

文章编号: 1672-3317(2007)03-0019-04

林草措施调控坡面降雨径流输沙 效应的初步研究*

田 栋, 高建恩, 吴普特, 舒若杰, 杨世伟, 唐小娟

(西北农林科技大学, 中国科学院 水利部 水土保持研究所,
国家节水灌溉杨凌工程技术研究中心, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 利用人工模拟降雨小区试验, 分析了林地和草地 2 种生物措施在不同坡度、不同雨强下的径流调控和产沙机制。结果表明, 产流时间和降雨强度之间存在幂函数关系, 与单宽输沙率之间存在线性关系, 单宽输沙率与单宽流量之间亦存在线性关系。并对 2 种措施的调控效应进行比较, 草地措施的产流、产沙调控效应均优于林地措施。

关 键 词: 林草措施; 径流调控; 产流起始时间; 单宽输沙率; 调控效应

中图分类号: S157.1 文献标识码: A

在黄土高原, 降雨分布极不均匀, 主要集中在 6~9 月, 且多以暴雨的形式出现, 降雨径流产生的水土流失动力即侵蚀力主要为雨滴打击力和水流的冲刷力。降雨径流调控的目的之一就是为消除或减少降雨径流对土壤的侵蚀力, 从而影响或根本地改变流域径流量和产流、产沙过程, 从根本上消除坡面径流形成的动力^[1,2]。

1 试验设计与方法

1.1 试验区概况

试验在国家节水灌溉杨凌工程技术研究中心节水示范园进行。采用侧喷式降雨器进行人工降雨, 压力用变频柜控制。喷头高度 8 m, 均匀系数可达到 75% 以上。径流小区长 5 m, 宽 2 m, 坡度分别为 12b、15b、20b, 坡向一致, 小区土样选择具有代表性的轻粘土, 试验土壤颗粒级配见表 1^[4]。

表 1 试验用轻粘土颗粒级配

粒径/mm	1~0.25	0.25~0.05	0.05~0.01	0.01~0.005	0.005~0.001	<0.001
比例/%	0.1	1.6	34.9	14	17.4	32

1.2 林草措施布设

将供试土壤除去杂草及石块后, 风干并过 10 mm 筛孔进行预处理, 随后洒水静置 24 h, 拌和均匀, 分层(每隔 20 cm)装土, 均匀压实, 每次在填装下一层之前将表土打毛, 使 2 层土体紧密的结合, 容重控制在 1.30 g/cm³ 左右, 降雨之前土壤重量含水量控制在 18% 左右, 以使各小区降雨前期土壤含水量基本一致。

在试验小区上分别布设林、草措施, 以同坡度下的裸地作为对照。草地草种为匍匐翦股颖, 适宜干旱, 寒冷的气候, 对北方和过渡带气候有广泛的适应性, 试验时将草皮铺在坡面上, 均匀的踏实, 草的高度为 10 cm 左右, 林地树种为四翅滨藜, 适宜干旱寒冷的气候, 能在年均降水量 350 mm 以下、年均气温 5 e 左右、干旱、半干旱的荒漠盐碱地带良好生长。试验时将 2 年生的四翅滨藜移植到径流小区上, 行、株距为 20 cm @20 cm, 植株高度 40 cm 左右。措施布设好之后, 湿润坡面, 以使移植的林草成活, 待其长势良好后即可进行试

* 收稿日期: 2006-10-13

基金项目: / 十一五国家支撑计划(2006BAD09B01)

作者简介: 田栋 (1982-), 男, 甘肃武山人, 硕士研究生, 主要研究方向为水土保持与水土资源高效利用。

通讯作者: 吴普特(1963-), 男, 研究员, 博士生导师, 主要从事水土保持、节水灌溉工程技术及雨水资源高效利用技术研究。

验。根据黄土高原暴雨统计,选取暴雨的边界值 50 mm 作为该试验降雨量的标准,选取 0.58、1.58 和 2.14 mm/min 3 个模拟降雨设定雨强,并在每次降雨的时候在坡面固定的位置放置雨量桶,用来校准雨强。准备工作完成后,即可在无风、蒸发量不大的天气条件下进行人工降雨。

1.3 测定内容和方法

以试验小区下端出现线状水流为产流开始的标志,记录不同措施次降雨的产流起始时间。在试验过程中,每间隔 5 min 接取 10 s 的含沙水样,测定其时间段内的径流量、含沙量,并测定次降雨的径流量和侵蚀量。含沙量用烘干法测定;在试验前和降雨结束后测定土壤含水量,测定工具为 FDR(MP-406,艾格瑞生态检测技术有限公司生产);待产流稳定后用红墨水法测定坡面径流流速,多次测定求其平均值,考虑到用红墨水法测定的流速为坡面优势流流速,实测流速乘以修正系数 0.75,作为水流断面平均流速。

2 结果与分析

2.1 林草调控措施产流输沙过程

表 2 反映了部分坡面的林草调控措施在较小(0.58 mm/min)和较大(2.14 mm/min)雨强下,单宽流量、含沙率、单宽输沙率和径流系数的变化情况。分析表 2 可以看出,同坡度下,不论是在小雨强还是在大雨强的情况下,草地坡面的单宽流量、单宽输沙率和径流系数均比林地措施要小,这种变化随坡度的增大而增大的趋势也不明显。在小雨强的情况下,林地措施的单宽流量、单宽输沙率和径流系数均比同坡度下的草地措施略大一些,但是随着雨强增大到 2.14 mm/min,单宽流量、单宽输沙率和径流系数均比草地坡面有了显著的增大,单宽输沙率的增大最为明显。说明草地拦截坡面降雨径流的效果要比相同覆盖度下的林地要高。坡面降雨径流量减小,坡面产沙也就相应的减小,从而达到径流调控的目的。

表 2 林草措施调控坡面产流输沙特征

雨强/ (mm# min ⁻¹)	坡度	措施	单宽流量/ (L# m ⁻¹ # s ⁻¹)	含沙率/ (g# L ⁻¹)	单宽输沙率/ (g# m ⁻¹ # s ⁻¹)	径流 系数
0.58	1b	裸地	0.009	2.87	0.026	0.208
	1b	草地	0.005	1.29	0.006	0.108
	1b	裸地	0.011	3.68	0.040	0.248
	1b	草地	0.007	1.13	0.008	0.172
	1b	林地	0.009	2.09	0.019	0.214
	2b	裸地	0.013	5.78	0.076	0.304
	2b	林地	0.010	3.47	0.040	0.28
	2.14	1b	裸地	0.014	25.83	0.352
1b		草地	0.006	1.32	0.008	0.144
1b		裸地	0.014	25.83	0.363	0.324
1b		草地	0.010	1.52	0.016	0.236
1b		林地	0.011	8.75	0.093	0.246
2b		裸地	0.016	29.49	0.484	0.378
2b		林地	0.013	24.81	0.348	0.311

2.2 林草调控措施对坡面径流和输沙的影响

将试验数据点绘成图,依据散点的分布趋势对林、草地产流历时与雨强的关系选用幂函数曲线进行拟合,分析表明,林草措施的径流起始时间 t_p 与雨强 i 存在如下关系:

草地: $t_p = 11.097i^{-0.6207}$ ($n = 8, R^2 = 0.8852$);

林地: $t_p = 7.5344i^{-0.2808}$ ($n = 8, R^2 = 0.9464$);

裸地: $t_p = 4.1573i^{-1.4501}$ ($n = 9, R^2 = 0.9417$).

可以看出,草地的常数项最大,为 11.097,林地次之,裸地最小,故而草地的起始产流时间最长,林地次之,裸地产流最早。式中的指数项均小于零,表明无论是草地、林地还是裸地,雨强和产流起始时间均呈负相关关系。

对于林草地措施和裸地雨强和单宽输沙率之间的关系,通过回归分析可知,雨强和单宽输沙率之间存在简单的线性关系,可以用下式表示:

$$g^b = ki + l$$

式中: g_b 为单宽输沙率, $kg/(s \# m)$; k 和 l 为系数。

k 表示斜率, 即单宽输沙率随雨强变化而变化的快慢程度; l 为截距, 表示最小雨强时的起始单宽输沙率。下面各式为草地、林地和裸地措施下雨强和单宽输沙率之间的关系:

草地:
$$g_b = 0.5759i + 0.4998 \quad (n = 8, R^2 = 0.8831);$$

林地:
$$g_b = 11.292i - 5.9469 \quad (n = 8, R^2 = 0.9324);$$

裸地:
$$g_b = 12.973i - 0.6001 \quad (n = 9, R^2 = 0.913).$$

可以看出, 草地的 k 和 l 值均很小, 说明草地措施的单宽输沙率随雨强增加而增加的幅度并不大, 同时单宽输沙率的起始值也很小; 林地和裸地的 k 值相差不大, 表示林地和裸地措施的单宽输沙率随雨强变化而变化的快慢程度基本一样, 而林地的 l 值较裸地对照小, 说明林地的起始单宽输沙率较裸地小, 也就导致了林地的输沙率居于草地和裸地之间。

通过回归分析可以拟合出不同径流调控措施下单宽流量和单宽输沙率之间的关系。对于坡面林草措施和裸地而言, 单宽流量和单宽输沙率之间的关系, 可以用下式表示:

$$g_b = mq + n$$

式中: q 为单宽流量, $m^3/(s \# m)$; m 和 n 为系数。下面各式即为草地、林地和裸地单宽流量和单宽输沙率之间的关系:

草地:
$$g_b = 20.605q - 15.534 \quad (R^2 = 0.9685);$$

林地:
$$g_b = 53.157q - 41.763 \quad (R^2 = 0.9567);$$

裸地:
$$g_b = 65.628q - 53.568 \quad (R^2 = 0.9437).$$

分析上述关系式, 式中 m 表示斜率, 即单宽输沙率随单宽流量变化而变化的快慢程度, 式中裸地的斜率最大, 林地次之, 草地最小, 说明裸地单宽输沙率随单宽流量增大而增大的最快, 草地最小, 林地居中。 n 表示最小单宽流量时的起始单宽输沙率, 同样是裸地最大, 林地居中, 草地最小。

2.3 林草措施径流调控效应

为了描述调控措施的调控作用, 分别引入径流与泥沙调控率的概念^[6]。所谓径流调控率是指布置某种调控措施后单位(时间或面积)产流量相对于对照措施单位产流量的变化百分率; 产沙调控率是指布置某种调控措施后单位(时间或面积)产沙量相对于对照措施产沙量的变化百分率。可分别表示为:

$$C_w = \frac{W_s - W_0}{W_0}$$

$$C_s = \frac{G_s - G_0}{G_0}$$

式中: C_w 、 C_s 分别为径流和泥沙调控率, -0 表示相对于对照减少的百分数; W_s 、 W_0 分别为调控措施和对照坡面单位时间(或单位面积)上的产流量; G_s 、 G_0 分别为调控措施和对照坡面单位时间(或单位面积)上的产沙量。

从表3可以看出, 各坡度下, 不论是大雨强还是小雨强, 草地坡面的径流调控效应明显优于林地, 产流调控率平均能达到40%, 高出林地的调控率近1倍; 草地的产沙调控率平均能达到80%, 也要远高出林地的调控率。

表3 林草措施径流调控效应

雨强/ ($mm \# \min^{-1}$)	坡度	措施	产流 调控率/%	产沙 调控率/%
0.58	12b	草地	-48.61	-77.03
	15b	草地	-30.65	-78.73
	15b	林地	-14.00	-31.36
	20b	林地	-8.40	-43.42
2.14	12b	草地	-54.17	-97.65
	15b	草地	-27.16	-95.72
	15b	林地	-24.94	-33.48
	20b	林地	-2.58	-17.77

3 结论

降雨强度和产流起始时间之间存在幂函数关系。

草地的常数项最大, 林地次之, 裸地最小, 故而草地的

产流起始时间最长, 林地次之, 裸地产流最早, 式中的指数项均小于零, 表明雨强和产流起始时间均呈负相关。降雨强度和单宽输沙率之间存在简单的线性关系。在林草措施坡面上, 单宽流量和单宽输沙率之间亦存在一次线性关系。

利用径流调控率的概念, 通过计算可以得知, 草地措施的产流、产沙调控率在雨强较大或是较小的情况下均要优于林地措施。

参考文献:

- [1] 吴普特, 高建恩. 黄土高原水土保持新论——基于降雨地表径流调控利用的水土保持学[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2006. 17, 29.
- [2] 穆兴民, 王文龙, 徐学选. 黄土高原沟壑区水土保持对小流域地表径流的影响[J]. 水利学报, 1999, (2): 71 - 75.
- [3] 赵护兵, 刘国彬, 曹清玉. 黄土丘陵区不同植被类型对水土流失的影响[J]. 水土保持研究, 2004, 11(2): 153 - 155.
- [4] 唐小娟. 坡地分段雨水集蓄利用技术试验研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2004.
- [5] 姚文艺, 汤立群. 水力侵蚀产沙过程及模拟[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2001. 105.
- [6] 高建恩. 地表径流调控与模拟试验研究[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2005. 24.

The Study about Runoff and Sediment Transport Rules and Effect of Shrub and Grass Measures on Slope

TIAN Dong, GAO Jian2en, WU Pu2te,

SHU Ru2jie, YANG Sh2wei, TANG Xia2juan

(Northwest A & F University; Institute of Soil and Water Conservation,
Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources; National Engineering
Research Center for Water Saving Irrigation at Yangling, Yangling 712100, China)

Abstract: Using simulating rainfall experiment and the present research, we deeply analyze the runoff and sediment transport rules and effect of shrub and grass measures under different slope and rainfall intensity. The results show that there is a power function relation between rainfall intensity and runoff duration and a linear relation between rainfall intensity and sediment transport rate of unit width, and we find the experienced coefficient of above relations through regression analysis. Using the concept of runoff controlling rate, we find out that the grassland flow controlling effect is better than the shrub measure under different rainfall intensity.

Key words: shrub and grass measures; runoff and sediment transport; runoff generation time; sediment transport rate of unit width; flow controlling effect