

细沟侵蚀过程的研究方法*

郑粉莉 唐克丽 陈文亮

(中国科学院西北水土保持研究所·陕西杨陵·712100)
(水利部)

摘 要 在对侧喷式单喷头降雨装置的降雨特性和模拟天然降雨程度的分析研究基础上,介绍了用人工降雨研究坡耕地细沟侵蚀发展过程的方法,并对结果进行了分析研究。

关键词 人工降雨 模拟程度 细沟侵蚀过程 研究方法 坡耕地

Research Methods of Rill Erosion Process

Zheng Fenli Tang Keli Chen Wentiang

(Northwestern Institute of Soil and Water Conservation, Academia Sinica
and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi, 712100)

Abstract On base of analysed rainfall properties of rainfall simulator of side sprinkler with single nozzle and simulated degree of natural rainfall, methods of rill erosion process studied by simulated rainfall experiment have been discussed in this paper, and the experimental results have been analysed.

Key words rainfall simulator simulated degree of natural rainfall rill erosion process
researched methods sloping farming land

细沟侵蚀主要是由暴雨侵蚀产生的。因此用天然降雨研究细沟侵蚀过程有很大的局限性。目前研究细沟侵蚀过程多数是在实验室人工控制条件下进行。在人工控制条件下研究细沟侵蚀过程有两种方法,一是用人工径流冲刷试验研究细沟侵蚀发展过程或人工建造细沟模型,研究细沟形成后细沟水流的水力学特性及细沟侵蚀量预报模型;二是重视天然降雨过程,用人工降雨试验研究细沟侵蚀的发展过程和建立细沟侵蚀量预报模型。本文介绍用人工降雨研究细沟侵蚀发展过程的方法,并对试验结果进行分析研究。

1 人工降雨装置的特性及模拟天然降雨的程度

1.1 降雨装置的特性

目前,人工降雨设备很多。我们所采用的降雨装置为侧喷式单喷头的降雨设备^[1]降雨装置由降雨喷头、安装支架及供水系统组成。降雨喷头由喷头体、碎流挡板、出流孔板部件组成。出流孔板的孔径分别为 $\varnothing 5$, $\varnothing 7$, $\varnothing 9$, $\varnothing 11$, $\varnothing 13$, $\varnothing 15$ mm 6种,通过更换不同的孔板直径,可获得不同的降雨强度。

降雨喷头安装在降雨支架上,支架高 5m,雨滴上喷高度 1.5m,雨滴到达水平地面的高度为

收稿日期:1993-03-01

*国家自然科学基金资助重大项目

6.6m。降雨方式由两个喷头对喷,形成叠加的降雨区。在我们试验中,所采用的喷头出流孔板直径为 $\varnothing 7$ 和 $\varnothing 11$ 两种,两喷头支架相距 6.0~7.0m,喷宽为 9~10m, $\varnothing 7$ 和 $\varnothing 11$ mm 出流孔板直径的降雨分布均匀系数为 75%和 85%,雨滴直径在 0.1~4.0mm 之间,中数直径 d_{50} 为 $\varnothing 7$ 和 $\varnothing 11$ mm 分别为 1.76 和 2.56mm。

我们所选用的这种降雨装置,雨滴降落到水平地面的高度为 6.5m,使直径大于 3.0mm 的雨滴达不到终点速度,为此我们研究了不同坡度径流小区地面坡度用雨滴动能的关系及采用这种降雨装置的降雨模拟程度。

1.2 径流小区的地面坡度与雨滴动能。

雨滴动能是根据雨滴大小及其雨滴组成计算求得^[2] 而直径大小不同的雨滴,为了达到相应的终点速度,需要有不同的降落高度。如果使所有的雨滴都接近于终点速度,必须的最低降落高度为 7~8m,在我们的试验中,雨滴到达水平地面的高度只有 6.5m,使一些较大的雨滴达不到终点速度,特别是在坡度大的径流小区进行试验,雨滴降落高度更低,雨滴动能偏低。为此我们专门研究了在 1.45 和 2.40mm/min 的两种降雨强度下,不同径流小区地面坡度与雨滴动能的关系^[1] 其相关方程为

$$E_1 = 15.5359 + 0.6095 \ln H,$$

$$E_2 = 20.1625 + 1.5435 \ln H$$

式中 E_1 和 E_2 分别是雨强为 1.45、2.40mm/min 的雨滴动能[J/(m²·mm)], H 为不同坡度小区中部距地面的高度(m)。

1.3 人工降雨模拟程度的研究

周佩华等人的分析研究结果表明^[4] 当人工降雨与天然降雨能量接近,降雨量和降雨强度差别较大时,土壤侵蚀量比较接近,而当人工降雨与天然降雨的降雨量、降雨强度比较接近,降雨能量差别较大时,侵蚀量差异较大。为此我们研究了人工降雨的模拟程度。

1.3.1 降雨强度的模拟程度 当人工降雨与天然降雨能量接近时,降雨强度的模拟程度为 46%(表 1)。

1.3.2 降雨能量的模拟程度 当人工降雨与天然降雨的降雨量和降雨强度接近时,降雨能量的模拟程度为 66.0%(表 2)。

表 1 人工降雨降雨强度模拟

降 雨	雨量(mm)	雨滴动能(j/m ²)	降雨强度(mm/min)	比值	坡度
天然降雨	50	883.0	0.65*	0.45	20°
人工降雨	50	817	1.45	1.0	20°
天然降雨	50	1106.0	1.12*	0.47	20°
人工降雨	50	1106.8	2.40	1.0	20°

*引用周佩华等人的研究数据

表 2 人工降雨能量模拟

降 雨	雨量(mm)	降雨强度(mm/min)	坡 度	雨滴动能(j/m ²)	比 值
人工降雨	50	1.45	20°	817	0.68
天然降雨	50	1.12	20°	1209.5	1.0
人工降雨	50	2.40	20°	1166.8	0.61
天然降雨	50	2.50*	20°	1832.5	1.0

*引用周佩华等人的研究数据

2 监测细沟侵蚀发展过程的方法

2.1 试验前的准备

试验前应将径流小区地面翻耕疏松整平(模拟坡耕地);在径流小区上建立控制坐标网(径流小区的长和宽分别用X、Y表示),记录细沟侵蚀发展过程的变化;测定径流小区中土壤含水量和土壤容重;在小区周围布设雨量筒和自计雨量计,并进行降雨强度的率定。

2.2 细沟侵蚀发展过程的监测

除进行坡面积水时间、径流出现时间、降雨过程(自计雨量计)、径流过程(电容液位计^[5]或自计水位计)和产沙量变化过程(自动记录含沙量变化或自动取泥沙样器或人工取泥沙样)的监测外,特别要观测以下项目:

- ①观测坡面出现跌水、细沟下切沟头出现的时间和量测下切沟头的深度和宽度。
- ②用在径流小区上建立的控制坐标网,监测细沟侵蚀的发展,包括细沟下切沟头的溯源侵蚀速度,沟壁崩塌加宽的速度,用自动细沟量测仪监测细沟下切沟头的溯源侵蚀发展及下切深度变化,并通过机助制图绘制细沟下切沟头发展的曲线图。在我们的试验中,用在径流小区上建立的控制坐标网,人工测定细沟下切沟头的发展过程,并采用摄影影像来监测细沟下切沟头的发展。
- ③示踪细沟发展过程与坡面产沙量变化过程,研究细沟侵蚀与坡面侵蚀的关系。
- ④用电导法或染色剂法测定细沟内水流流速,细沟间流速,细沟与细沟间横向溢流流速,研究细沟出现后坡面径流的变化,细沟水流水力学特性,细沟水流流速与细沟侵蚀量的关系,坡面平均流速与流量的关系等。

2.3 试验后的工作

测径流小区中土壤的含水量和土壤容重及地表硬度,研究降雨前后土壤物理性质变化和土壤降雨入渗;计算坡面产流量和坡面产沙量及细沟侵蚀量和细沟间侵蚀量;绘制细沟分布平面图。

3 结果分析

3.1 细沟侵蚀的发展过程

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^[6]其中以下切沟头溯源侵蚀加长占主导地位。据研究资料^[7]当细沟出现后,随着连续降雨的进行,细沟长、宽、深变化的比值为1:0.011:0.013,细沟下切沟头溯源侵蚀的速度为1.43~5.48cm/min,细沟加宽的速度为0.024~0.048cm/min,细沟沟床下切加深的速度为0.48~0.072cm/min。

表3 细沟内水流流速与细沟间水流流速比较

测定次数	细沟内水流流速 (cm/min)(I)	细沟间水流流速 (cm/min)(II)	I/II(倍)
1	13.712	6.837	2.01
2	14.968	6.670	2.25
3	15.078	7.452	2.02
4	25.000	11.837	2.11
5	26.125	12.678	2.01
6	27.028	13.647	1.97
平均	20.321	9.854	2.06

3.2 细沟内水流流速与细沟间流速的关系

随着细沟侵蚀的发生,坡面细沟间的水流横向溢流到细沟股流中去,使细沟内水流流速增大,据测定,细沟中水流流速是细沟间流速的 2.06 倍(表 3),同时细沟侵蚀的出现,也是坡面平均流速增大(表 4),从而使坡面侵蚀量增大。

表 4 有细沟与无细沟坡面平均流速比较

测度次数	坡面平均流速(cm/min)		
	有细沟发生(I)	无细沟发生(II)	I/II(倍)
1	10.2	6.2	1.65
2	10.8	6.8	1.59
3	11.3	7.5	1.50
4	18.4	11.8	1.56
5	19.4	12.7	1.53
6	20.3	13.6	1.49
7	15.1	9.9	1.53
平均			1.55

3.3 细沟侵蚀发生发展与坡面产沙量关系

人工降雨试验表明,细沟侵蚀的发生发展与坡面产沙密切相关。表 5 表明,坡面产沙随着细沟沟头溯源侵蚀速度、沟壁崩塌的变化而变化,沟头溯源侵蚀速度大,坡面产沙量高,沟壁崩塌量大,产沙量也较高。但产沙量变化较沟头溯源侵蚀速度和沟壁崩塌滞后 1~2min。如果在坡面上通过水土保持措施控制细沟侵蚀的发生发展,则坡面产沙量减少在 53%以上(表 6)。

表 5 细沟侵蚀发生发展与坡面产沙

采样时间(min)		4	7	10	13	16	19	22	25	28	31	34
沟头溯源	时间(min·s)	5'15"	9'	11'40"	15'	17'	21'	23'	26'05"	29'	33'	
侵蚀发展	速度(cm/min)		19.1	10.7	8.8	5.3	10.0	3.4	15.4	7.4	6.2	
	沟壁崩塌时间(min·s)				12'		18'45"			27'05"		
	产沙量(g/(m ² ·min))	354.7	451.7	571.2	660.1	504.1	679.3	510.9	796.5	773.0	630.2	435.2

表 6 有细沟和无细沟时坡面产沙量比较

有细沟	采样时间(min·s)	10'20"	15'20"	20'20"	25'20"	30'20"	35'20"	40'20"
	产沙量(g)(I)	140.4	745.2	872.2	384.0	880.4	304.2	410.0
无细沟	采样时间(min·s)	11'20"	16'20"	21'20"	26'70"	31'20"	41'20"	
	产沙量(g)(II)	100.0	458.2	462.0	270.6	482.8	178.2	235.2
[(I-II)/II]×100%		40.4	61.7	88.8	47.2	82.3	70.5	74.3

3.4 细沟侵蚀量与坡面侵蚀量

细沟侵蚀是坡面产沙的主要方式之一,人工降雨试验表明,细沟侵蚀量占坡面侵蚀量(即片蚀+细沟侵带)的 60%以上,^[6]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%^[1]同时坡面片蚀+细沟侵蚀带是坡面产流的重要来源区之一。据研究^[7]坡面片蚀+细沟侵蚀带的产沙模数占全坡面的 30.9%,而产流模数为全坡面产流

模数的 1.62 倍,是细沟浅沟侵蚀带的 2.24 倍。因此该区的产流量叠加在细沟浅沟侵蚀带,引起严重的细沟侵蚀和浅沟侵蚀。如果采用水土保持措施,使片蚀+细沟侵蚀带的径流量就地入渗拦蓄,则细沟浅沟侵蚀带的侵蚀量减少 40.1%。

参考文献

- [1]陈文亮.组合侧喷式野外人工模拟降雨装置.水土保持通报,1984(5)
- [2]窦葆璋、周佩华.雨滴观测和计算方法.水土保持通报,1982(2)
- [3]郑粉莉.模拟降雨中地面坡度对雨滴动能影响研究.中国水土保持,1987(11)
- [4]周佩华等.降雨能量试验研究初报.水土保持通报,1981(1)
- [5]张禄.介绍两种模拟降雨实验的革新测试仪器.水土保持通报,1984(6)
- [6]郑粉莉等.坡耕地细沟侵蚀发生、发展和防治途径探讨.水土保持学报,1987(1)
- [7]张科利.黄土高原坡面产沙分配及其与降雨特征关系的研究.泥沙研究,1991(4)