

# 林区的模拟降雨试验研究\*

陈文亮 郑粉莉 蔡庆 白红英 张科利

(中国科学院水利部西北水土保持研究所·陕西杨陵·712100)

**摘要** 论述的内容分两部分,一是野外人工模拟降雨的试验方法,对侧喷式降雨装置的安装参数,主要的降雨特性以及试验小区的布设与设备进行了介绍。二是对林地与开垦裸露地的降雨试验结果分析,认为,林地具有截流、拦蓄的功效,可以改善降雨径流入渗条件。在不同处理的情况下,林地与新开垦地、撂荒地相比,其效益,可减少径流90%以上,可减少泥沙99%以上。

**关键词** 林地 模拟降雨试验 林地开垦径流 径流泥沙

## Study on Simulated Rainfall Experiment of Forest Region

Chen Wenliang Zheng Fenti Cai Qing Bai Hongying Zhang Keli

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

**Abstract** Firstly, the experiment methods of simulated rainfall is introduced in this paper. installing parameters of rainfall simulator of side sprinkler, and properties of simulated rainfall and installation of test plots in the field are discussed. Secondly, experimental results of forest land, and reclaimed and bare land have been analysed. It is considered that forest land has function of interception rainfall and increased infiltration. Comparing forest land with new cultivated land or wasteland, benefit of reduced runoff and sediment in forest land is above 90% and 99% respectively, at the different experiment treatment conditions.

**Key words** forest land simulated rainfall experiment forest land being reclaimed runoff and sediment

## 1 人工模拟降雨试验方法

过去,人工模拟降雨实验研究,多数是在非林地区进行。为了加快研究林地和林地开垦后侵蚀程度的变化,我们尝试了用侧喷式野外人工模拟降雨装置。在林地和开垦地进行模拟降雨试验研究,并取得成功。

### 1.1 模拟降雨装置

使用的模拟降雨装置,是野外侧喷式人工模拟降雨装置。由消防供水车供水,水箱储水容量 $3.5\sim 4\text{m}^3$ ,供水压力 $0\sim 5\text{kg/cm}^2$ 。

#### 1.1.1 装置的结构与安装参数

收稿日期:1993-03-03

\*国家自然科学基金资助重大项目

1.1.1.1 降雨喷头,由喷头体、碎流挡板、出流孔板等部分组成。出流孔板的孔径分别为 $\varnothing 5$ 、 $\varnothing 7$ 、 $\varnothing 9$ 、 $\varnothing 11$ 、 $\varnothing 13$ 、 $\varnothing 15\text{mm}$ 等6种,更换不同的孔径孔板。可获得不同的降雨强度。

1.1.1.2 喷头安装在降雨座架上,座架为三角支架,座架高 $5\sim 8\text{m}$ 。

1.1.1.3 降雨方式,由两个喷头对喷形成叠加降雨,两个喷头座架的相对距离为 $7\sim 8\text{m}$ 。

1.1.1.4 供水时用消防水管,由消防水箱引入分水箱。再用软管接到降雨座架的供水管上,供水及供水压力由消防供水车控制。

### 1.1.2 降雨特性

1.1.2.1 降雨强度。更换6种不同的孔径孔板,能获得 $0.5\sim 4\text{mm/min}$ 雨强范围的降雨。

1.1.2.2 降雨分布均匀性。喷头压力在 $0.5\sim 2.5\text{kg/cm}^2$ 时,在降水面积 $7\text{m}\times 2.25\text{m}$ 的范围内, $\varnothing 9$ 、 $\varnothing 11$ 、 $\varnothing 13$ 、 $\varnothing 15\text{mm}$ 孔径孔板的降雨分布均匀系数可达80%以上。

1.1.2.3 雨滴直径大小与分布。根据实测,该降雨装置的雨滴直径最大可超过 $4\text{mm}$ ,其雨滴的中数直径在 $1\sim 3\text{mm}$ 。根据布兰查德(1943)哈德逊(1963)等人对天然降雨研究的资料,降雨强度在 $50\sim 200\text{mm/h}$ ,出现的雨滴中数直径为 $2.5\text{mm}$ 的数量级。所以该降雨装置的雨滴大小和分布,雨强在 $0.8\sim 3\text{mm/min}$ 的范围内,与天然降雨较相似。

1.1.2.4 雨滴下落速度。根据劳斯(J. O. Lows)等人的研究,不同粒径大小的雨滴要达到相应的终点速度,需要不同的降落高度, $0.1\sim 4.0\text{mm}$ 直径的雨滴,降落高度需要 $0.05\sim 7.8\text{m}$ ,而该装置的安装高度是 $6\sim 8\text{m}$ ,加上喷头的喷高 $1\sim 1.5\text{m}$ ,雨滴的实际降落高度可达 $9\text{m}$ 以上。这个高度虽然不能满足直径为 $0\sim 6\text{mm}$ 全部雨滴的下落终点速度,但对于直径在 $0\sim 4\text{mm}$ 雨滴的降雨,其高度已满足雨滴下落终点速度。

1.1.2.5 通过林地的降雨试验,对林地植被来说,枝叶茂密的树冠,可以拦挡绝大部分雨滴直接打击地表。消减了雨滴对地表的打击力。在此情况下,降雨时主要考虑的是,经过树冠的树干流或枝叶上滴落下来的雨滴对地表的打击作用。所以,在林地上进行模拟降雨试验时。要考虑树的高度,若树的高度超过降雨装置的安装高度,要增加降雨装置的安装高度,使其高于树冠,确保降雨均匀分布在试验小区的树冠上。上述条件满足才可进行人工降雨试验。

## 1.2 试验小区

在进行植被与土壤侵蚀关系的实验研究时,首先要根据研究对象来选择不同植被类型,以及不同土地利用类型的试验地,如林地,草地、撂荒地,农地等。同时要考虑不同的土壤类型,以及坡度,坡长等地形因子,上述因子也是影响土壤侵蚀的重要因素。为了适应各种情况试验小区的设置不是固定的,而是随意移动式的,其形成和基础设备与一般的径流试验小区相似。如图1。

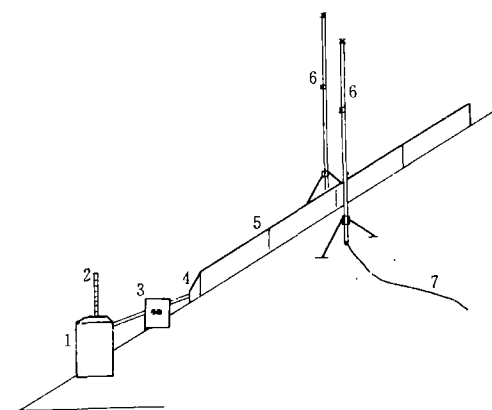


图1 试验小区布设

1. 储水桶 2. 水位标尺 3. 分流桶 4. 集水槽  
5. 试验槽 6. 降雨装置 7. 供水管

### 1.2.1 试验小区布设

#### 1.2.1.1 试验小区的设施。在选定的试验

地上,用 $1\text{mm}$ 左右的薄钢板或 $3\text{mm}$ 左右的塑料板,截成宽 $30\text{cm}$ ,长 $1\text{m}$ ,作为试验槽的边框。薄板埋入地下 $20\text{cm}$ 左右。上露 $10\text{cm}$ 、周围夯实。边框的尺寸,根据试验小区的大小要求而定。在试验

槽的下方,安装集流槽,集流槽的出流口接分流桶,分流桶上设若干个圆形出水孔。控制出流量,再用导管引入储水桶,储水桶上安装浮子水位计,以备观测降雨过程中不同时段径流泥沙的变化情况。这种活动的试验槽,移动方便、适应性强,可以满足在任意选定的试验场地上进行试验,大大提高试验的效率。

1.2.1.2 试验小区的面积。试验小区的大小确定,主要考虑到降雨喷头的散水面积大小,以及降水分布均匀性最佳的降水面积,还要有一定的坡长,保证小区有一段稳定会聚的径流区。试验小区能适于不同植被地的试验,即小区应能包容一片有代表性的植被覆盖层。所以试验小区的面积,选定为长 5m、宽 1.5m。

1.2.2 林地试验小区的降雨试验 林地降雨试验如表 1,为了林地的降雨试验结果。我们还选择了林地被砍伐后的开垦地和撂荒地,作为林地降雨试验的对照试验。

表 1 林地试验小区的试验设计

小区面积(m <sup>2</sup> )	坡度(°)	降雨强度(mm/min)	植 被 情 况
5×1.5	10	1.5	1. 植被良好的林地
		2.0	
		2.5	
	20	1.5	2. 树木砍伐后的开垦地
		2.0	
		2.5	
	30	1.5	3. 撂荒地
		2.0	
		2.5	

注:降雨量控制在 30~100mm

1.2.2.1 林地情况。林地选择在富县任家台林场。试验小区分别布置在沟沿线上下。林地为天然次生林,覆被度 100%。主要树种有辽东栎,杨树,榆树等。平均树高 3.3m。林下有羊胡子等草种,枯枝落叶层厚 2~3cm,半分解的腐烂层厚 3~4cm。

1.2.2.2 坡度的选择。坡度对土壤侵蚀量的影响,随着坡度的增加土壤侵蚀量均有明显的增加。一般的来说在一定坡度限度内,坡度愈大,径流的流速愈大,破坏土壤的力量也愈大,则侵蚀愈强烈。因此,试验小区选定在 10°、20°、30°左右等 3 种数量级的坡度上。

1.2.2.3 降雨强度的确定。降水量对土壤侵蚀量的影响,降水量愈大,产生的径流量也愈大。土壤侵蚀量也就愈高。试验观测证明,土壤侵蚀的强弱主要是与一次降水量的大小有密切关系,但并不是所有的降水都能引起强烈的土壤侵蚀,土壤侵蚀是由几次暴雨造成的,所以强烈的土壤侵蚀与降雨强度有密切的关系。另外,土壤侵蚀的强弱与前期的降水量也有密切关系。为此,将降雨强确定为 1mm/min、1.5mm/min、2mm/min、2.5mm/min 以及 3mm/min 5 个数量级,降雨量控制在 30~100mm。

2 试验结果分析

野外人工模拟降雨试验,我们已先后在富县任家台、志丹县、长武王东沟等地进行了不同土地利用类型,不同植被类型以及不同降雨强度,不同坡度的实验研究。下面仅就林地和植被破坏后对土壤侵蚀产沙影响的试验,进行论述。

2.1 林地植被对土壤侵蚀的影响

植被防止土壤侵蚀功效的大小,决定于植被的类型和植物的被覆度。就植被类型而言,森林的防蚀功效最大,其次是草地。生长期的农作物也有一定的防蚀功效。就植物的被覆度来说,被覆度

愈大,其防蚀功效也愈大。

2.1.1 截流与拦蓄作用 植被犹如让大地披上了一件防护衣,若失去它,遇雨时,雨滴就会直接打击到裸露的地表上,破坏土壤的结构,使土粒飞溅四移,随径流被挟带走。若在枝繁叶茂的森林地区,雨滴被植物的枝叶拦截,保护地表免遭打击而引起降雨溅蚀。只有降雨量或降雨强度超过植物枝叶的截流能力时,才有可能发生降雨径流。而植物的根系和枯枝落叶等死被物,富于吸水性能,储蓄水分,径流进一步被拦蓄,同时也增加了地表的糙率,如发生地表径流,还可滞缓径流的冲刷破坏,从而,可以防止或减少水土流失。

表 2 林地、撂荒地、新开垦地的径流系数比较

坡 度	降雨强度(mm/min)	降雨量(mm)	径 流 系 数		
			林 地	撂 荒 地	开 垦 地
20°	1.4	41.4	0	0.48	0.84
	2.0	61.5	0	0.62	0.86
	2.5	75.3	0	0.56	0.91
33°	1.4	41.4	0.11	/	0.86
	2.0	61.5	0.21	/	0.91
	2.5	75.3	0.09	/	0.93

从表2可以看出,林地与植被破坏后径流的变化情况,在雨强2.5mm/min,雨量高达75.3mm,坡度20°时,植被度较好的林地,没有径流发生,其径流系数为0。而林地开垦后,植被被破坏,其径流系数高达0.91。撂荒地的径流系数在0.48以上。当坡度增加到33°时,林地径流系数仍然很低,最大为0.21,说明了径流量仍然很小,绝大部分径流被拦蓄。而新开垦地的径流系数高达0.93,林地与新开垦地相比较,径流量可减少80%以上。说明林地拦蓄径流和阻缓径流冲刷,对土壤侵蚀的发生有很大的影响,对防止土壤侵蚀有极重要的作用。

2.1.2 改善入渗条件 林下良好的土壤结构,有利于降雨径流的渗透,也是起着消减地表径流,防止水土流失的作用。林地植被被破坏,就会造成林下土壤结构遭到破坏,土壤的有机质和土壤团聚体含量降低;土壤的整体结构和根系的固土作用被破坏,土壤的松散性和分散性增加,使其径流渗透减少,暴雨时,极容易引起强烈的土壤侵蚀。

表 3 林地、新开垦地径流入渗比较

处 理	降雨强度(mm/min)	降雨量(mm)	径流量(m³)	入渗深度(cm)	平均入渗深度(mm/min)
林 地	1.4	38.6	0	30	10.71
开垦地	1.4	38.6	0.2276	10	3.57
林地/开垦地				3	3

由表3,林地和新开垦地径流入渗情况可看出,在降雨强度1.4mm/min,降雨量为38.6mm时,林地的径流全部被拦蓄,而新开垦地约30.6mm的降雨量,占总雨量的80%形成地表径流流出。其入渗深度,平均入渗速度,林地均是新开垦的3倍以上。在其它雨强处理的情况下也有类似的结果,最大达6倍。

以上说明,降雨和地表径流是发生土壤侵蚀和搬运泥沙的主要动力,植被具有拦截雨滴对地表的打击,又可拦蓄地表径流,同时可以改善林下土壤的结构,提高土壤的渗透能力。消减地表径流,对于防止水土流失有良好的结果。

2.2 林地、新开垦地和撂荒地对土壤侵蚀产沙的影响

在同一坡度上,用不同的三种雨强1.4mm/min、2.0mm/min、2.5mm/min,对林地以及植被破坏后的新开垦地,撂荒地等不同的土地利用类型的小区,进行一系列的试验,结果明显观测到,林地

的减沙效益最好,撂荒地和新开垦土壤侵蚀均较为严重,如表 4。

表 4 林地、撂荒地、新开垦地不同雨强下径流泥沙比较

项 目	雨强 (mm/min)	雨量 (mm)	林地	撂荒地	开垦地	林地比撂荒地的 减沙效益(%)	林地比开垦地的 减沙效益(%)	撂荒地比开垦地的 减沙效益(%)
径流量 (m <sup>3</sup> )	1.4	41.4	0	0.1412	0.2296	100	100	38.5
	2.0	61.5	0	0.2822	0.3496	100	100	19.3
	2.5	75.3	0.0237	0.3176	0.5140	92.6	95.4	61.7
泥沙量 (kg)	1.4	41.4	0	2.25	3.05	100	100	26.2
	2.0	61.5	0	12.98	16.83	100	100	23.0
	2.5	75.3	0.050	15.25	37.46	99.68	99.87	59.3
侵蚀模数 (t/km <sup>2</sup> )	1.4	41.4	0	301.2	406.67	100	100	26.2
	2.0	61.5	0	1730.6	2244	100	100	23.0
	2.5	75.3	6.67	2033	4954.67	99.68	99.87	59.3

注:坡度 20°

2.2.1 林地与新开垦地 在同一林地试验小区上,做完不同雨强的降雨试验后,将其林木砍伐,除去林下地被物,刨掉根等,进行翻耕,再分别进行与林地小区同雨强处理的降雨试验。

从表 4 可以看出,林地植被破坏后,地面失去拦截、拦蓄的保护层,径流量增大,挟带的泥沙量也增加。当雨强达 2.0mm/min,降雨量 61.5mm 时,林地尚未产生径流,而新开垦地产生的径流量已占降雨量的 75.8%。当雨强达 2.5mm/min,雨量为 75.3mm 时,林地有径流发生,径流量仅占降雨量的 4.3%,而新开垦地的径流量占降雨量的 91.3%。若林地与新开垦地相比较,林地可减少径流量 95.4%,其减沙效益在 99.87%。

2.2.2 林地与撂荒地 表 4 中的撂荒地是选择与林地小区相似的坡度,撂荒 2 年以上,植被度 20%~30%,长有铁杆蒿,白草等草种的荒地,在同雨强条件下进行降雨试验。结果表明,雨强 2.0mm/min。雨量 61.5mm 时,林地未产流,而撂荒地所产生的径流量已占降雨量的 61.1%;当雨强达 2.5mm/min,降雨量为 75.3mm 时,林地产流,径流量仅占降雨量的 4.3%,而撂荒地的径流量占降雨量的 45%。林地与撂荒地相比较,径流量减少 90.7%,其减沙效益在 99.68%。综上述的结果可初步看出,林地被开垦,植被一旦被破坏,无论是新开垦地或者是撂荒地,地表径流均明显增加,土壤侵蚀加剧,水土流失严重。如图 2。

2.2.3 撂荒地与新开垦地 撂荒地与新开垦地相比,相对两者与林地来说已降为另一个层次的比较。由表 4 看出,雨强在 2.5mm/min 时,林地与撂荒地相比,撂荒地的产沙量是林地的 35 倍;林地与新开垦地相比,新开垦地的产沙量是林地的 74.8 倍以上。而撂荒地与新开垦地相比,在 1.4mm/min、2.0mm/min、2.5mm/min 的雨强下,新开垦地的径流量分别是撂荒地的 1.2 倍、1.23 倍、1.6 倍;其产沙量分别为 1.35 倍、1.3 倍、2.4 倍。以上可看出撂荒地、新开垦地的径流泥沙在同一个数量级上变化。根据我们在《黄土高原地区综合治理开发研究简报》第 23 期的报导资料,对撂

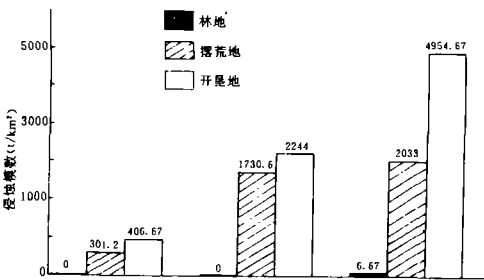


图 2 林地与植被破坏后不同雨强的土壤侵蚀情况

荒地的不同植被度和耕地上不同作物植被度的试验结果,植被度增加 10%,泥沙量可减少 5%左右。这样,在与林地植被相比,其减沙效益就显得很小了。

### 3 结 语

3.1 野外人工模拟降雨试验,国内进行不多,还不普遍,原因很多,其中之一就是降雨装置的问题。目前还没有一种机动性强,适应不同环境条件下工作的降雨装置,供其使用。侧喷式降雨装置,虽然易受风的影响,只要选择好无风的时间(如每天的早、晚),是可以避免或少受风的影响,另外该装置还有一个不足之处就是有效的降水利用率低,水的浪费较大。除此外,该装置的降雨特性与天然降雨特性较相似,可基本满足不同环境条件下的试验工作。小区设备为移动式,试验槽和观测设备较轻便。便于安装拆卸,移动方便,适应性强,经多次试验证明,对于野外试验工作,是可取的。

3.2 影响土壤侵蚀的因素很多,植被是诸多因子中较重要的一个,林地植被对土壤侵蚀产沙影响很大。模拟降雨试验的结果表明,林地植被破坏后,拦截雨滴的打击以及拦蓄地表径流的功效减弱,减沙效益降低,在 2.5mm/min 以内的三种不同的雨强情况下,林地比新开垦地或撂荒地,其减沙效益均在 99%以上。

所以保护森林,合理开发利用,严禁滥砍滥伐、毁林开荒,大力开展植树造林,对于水土保持、防止土壤侵蚀有极重要的意义。

#### 参考文献

- [1]陈文亮. 组合侧喷式或野外人工模拟降雨装置. 水土保持通报, 1984; (5)
- [2]唐克丽等. 黄土高原地区土壤侵蚀区特征及其治理途径. 中国科学技术出版社, 1990