29.6
2	7	29	20:21	29	23:40	199	16.8	46.4
3	8	3	9:26	3	13:21	235	18.8	65.2
4	8	8	15:05	8	18:47	222	13.0	78.2
5	8	12	22:40	13	2:01	201	23.3	101.5
6	8	24	8:30	24	23:56	926	42.3	143.8
7	9	3	15:15	3	22:20	425	21.8	165.6
8	9	14	12:13	14	15:03	170	17.2	182.8
9	9	27	20:10	27	22:39	149	19.0	201.8
10	9	27	0:35	27	1:10	35	9.8	211.6
11	10	6	13:33	6	18:57	324	21.2	232.8
12	10	19	10:06	19	13:22	196	13.2	246.0
13	10	20	17:36	20	23:20	344	15.5	261.5
14	10	21	9:24	21	17:03	459	18.2	279.7
15	10	22	11:09	22	19:48	519	22.3	302.0
16	10	23	17:20	23	24:20	420	28.5	330.5

2.2 细沟侵蚀的发生发展过程

2.2.1 细沟密度变化 细沟密度是指坡面单位面积上细沟分布的长度(km/km^2),它是描述细沟侵蚀过程的一个重要指标,反映细沟对地表的切割破碎程度。据野外调查资料统计计算,7月25日的侵蚀性降雨导致试验区坡耕地上首次出现细沟,细沟密度是 $1.98 \times 10^{-3} \text{ km}/\text{km}^2$,8月12日、8月24日和10月23日的侵蚀性降雨后调查得到细沟密度分别是 2.20×10^{-3} 、 2.67×10^{-3} 、 $2.93 \times 10^{-3} \text{ km}/\text{km}^2$ 。从图1侵蚀性降雨量与细沟密度关系曲线可以看出,细沟密度随着侵蚀性降雨的继续而不断增大,其中8月24日降雨后引起的细沟密度变化比较大。这是因为降雨使得坡面细沟不断向坡下侵蚀加长,即细沟对地表的切割程度不断加强,而当坡耕地上发育还未基于稳定的细沟遇到大侵蚀性的降雨时,细沟发育则较强,细沟对地表的切割程度更严重。

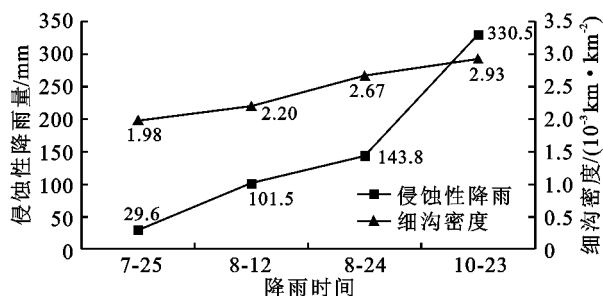


图 1 侵蚀性降雨量与细沟密度关系

2.2.2 细沟侵蚀的宽度变化 坡耕地降雨产流后,因为凹凸不平的地面对径流的分配作用和地表土壤抗侵蚀力的空间差异,使径流在坡面上呈不均匀分布的小沟状股流。由于这些股流流经地方的径流侵蚀

力大于其周围的侵蚀力,使得径流在坡面上呈现差异性侵蚀。这样一来,随着径流的逐渐汇集,径流侵蚀力也逐渐增强,当其在股流流程上的某个地方大于土壤抗侵蚀力时,相对较大的冲刷作用使径流在该地方突然下泄,形成一个小跌水,进而演化成细沟下切沟头,就产生了细沟侵蚀^[8]。

从细沟侵蚀的宽度统计表 3 可知,2013 年 4 次观测调查坡耕地细沟侵蚀的条数分别是 101 条、84 条、60 条、59 条,7 月 25 日的第一场侵蚀性降雨使得坡耕地首次产生的细沟条数都多余后面的。坡耕地产生细沟后,随着降雨的不断进行,细沟侵蚀的宽度变化很大。7 月 25 日降雨产生细沟的宽度多集中在 0~5 cm,8 月 12 日侵蚀性降雨后调查得到细沟宽变化于 0~20 cm,而以 0~10 cm 居多,8 月 24 日的降雨导致细沟宽变化多集中在 0~10 cm,与前一次调查的细沟相比,出现了 1 条宽度 20~25 cm 的细沟,10 月 23 日的侵蚀性降雨后,细沟宽度变化于 0~35 cm,以 5~15 cm 居多。把 4 次调查的细沟侵蚀宽度作比较,坡耕地产生细沟后,随着侵蚀性降雨的不断进行,细沟不断加宽。第 4 次调查坡耕地上发生侵蚀的细沟平均宽为(8.2 cm),分别是第 1 次、第 2 次和第 3 次调查得到的细沟平均宽的 2.2 倍、1.7 倍和 1.3 倍。并随着降雨的继续,坡耕地上宽 0~5 cm 的细沟不断减少,而 10~15 cm 宽的细沟则不断增多,细沟侵蚀宽度可达 35 cm,而大多数细沟宽度小于 20 cm。

2.2.3 细沟侵蚀的深度变化 从表 4 细沟侵蚀的深度统计表可知,2013 年观测调查坡耕地产生细沟后,随着降雨的继续,细沟侵蚀的深度变化很大。7

月 25 日的降雨使得坡耕地上产生细沟深度多集中在 0—5 cm,8 月 12 日侵蚀性降雨后调查得到的细沟深度变化于 0—20 cm,而以 0—10 cm 居多,8 月 24 日的侵蚀性降雨导致细沟深变化也是多集中在 0—10 cm,10 月 23 日的侵蚀性降雨后,细沟深度变化于 0—30 cm,以 5—15 cm 居多,与 8 月 24 日降雨后的细沟相比,出现了 2 条 20—25 cm 和 1 条 25—30 cm 深的细沟。10 月 23 日降雨后导致的细沟平均深 (5.8 cm)分别是 7 月 25 日(2.9 cm)、8 月 12 日(3.6

cm)和 8 月 24 日(4.5 cm)的 2 倍、1.6 倍和 1.3 倍。并且随着降雨的继续,除了 0—5 cm 深的细沟不断减少外,其余深度的细沟都有所增加,并且深为 20—25 cm 和 25—30 cm 的细沟是最后才产生的。把 4 次调查的细沟侵蚀深作比较,坡耕地产生细沟后,随着侵蚀性降雨的不断进行,细沟发育过程不断加快,细沟深度不断增加,当其达到犁底层后,细沟的发展基本稳定。据调查资料统计,细沟侵蚀深度一般不超过 30 cm,而大多数细沟深度小于 15 cm。

表 3 细沟侵蚀的宽度统计

日期	侵蚀性降雨量/mm	平均宽度/cm	不同细沟宽度范围内产生的细沟条数/条						
			<5 cm	5~10 cm	10~15 cm	15~20 cm	20~25 cm	25~30 cm	30~35 cm
7 月 25 日	29.6	3.7	68	26	7				
8 月 12 日	101.5	4.8	40	34	8	2			
8 月 24 日	143.8	6.3	20	24	13	2	1		
10 月 23 日	330.5	8.2	10	20	19	4	3	2	1

表 4 细沟侵蚀的深度统计

日期	侵蚀性降雨量/mm	平均深度/cm	不同细沟深度范围内产生的细沟条数/条						
			<5 cm	5—10 cm	10—15 cm	15—20 cm	20—25 cm	25—30 cm	30—35 cm
7 月 25 日	29.6	2.9	81	18	2				
8 月 12 日	101.5	3.6	53	27	3	1			
8 月 24 日	143.8	4.5	23	31	5	1			
10 月 23 日	330.5	5.8	11	24	17	4	2	1	

2.3 坡耕地细沟侵蚀量

细沟侵蚀是坡面产沙的主要方式之一,据郑粉莉的研究资料表明,细沟侵蚀量占坡面侵蚀量(即片蚀+细沟侵带)的 60%以上^[8],在坡面上,一旦发生细沟侵蚀而有连续降雨,则细沟侵蚀量由细沟出现初期占坡面侵蚀量的 26.5%上升到 67%^[9]。

2013 年雨季激江尖山河小流域侵蚀性降雨特征和坡耕地细沟侵蚀量见表 5。据 4 次野外坡耕地细沟侵蚀调查资料可知,7 月 25 日的降雨引起细沟侵蚀量 2.21 kg/m²,7 月 29 日—8 月 12 日、8 月 24 日

和 9 月 3 日—10 月 23 日的侵蚀性降雨分别产生细沟侵蚀量 1.34,2.27 和 3.94 kg/m²,而至 8 月 12 日侵蚀性降雨结束后产生累积细沟侵蚀量为 3.55 kg/m²,8 月 24 日和 10 月 23 日侵蚀性降雨后分别产生累积细沟侵蚀量 5.82,9.76 kg/m²。累积的细沟侵蚀量随着累积侵蚀性降雨量的增加而不断增加。野外调查资料表明,细沟在发育过程中逐渐扩大,随之也造成严重的细沟侵蚀,细沟侵蚀量也逐渐增大。据统计,尖山河小流域由于细沟侵蚀产生的年土壤侵蚀量可达到 8 700 t/km²。

表 5 侵蚀性降雨量与细沟侵蚀量

日期	累积侵蚀性降雨量/mm	侵蚀性降雨量/mm	累积细沟侵蚀量/(kg·m ⁻²)	细沟侵蚀量/(kg·m ⁻²)	对照/%
7 月 25 日	29.6	29.6	2.21	2.21	100.00
8 月 12 日	101.5	71.9	3.55	1.34	160.63
8 月 24 日	143.8	42.3	5.82	2.27	263.35
10 月 23 日	330.5	186.7	9.76	3.94	441.63

3 结 论

1) 降雨使得坡面细沟不断向坡下侵蚀加长,且在大降雨的情况下,细沟发育较强,细沟对地表的切割程度更严重。7 月 25 日、8 月 12 日、8 月 24 日和 10 月 23 日的侵蚀性降雨后,导致试验区坡耕地上的细沟密度分别是 1.98×10⁻³,2.20×10⁻³,2.67×10⁻³,2.93×

10⁻³ km/km²;其中,8 月 24 日的侵蚀性降雨引起的细沟密度变化比较大。

2) 坡耕地产生细沟后,随着侵蚀性降雨的继续,细沟不断加宽加深。10 月 23 日降雨后,坡耕地上发生的细沟平均宽(8.2 cm),是 7 月 25 日首次侵蚀性降雨产生细沟平均宽(3.7 cm)的 2.2 倍,是 8 月 12 日和 8 月 24 日降雨后的 1.7 倍和 1.3 倍;而细沟平

均深(5.8 cm)分别是7月25日(2.9 cm)、8月12日(3.6 cm)和8月24日(4.5 cm)侵蚀性降雨后的2倍、1.6倍和1.3倍。

3) 随着细沟发育过程的不断加快,细沟深度不断增加,当其达到犁底层后,细沟的发展基本稳定。细沟侵蚀深度一般不超过30 cm,宽度可达35 cm,而大多数细沟深度小于15 cm,宽度小于20 cm。

4) 细沟在发育过程中逐渐扩大,随之也造成严重的细沟侵蚀,累积的细沟侵蚀量随着累积侵蚀性降雨量的增加而不断增加。据统计,7月25日降雨引起细沟侵蚀量 2.21 kg/m^2 ,而至8月12日降雨结束后产生累积细沟侵蚀量为 3.55 kg/m^2 ,8月24日和10月23日降雨后分别产生累积细沟侵蚀量 5.82 kg/m^2 和 9.76 kg/m^2 。尖山河小流域由于细沟侵蚀产生的年土壤侵蚀量可达到 8700 t/km^2 以上。

4 讨论

1) 细沟侵蚀是坡耕地土壤侵蚀的主要方式。据研究资料,细沟侵蚀的发生,普遍认为是在坡面股流的流程上,当径流侵蚀力大于土壤抗侵蚀力时,形成多个跌水,跌水随之演化成细沟的下切沟头。细沟侵蚀的发展过程概括为细沟下切沟头溯源侵蚀、沟床下切加深和沟壁崩塌加宽,其中以下切沟头溯源侵蚀加长占主导地位,形成了断续细沟。而一条股流流程上断续细沟沟头的溯源侵蚀,使断续细沟连接形成连续细沟。在这个过程中,由于降雨径流侵蚀力和土壤抗侵蚀力在时空上的强弱对比关系,坡面上所有细沟的彼此分叉、合并及连通是细沟发展过程的主要表现形式。

随着连续细沟沟头溯源侵蚀的不断发展,汇集于沟头处的集流线逐渐缩短,径流侵蚀力相应减弱,当其不能促进沟头发展时,细沟的发展趋于稳定。

2) 郑粉莉等^[10]研究结果表明:降雨径流能量(尤其是径流能量)、土壤抗侵蚀性能、坡度、坡长、坡形、地面处理(耕作措施)是影响细沟侵蚀的主要因素。由于所选试验区坡度、坡位、坡向、海拔、土壤类型等相似,因此降雨和耕作措施对细沟侵蚀的影响非常明显,坡形则对细沟的分叉和合并有很大影响。在瓦背状地形的坡面上,由于坡形对径流的再分配作用,使径流从凸起部分流向低凹部分。随着沟头的不断溯源侵蚀,径流汇集量逐渐减少,因此凸起部分的分叉机率大;而低洼部分,由于径流线逐渐汇集于浅沟,所以细沟逐渐汇集于浅沟。

3) 坡耕地是人类活动的场所,坡耕地上不乏植被的覆盖,但是依然可能产生严重的细沟侵蚀。究其原因,人类不合理的耕作管理措施是引起细沟侵蚀的重要原因^[11]。耕作措施对细沟侵蚀的影响,主要是通过土壤容重来影响下渗、起流时间、径流量和土壤抗蚀性。徽江尖山河小流域5—10月是一年的雨季,这就为细沟侵蚀的发生发展提供了足够的侵蚀能量;而此时,恰逢烤烟、玉米收割末期,翻耕使得地面裸露面积越来越大,即使种植其它秋季作物也由于中耕松土和覆盖度低,也为细沟侵蚀的发生发展提供了有利条件。所有这些不合理的耕作管理措施进一步促进了细沟的发展,导致了严重的细沟侵蚀。

基于徽江尖山河小流域雨季与坡耕地土壤侵蚀同期发生,及陡坡、土壤抗蚀性、抗冲性很弱的特点,应该对大面积的坡耕地实施有效的水土保持措施,其中防治坡耕地土壤侵蚀的关键是削弱降雨能量和提高土壤的抗侵蚀性能,以达到保护土壤和减少泥沙入河的目的。

参考文献:

- [1] 严冬春,文安邦,史忠林,等.川中紫色丘陵坡耕地细沟发生临界坡长及其控制探讨[J].水土保持研究,2010,17(6):1-4.
- [2] 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.
- [3] 李瑞,李勇,刘云芳.贵州喀斯特地区降雨与坡面土壤侵蚀关系研究[J].水土保持研究,2012,19(3):7-11.
- [4] 和俊.云南省坡耕地水土流失综合治理的探索与实践[J].中国水土保持,2011(2):11-13.
- [5] 金相灿,辛玮光,卢少勇,等.入湖污染河流对受纳湖湾水质的影响[J].环境科学研究,2007,20(4):52-56.
- [6] 孟广涛,袁春明,方向京,等.滇中高原山地4种人工群落径流量和土壤流失量的研究[J].水土保持学报,2006,20(1):33-36.
- [7] 张岩,朱清科.黄土高原侵蚀性降雨特征分析[J].干旱区资源与环境,2006,20(6):99-103.
- [8] 郑粉莉,唐克丽,周佩华.坡耕地细沟侵蚀的发生,发展和防治途径的探讨[J].水土保持学报,1987,1(1):36-48.
- [9] 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):43-47.
- [10] 郑粉莉,唐克丽,周佩华.坡耕地细沟侵蚀影响因素的研究[J].土壤学报,1989,26(2):109-116.
- [11] Römken M J M, Helming K, Prasad S N. Soil erosion under different rainfall intensities, surface roughness, and soil water regimes[J]. Catena,2002,46(2):103-123.