

文章编号: 1000- 3037(2000)01- 0091- 06

不同治理度下小流域正态整体模型试验))) 林草措施对小流域径流泥沙的影响

袁建平^{1,2}, 蒋定生¹, 甘 淑³

(11 中国科学院、水利部 水土保持研究所, 陕西 杨陵 712100; 21 北京师范大学 资源与环境科学系, 北京 100875; 31 浙江大学 环境资源学院, 浙江 杭州 310029)

摘要: 首次运用正态整体模型模拟试验方法研究不同林草植被覆盖度下小流域径流泥沙变化规律, 结果表明: 小流域林草植被具有良好的减水减沙效益, 初步得出小流域治理水土保持林草措施最低下限值为 60%, 取得最佳水保效益的林草覆盖度值为 78%, 流域径渗比临界值为林草覆盖度 65%。

关键词: 覆盖度; 小流域; 模型试验; 林草措施

中图分类号: S 157; TV 13 1161⁺ 1

文献标识码: A

黄土高原多年来的治理开发实践证明, 实施以小流域为单元多学科协同攻关的治理模式, 是加快黄土高原综合治理的重要手段, 并且取得了良好的水保、经济和社会效益。但是由于采用的小流域试验方法是根据大量的、长期的观测资料, 经过统计分析来寻求事物的内在规律, 因此资料可比性差, 试验周期长, 投资大, 此外, 由于实际流域治理的不可重复性和对规划缺乏科学的检验, 无法预测规划的可行性, 如果规划出现技术上的失误, 就会造成巨大的经济损失。为此, 我们需要研究一种简化小流域试验周期和投资, 并且能在短期内检验实施在小流域内各种水保规划合理性与否的方法, 而采用以小流域为单元的正态整体模型试验方法恰好能满足我们的要求。它是按照一定比例尺构建小流域试验模型, 并配置各种治理措施, 在人工降雨条件下, 重现大暴雨引发的水土流失现象, 观测模型流域产流产沙的变化过程, 借以寻求小流域综合治理优化规划方案。

1 小流域正态整体模型试验简介

模型试验首先要解决模型与原型的相似性问题, 即原型与模型应几何相似、运动相似、动力相似。由于本试验主要着重于小流域水土流失现象和各种综合治理措施的模拟, 因此, 试验只需保证原型与模型比尺长、宽、高几何相似, 运动相似(泥沙输移规律相似), 动力相似(水流运动动力)重力影响相似^[1], 对于原型与模型水平梯田、林、草地、淤地坝等只需保证其在防治水土流失作用上具有相似性, 并不注重它们在几何尺寸上的绝对相似, 而有关模型与原型降雨相似、土壤相似问题参见文献 2~ 3。鉴于此, 本试验确定原型与模型比例尺长、宽、高分别为 1 B400, 即实行正态、整体模型试验^[1]。

模型试验设在中国科学院、水利部水土保持研究所安塞水土保持综合实验站, 原型为地处延河中上游

收稿日期: 1999- 01- 25; 修订日期: 1999- 04- 05。

基金项目: 国家 / 九五 科技攻关项目 / 区域水土流失防治与农业持续发展重大共性关键问题研究 0 (96- 004- 05- 12) 资助。

第一作者简介: 袁建平 (1971-), 男, 湖北鄂州人, 博士。现在北京师范大学资源与环境科学系博士后流动站工作, 主要研究方向为土壤侵蚀与水土保持。

致谢: 在模型制作及野外试验过程中得到陈文亮高工、范兴科副研、张兴昌博士及张光辉博士的大力协助, 在此一并致谢。

的纸坊沟小流域, 流域总面积 8127km², 土壤为黄绵土, 模型面积 5117m², 模型最大长度 1416m, 最大宽度 512m。

111 模型建造

(1)根据 1/5 000 的原型小流域地形图, 确定出小流域边界及流域内部特征地物的坐标和高差, 按比例缩小 400 倍。用砖筑砌边墙, 水泥砂浆抹面防渗, 边墙稍高于小流域边界各对应点的模型高度, 为防止流域外降水溅入模型, 需用水泥沙浆将砖墙顶部做成三角形。

(2)清除模型底部杂草、碎石, 并挖松 20cm, 然后向内填土, 分层夯实, 填土边界到达预定高程后, 留出沟道中心线及边缘线位置, 对照地形图, 并由原型实地考察的标记按比例雕刻出模型微地貌形态。

(3)在模型上按照一定治理度配置各种治理措施, 其中包括生物措施(林、草)、工程措施(梯田、柳谷坊、淤地坝)及耕作措施(等高耕作)。

(4)在模型流域出口处建一个径流泥沙观测设施。

112 下垫面水土保持治理措施的模拟

11211 水平梯田模拟

水平梯田是改造坡耕地的一项重要工程措施。根据小流域治理经验, 水平梯田一般应配置在地面坡度较平缓, 光温资源条件较好, 离居民点较近的坡中下部。为确保模拟的水平梯田不至于被大暴雨冲毁, 梯田田埂采用白铁皮制成, 埂高 10cm, 为防止雨水沿缝隙向下渗漏, 需要在模型边墙垂直于梯田田埂处筑一高 10cm 的土埂挡水, 同时在两台梯田的连接处, 培筑土埂, 挡水防渗。

11212 草地模拟

人工草地是治理坡地水土流失, 发展畜牧业生产的一项重要措施。草地模拟时, 先在模型上把拟铺植草皮的区域沿等高线整理成反坡水平阶, 然后铺植根系完好带土的长茅草和白羊草, 用剪刀将铺植草皮修整齐, 草高 5cm。

11213 林地模拟

林地模拟主要着重于枝叶截留和枯落层构成两方面。先根据纸坊沟流域林地面积和分布区域, 在模型对应区域铺上刺槐林地挖来的完整块状枯落层(厚 3~ 4cm), 为区分林地与草地, 插上高为 10cm 的带叶新鲜柳枝, 郁闭度约为 0.18。

11214 柳谷坊模拟

制作柳谷坊时, 先用长 20cm, 直径 1~ 1.5cm 的柳枝, 一端削尖, 在谷坊位置处垂直水流方向打入两排排距 10cm, 桩距 5cm 柳桩。柳桩高出沟道 10cm, 然后用细柳条在每条桩上编织成篱笆, 中间用小石块填实。

11215 淤地坝模拟

淤地坝是黄土高原小流域治理的一项独特的水土保持工程措施。淤地坝模拟采用 1/2 大件坝, 即坝体和溢洪道。具体过程为: ①在地形图上结合实地调查, 选出坝址, 然后在模型上按地形图选出的坝址确定模型上淤地坝的坝址; ②在修筑溢洪道时, 在坝地地势较好一侧开挖一深渠, 用土将结合部位填实, 一般溢洪道进口距沟道高差 5cm(骨干坝)和 31.5cm(淤地坝), 进口处用水泥处理, 使之牢固, 免于流水沟蚀。骨干坝的溢洪道用铁槽模拟, 淤地坝的溢洪道用两根上下排列的橡胶管模拟。骨干坝坝高 11cm, 淤地坝坝高 6~ 8cm。

11216 农耕地模拟

农耕地是小流域泥沙的重要来源地。模拟时在模型对应农耕地区域上沿等高线耙松其表土层。

11217 沟床模拟

采用堆砌小石块和水泥砂浆在模型相应区域对沟床及两岸基岩进行模拟, 以保证原型和模型在地貌形态上的相似性。

2 试验方法

试验采用人工降雨方法进行。降雨装置为 SR 型野外人工模拟降雨装置, 雨滴发生器为下喷钟摆式降

雨器,兼具侧喷式和下喷式的优点^[4]。模拟降雨装置的驱动马达由两台直流稳压电源控制,通过调节电源电压,改变马达的转速来控制喷头的摆动和截流水槽移动的频率,装置采用潜水泵供水加压,雨幕控制面积为 5m @ 5m,雨滴降落高度为 214m,雨滴平均粒径为 118mm,降雨均匀系数在 0.175~ 0.185 之间。由于黄土高原造成强烈水土流失的降雨为短历时高强度的暴雨^[5],故而本试验采用的降雨强度均为 210mm/min,属高强度降雨,降雨历时控制在 30min。

在模型流域出口处设集流堰,将水沙导入集流桶中。每隔一定时间读取集流桶水位读数,采集泥沙水样,用烘干法称取泥沙重量。

3 试验结果与分析

模型试验于 1998 年 7~ 9 月进行,本文主要研究林草覆盖度为 100%、85%、70%、60%、40%、20%、0 时的小流域径流泥沙变化规律及不同覆盖度下的林草措施减水、减沙效益。关于坡面(梯田)、沟道(淤地坝、柳谷坊)水土保持工程措施在不同治理度下对小流域径流泥沙的影响,将在另文予以报道。

3.1.1 不同林草覆盖度(V)下小流域径流泥沙变化规律

每次试验在保证土壤初始含水率(0~ 50cm)、土壤容重(0~ 50cm)接近的情况下进行,以消除它们对试验结果的影响。试验中的林草覆盖度均指除去流域内硬地物(如住宅、工厂等)外的林草面积比例。现将不同覆盖度下的降雨情况及土壤物理性状一并列于表 1 中。

表 1 不同覆盖度下降雨及土壤物理性状

Table 1 Soil physical condition and rainfall in different cover degrees

覆盖度 (%)	产流历时 (min)	30min产流 总量(m ³)	30min产沙 总量(g)	土壤初始含水率(%) ^x		土壤容重(g/cm ³) ^x	
				0~ 20cm	20~ 50cm	0~ 20cm	20~ 50cm
100	1.40	0.505	0.86	15.11	16.01	1.22	1.31
85	1.25	1.058	1.515	15.09	15.86	1.19	1.27
70	1.13	1.412	4.338	15.14	15.67	1.21	1.26
60	0.97	1.977	24.11	15.22	15.74	1.26	1.31
40	0.86	2.167	57.29	15.36	16.21	1.22	1.32
20	0.75	2.194	88.75	14.98	15.31	1.17	1.24
0	0.62	2.628	123.07	15.02	15.94	1.19	1.26

注: X系模型流域上、中、下游各 3 次测定平均值之平均值。

3.1.1.1 覆盖度对产流历时(t_p)的影响

由表 1 可知,随着植被覆盖度降低,产流历时随之提前,这主要是由于林草植被阻缓降雨形成地表径流,造成流域汇流速度减慢,从而使产流历时延长;此外,随着植被覆盖度增加,枯落层厚度加大,强化降水就地入渗功能增强,也使得地表径流形成缓慢,产流历时延长。经统计分析得出植被覆盖度 V 与产流历时 t_p 之间的回归方程为:

$$t_p = 0.16234 e^{0.1008 V} \quad r = 0.1938$$

3.1.1.2 覆盖度对 30min 产流总量(Q)、产沙总量(S)的影响

据唐克利等人^[6]研究表明,林木被伐,而地面枯枝落叶层及林下草灌、土层结构未遭破坏,其防止土壤侵蚀和拦蓄降雨径流作用与原有林地类同,故而本试验采用林草来模拟森林不同覆盖度下小流域径流泥沙变化,从模拟水土流失现象的角度讲是可行的。经点绘不同覆盖度与 30min 产流量、产沙量的关系(图 1)可看出,植被覆盖度与 30min 产流量呈明显指数负相关,而与产沙量呈显著线性负相关。其关系式如下:

$$\text{当 } 0 \leq V \leq 100\% \text{ 时, } Q = 21791 e^{-1.1012 V} \quad r = -0.1974$$

$$\text{当 } 0 \leq V \leq 70\% \text{ 时, } S = 1231119 - 11674 V \quad r = -0.1988$$

$$\text{当 } 70 < V \leq 100\% \text{ 时, } S = 121092 - 0.1116 V \quad r = -0.1994$$

31113 不同时段、不同植被覆盖度下小流域径流泥沙变化规律

按照覆盖度的不同, 试验时从降雨一开始每隔 215min 测定径流泥沙变化情况, 共计 30min。将所测数据绘成三维柱状图(图 2)。由图 2 可知, 不同林草覆盖度下, 随着降雨历时的延长(由 215~ 30min), 流域产流量呈现明显梯状变化。初始时段(215min) 由于降至地表的雨水部分入渗、部分形成地表径流, 而且植被覆盖度越大, 产流历时越长, 地表形成径流的量就越少。产流量的时段变化随林草覆盖度的不同而呈现两种梯度变化趋势, 即林草覆盖度为 0%~ 60% 和 70%~ 100%。前者初始时段产流量基数较大, 且随着时段延长, 产流量增加梯度较大; 后者初始时段产流量基数小, 且随时段延长产流量增加梯度较小, 故而可以认为, 林草覆盖度 60%~ 70% 是径流量时段变化梯度的转折点。泥沙量的时段变化趋势同径流量相类似, 只是其变化幅度更大, 林草覆盖度为 70%~ 100% 时的时段产沙量同 0%~ 40% 时的相比, 几乎可以忽略不计, 而覆盖度 60% 是时段产沙量升降的转折点。

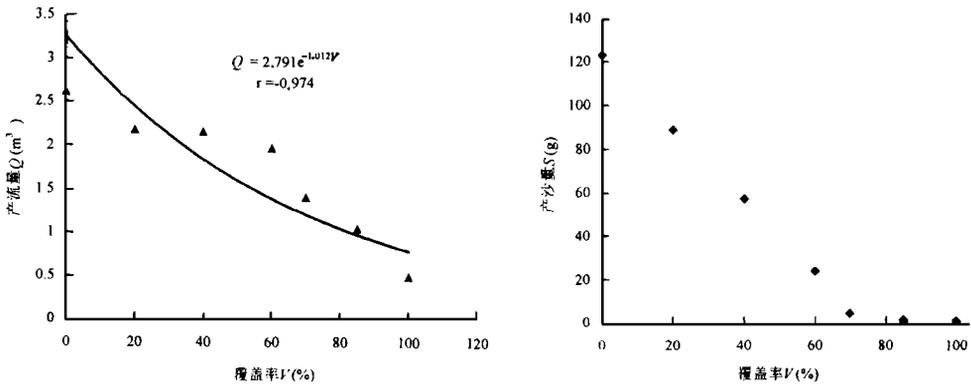


图 1 覆盖度对 30min 产流总量、产沙总量的影响

Fig. 1 The effect of cover degrees on runoff and sediment yield during 30 minutes

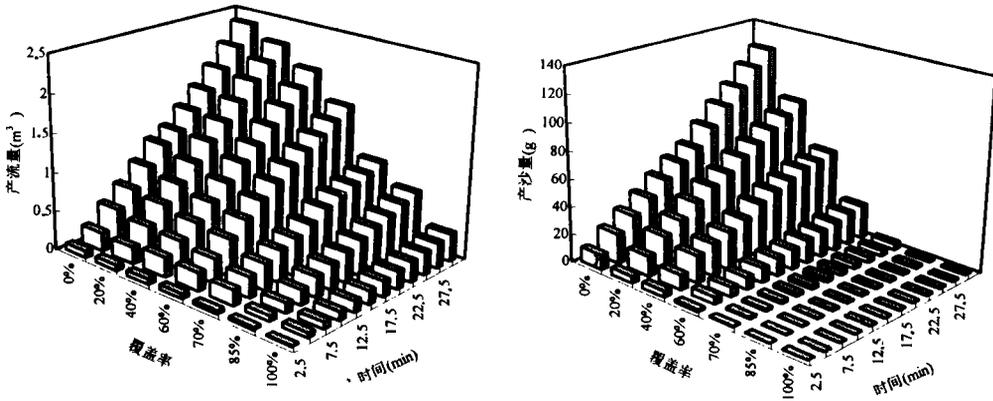


图 2 不同时段小流域径流泥沙变化

Fig. 2 Comparison of runoff and sediment yield of small watershed at different time intervals

312 不同林草覆盖度下林草措施减水减沙效益

随着林草植被覆盖度的递减, 流域径流泥沙量变化极为显著(表 2)。

31211 径渗比(A)

指流域一次降雨产流量 Q 与入渗量 I 之比值, 用 $A = Q/I$ 表示, 是表征流域产流与否的因子。当 $A >$

1 时, 流域降水以产流为主, 入渗量减少; 当 $A < 1$ 时, 流域降水以入渗为主, 径流量减少。当 $A = 1$ 时, 流域处于入渗产流的临界状态。据试验结果(表 2)分析得出, 纸坊沟小流域降水径渗比 A 处于临界状态的林草覆盖度 V 为 60%~70%, 取其中间值 65%。

表 2 不同覆盖度下林草措施减水减沙效益

Table 2 Runoff and sediment reduction benefits of forest and grass measures in different cover degrees

覆盖度 V (%)	30min降雨量 R (mm)	30min径流量 Q (mm)	30min入渗量 I (mm)	30min产沙量 S (g)	径渗比 A	减流效益 (%)	减沙效益 (%)
100	60	9.77	50.23	0.86	0.20	80.78	99.3
85	60	20.46	39.54	1.515	0.52	59.75	98.77
70	60	27.31	32.69	4.338	0.84	46.27	96.48
60	60	38.24	21.76	24.11	1.76	24.77	80.41
40	60	41.92	18.08	57.29	2.32	17.53	53.45
20	60	42.44	17.56	88.75	2.42	16.51	27.89
0	60	50.83	9.17	123.07	5.54	0	0

31212 减流减沙效益

由表 2 可知, 与裸地(林草覆盖度为 0)状态下的小流域相比, 随着林草植被覆盖度的增加, 减流减沙效益逐渐提高, 特别是当覆盖度达 60% 以后, 林草植被的减流减沙效益更加明显, 但减流效益远不如减沙效益显著。当植被覆盖度为 100% 时, 减流效益为 80178%, 而减沙效益高达 9913%。通过比较覆盖度为 100%、85%、70% 时的三组减流减沙效益数据可知, 随着 V 从 70% 递增至 100%, 其减流效益变化幅度较大, 为 34103%; 而减沙效益变化仅为 2182%, 这充分体现林草植被蓄纳降水、防治水土流失的作用, 但是这种作用的最好表现形式并非是林草植被度越高越好, 我们的试验结果表明, 对于黄土高原小流域治理的生物(林草)措施而言, 当其覆盖度达 70%~85% 时, 已基本上能减少小流域降雨径流的一半以上, 减少径流产沙量 98% 左右。因此, 建议将林草植被覆盖度 78% (中间值) 作为黄土高原小流域生物治理措施的最佳比例。

4 结 论

(1) 现行对不同措施(工程措施、生物措施)治理度下的小流域水土流失、径流变化研究大多采用长期定位试验的方法, 试验周期长, 投资大, 且无法及时检验实施在小流域上的各种治理措施配置的合理性, 易于造成不必要的经济损失, 而本文所采用的正态整体模型试验方法可以解决现行方法的不足, 试验证明该方法是一种可以在黄土高原乃至全国小流域综合治理普及推广的新方法。

(2) 不同林草植被覆盖度下的小流域正态整体模型试验是一项开拓性的工作, 国内外均未进行过。其主要是针对水土流失现象进行模拟, 通过模型试验来检验流域内不同林草覆盖度对流域水沙的调控程度, 寻求减水减沙的最佳配置模式。因此, 只要保证模型几何相似、流态相似、泥沙输移问题相似就能取得理想的结果。

(3) 试验结果表明, 纸坊沟流域治理生物措施的林草植被覆盖度最低下限指标为 60%; 流域径渗比临界值为林草覆盖度 65%; 流域生物措施取得最佳减水减沙效益的林草覆盖度值为 78%。

(4) 林草植被覆盖度与 30min 产流总量呈明显指数负相关, 与 30min 产沙总量呈显著线性负相关。

参考文献:

- [1] 蒋定生, 周清, 范兴科, 等 1 小流域水沙调控正态整体模型模拟实验[J] 1 水土保持学报, 1994, 8(2): 25~ 301
- [2] 雷阿林, 唐克丽 1 土壤侵蚀模型实验中的降雨相似及其实现[J] 1 科学通报, 1993, 40(21): 2004~ 20061
- [3] 雷阿林, 史衍玺, 唐克丽 1 土壤侵蚀模型实验中的土壤相似性问题[J] 1 科学通报, 1996, 41(19): 1801~ 18041
- [4] 蒋定生 1 黄土高原水土流失与治理模式[M] 1 北京: 中国水利水电出版社, 1997. 293~ 2941

- [5] 王万忠, 焦菊英. 黄土高原降雨侵蚀产沙与黄河输沙[M]. 北京: 科学出版社, 1996. 34- 40.
- [6] 唐克丽, 张科利, 郑粉莉, 等. 子午岭林区自然侵蚀和人为加速侵蚀剖析[A]. 西北水土保持研究所集刊(第17集)[C]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1993. 17~ 28.

Simulated experiment on normal integral model of different control degrees for small watershed

YUAN Jianping^{1,2}, JIANG Dingsheng¹, GAN Shu³

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Science and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Department of Resources and Environment, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 3. Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang 310029, China)

Abstract: Results of simulating Experiment on Normal Integral Model of different forest and grass coverage degrees, show that forest and grass measures of small watershed are effective in reducing runoff and sediments. They can attain initially the lowest value of 60 percent and the best value of 78 percent in conserving soil and water by taking forest and grass measures for small watershed management, giving the critical value of 65 percent of runoff and infiltration ratio for small watershed.

Key words: coverage degree; small watershed; model experiment; forest and grass measure