

西部黄土丘陵区降雨特征及其对坡地土壤侵蚀的影响

周子渊¹, 王立¹, 王小平², 马海龙², 李梦茹¹

(1. 甘肃农业大学 林学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃省定西市水土保持科学研究所, 甘肃 定西 743000)

摘要:以甘肃省定西市安家沟流域的大型径流观测场为依托,以2009—2011年天然降雨在不同土地利用条件下产流产沙特征数据为依据,研究了黄土高原西部黄土丘陵区降雨特征及其对坡地土壤侵蚀的影响。结果表明,在次降雨条件下不同处理径流过程分别经历了产流、峰值、稳定、消减4个表征时刻,土壤侵蚀过程分别经历了发生、峰值、消减3个表征时刻。次降雨条件下,不同处理其径流总量、侵蚀总量排序均为:15°春小麦>10°春小麦>10°油松林>15°荒地>15°沙棘林>10°荒地>15°油松林>10°沙棘林。通过层次聚类分析得出,在10°,15°的坡度下,灌木林沙棘、乔木林油松分别具有明显的水土保持效应。所以结合试验地的气候和环境特点,10°坡面适宜种植沙棘林,15°坡面适宜退耕还林。

关键词:天然降雨; 坡地侵蚀; 径流量; 侵蚀量

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2014)03-0024-04

中图分类号: S157.1

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2014.03.006

Rainfall Characteristics and Their Effects on Slope Erosion in Western Loess Hilly Region

ZHOU Zi-yuan¹, WANG Li¹, WANG Xiao-ping², MA Hai-long², LI Meng-ru¹

(1. College of Forestry, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China;

2. Dingxi Institute of Soil and Water Conservation, Dingxi, Gansu 743000, China)

Abstract: Rainfall characteristics and their effects on loess slope erosion in the loess hilly region of the western Loess Plateau were studied using the runoff plots located in the Anjiagou watershed, Dingxi City, Gansu Province and the data observed from 2009 to 2011. Results showed that in the condition of natural rainfall, runoff process under different treatments could be divided into runoff producing, maximum runoff, stability of runoff and disappearance of runoff and soil erosion, into erosion producing, maximum erosion amount and curtailment erosion. The eight treatments, in order of the decreasing total amounts of runoff and soil loss, were 15° spring wheat, 10° spring wheat, 10° *Pinus tabulaeformis* arboreal forest, 15° waste land, 15° *Hippophae rhamnoides* shrub forest, 10° waste land, 15° *Pinus tabulaeformis* arboreal forest and 10° *Hippophae rhamnoides* shrub forest. From the hierarchical clustering, on the 10° slope, *Hippophae rhamnoides* shrub forest had an obvious effect of soil and water conservation, while on the 15° slope, *Pinus tabulaeformis* arboreal forest had an obvious effect of soil and water conservation. Therefore, combined with the climate and environment of test site, 10° slope is suitable for planting *Hippophae rhamnoides* and 15° slope, for returning farmland to forest.

Keywords: natural rainfall; slope erosion; runoff; erosion amount

水土资源是人类生存最基本的条件,水土流失直接影响到水、土资源的开发、利用和保护问题。黄土高原西部黄土丘陵沟壑区属旱作农业区,降雨分布不均且水土流失严重。保蓄土壤水分,减少地表径流,提高降水利用率,是发展该区旱作农业的关键^[1]。由定西安家沟流域黄土丘陵沟壑区的土壤理化性质及

其气候条件决定,水力侵蚀是造成该区域水土流失的主要侵蚀方式,而降雨侵蚀是该区域水力侵蚀的主要发生形式。降雨对土壤侵蚀的影响已有较多研究,包括降雨侵蚀力、侵蚀性降雨标准以及降雨对不同地区土壤侵蚀的影响等^[2-7]。魏天兴^[8]对黄土残塬沟壑区降雨侵蚀的研究表明,场降雨量、降雨强度与小流域

收稿日期:2013-07-11

修回日期:2013-08-08

资助项目:甘肃省教育厅研究生导师项目“保护性耕作措施下坡耕地水土流失研究”(1102-08)

作者简介:周子渊(1988—),男(汉族),甘肃省会宁市人,硕士研究生,研究方向为水土保持。E-mail:zhou.zi.yuan@hotmail.com。

通信作者:王立(1963—),男(汉族),甘肃省甘谷县人,博士,副教授,主要从事水土保持、沙漠治理和土地合理利用等方面的教学研究工作。
E-mail:wangli@gsau.edu.cn。

产沙模数呈线性相关,防止暴雨侵蚀是防治黄土残塬沟壑区水土流失的关键。本文通过对天然降雨在不同土地利用条件下产流产沙特征及其规律的研究,以期探索出能够提高坡耕地土壤保水能力、减少水土流失的土地利用方式,为推动甘肃黄土高原西部旱作农业的可持续发展和进一步研究区域水土保持综合治理提供科学的理论依据。

1 试验区概况

试验区域处于黄土高原西部黄土丘陵沟壑区的定西市水土保持科学研究所实验基地,海拔约 2 000 m,年平均气温 6.3℃,≥0℃积温 2 933.5℃,≥10℃积温 2 239.1℃,极端最高温度 34.3℃,最低温度 -27.1℃,空气相对湿度 65.8%,年日照时数 2 408.6 h,无霜期 141 d。多年平均降水量 427 mm,年蒸发量 1 510 mm,为典型的雨养农业区。土壤类型为典型的黄绵土,土质绵软,土层深厚,质地均匀,储水

性能良好;0—20 cm 土壤容重平均为 1.17 g/cm³,凋萎含水率 7.3%,饱和含水率 21.9%。

2 材料与方法

2.1 试验设计

本研究共设两组试验,分别在 10°,15°的坡地上进行,每组试验选择 4 个不同处理,试验小区进行随机区组排列。试验小区均为标准径流小区,各小区配备自记雨量计,记录每次降雨的降雨量及其过程。小区下部布设 V 型集流槽连接径流收集池,池内放置容量为 13.5 L 的集流桶,用以收集径流和泥沙。如表 1 所示,两组试验按照生长的植物种类各设 4 个标准径流小区,分别为:对照小区荒地(W)、春小麦(SW)、灌木林沙棘(H)、乔木林油松(P)。8 个标准径流小区布设在同一小气候区域内,其中荒地、春小麦的面积为 5 m×10 m,灌木林沙棘、乔木林油松的面积为 10 m×10 m。

表 1 各试验小区基本立地条件

立地类型	坡度/(°)	面积/m ²	地表情况
荒地 W	10	5×10	地表未扰动,荒草,优势草种为野生红豆草,植被覆盖度 65%
	15	5×10	地表未扰动,荒草,优势草种为野生红豆草,植被覆盖度 50%
春小麦 SW	10	5×10	采用传统耕作方式,4 月上旬播种,降雨试验期为春小麦收获期,植被覆盖度为 95%
	15	5×10	采用传统耕作方式,4 月上旬播种,降雨试验期为春小麦收获期,植被覆盖度为 90%
灌木林沙棘 H	10	10×10	林龄为 6 a,平均地径 3.7 cm,平均株高 1.6 m,植被覆盖度 70%
	15	10×10	林龄为 6 a,平均地径 3.6 cm,平均株高 1.6 m,植被覆盖度 55%
乔木林油松 P	10	10×10	林龄为 7 a,平均胸径 6.6 cm,平均株高 2.7 m,郁闭度 70%,林下草地覆盖度 20%
	15	10×10	林龄为 7 a,平均胸径 6.8 cm,平均株高 2.8 m,郁闭度 70%,林下草地覆盖度 40%

2.2 测定项目与方法

降雨量及其过程采用自记雨量计自动统计。不同处理的降雨产沙量及其产沙过程与径流过程同步,人工测定,在开始产流后,每 5 min 测量 1 次径流,在集流桶中用体积法求得浑水总量(ml),同时采集混合水样 500 ml,将径流样静置 24 h,除去上层清水,余下的用滤纸滤得泥沙,烘干 8 h 称重,测定径流样泥沙含量。试验准备阶段尽量减少对地表破坏,保持地表原状。

2.2.1 径流量及侵蚀量测定 径流产生后,每 5 min 在集流桶中用体积法求得浑水总量(ml),同时采集混合水样 500 ml,过滤后烘干称重,计算水样的泥沙含量,进一步计算侵蚀量。

侵蚀量=

$$\text{浑水总量} \times \text{样品泥沙含量} \times 10^{-3} / (2 \times 10^{-4})$$

径流量=

$$(\text{浑水总量} - \text{侵蚀量} / \text{坡面土壤比重}) \times 10^{-6} / (2 \times 10^{-4})$$

2.2.2 统计分析 采用 Excel 2010 和 SPSS 19.0 统计分析软件对试验数据进行统计分析。

3 结果与分析

3.1 不同处理对产流时间和径流量的影响

在多次降雨中选取 1 次典型天然降雨进行分析(2011 年 8 月 20 日),选取标准按照国家气象部门规定的大雨为降雨强度 12 h 内降雨量达到 15~29.9 mm,或 24 h 内降雨量达到 25~49.9 mm 的降雨,及试验地降雨土壤侵蚀发生程度来确定。该次降雨其降雨量为 28 mm,降雨历时 52,30 min 平均降雨强度为 32.3 mm/h,属于典型的大雨并在试验地造成明显的降雨土壤侵蚀,研究本次降雨土壤侵蚀过程具有较好的代表性。不同处理的地表径流过程如图 1 所示,无壤中流产生。

如图 1 所示,在降雨初期 5 min,降雨强度不足 10 mm/h,各处理都没有产流。持续 5 min 的低强度降雨,已逐步湿润土层,土壤表层的入渗率减小。而在降雨强度突然增至 16.4 mm/h 时,来不及入渗的雨水形成地表径流。坡度较大时不同处理的产流时

间均较早,不同处理产流时间经 LSD 法检验差异显著($p < 0.05$),15°荒地产流时间最早,为 6.2 min,10°灌木林沙棘产流时间最晚,为 8.93 min。相同植被覆盖下坡度为 10°处理的产流时间较 15°处理晚,10°荒地的产流时间比 15°荒地晚 1.43 min,10°春小麦的产流时间比 15°春小麦晚 2.31 min,10°灌木林沙棘的产流时间比 15°灌木林沙棘晚 2.08 min,10°乔木林油松的产流时间比 15°乔木林油松晚 1.25 min。不同坡度下 10°处理的产流时间早晚顺序为:10°灌木林沙棘(10°H) > 10°春小麦(10°SW) > 10°乔木林油松(10°P) > 10°荒地(10°W),15°处理产流时间早晚顺序为:15°灌木林沙棘(15°H) > 15°乔木林油松(15°P) > 15°春小麦(15°SW) > 15°荒地(15°W)。

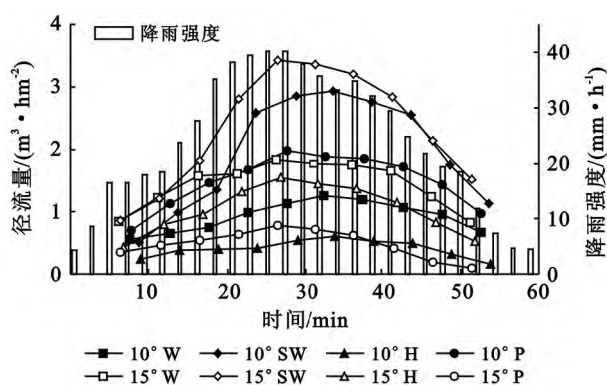


图 1 2011 年 8 月 20 日不同处理的地表径流过程

不同处理径流量差异显著,15°春小麦径流量最大,为 $23.22 \text{ m}^3/\text{hm}^2$;10°灌木林沙棘径流量最小,为 $4.07 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 。不同处理的径流过程都经历了产流、峰值、稳定、消减 4 个表征时刻。相同植物覆盖下 10°处理的径流量较 15°处理的小。10°处理在产流 25 min 后径流量达到峰值,15°处理在 20 min 后径流量达到峰值。这是由于地表面高低不平微地形的影响,坡地会滞蓄部分水量,但随着坡度的增大,坡面变陡,地面的这种滞蓄能力下降,部分被积蓄在洼地的水量随着坡度的增加汇流速度加快,汇集形成径流。流域坡度越大,地面的积水、滞水作用越弱,径流量越多^[9]。不同坡度下 10°处理的径流量排序为:10°春小麦 > 10°乔木林油松 > 10°荒地 > 10°灌木林沙棘,15°处理的径流量排序为:15°春小麦 > 15°荒地 > 15°灌木林沙棘 > 15°乔木林油松。

3.2 次降雨条件下不同处理土壤侵蚀量的影响

由图 2 可以看出,不同处理的侵蚀量差异显著,15°春小麦侵蚀量最大,为 $1132.29 \text{ kg}/\text{hm}^2$,10°灌木林沙棘侵蚀量最小,为 $19.51 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 。在次降雨条件下不同处理的土壤侵蚀过程都经历了发生、峰值、消减 3 个表征时刻。相同植被覆盖下 10°处理的侵蚀

量较 15°处理的小。10°处理在产流 20 min 后侵蚀量达到峰值,15°处理在产流 15 min 后侵蚀量达到峰值。侵蚀量峰值出现的时间和径流量峰值出现的时间并不一致,这是因为在降雨初期,地表含水量极低,雨滴降落到地面发生击溅侵蚀,溅起表层干燥土壤,雨滴的溅蚀作用明显,所以在径流峰值出现之前侵蚀量达到了峰值。随着降雨时间的推移,地表形成结皮,侵蚀量出现消减^[10]。尽管降雨量、降雨侵蚀力对泥沙流失量产生影响,但泥沙最终通过径流流失,所以径流对泥沙流失量影响最大^[11]。当 10°,15°处理径流量达到峰值时,10°,15°处理的侵蚀量达到侵蚀量消减阶段的最大值。不同坡度下 10°处理的侵蚀量排序为:10°春小麦 > 10°乔木林油松 > 10°荒地 > 10°灌木林沙棘,15°处理的侵蚀量排序为:15°春小麦 > 15°荒地 > 15°灌木林沙棘 > 15°乔木林油松。

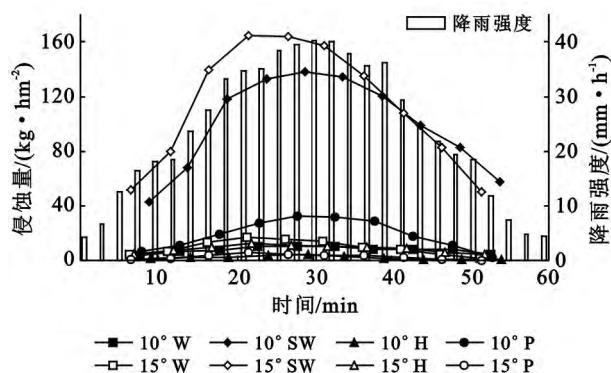


图 2 2011 年 8 月 20 日不同处理的产沙过程

3.3 次降雨条件下不同处理水土保持效应分析

由图 1 和图 2 可以看出,该次降雨不同处理其径流总量、侵蚀总量排序均为:15°春小麦 > 10°春小麦 > 10°乔木林油松 > 15°荒地 > 15°灌木林沙棘 > 10°荒地 > 15°乔木林油松 > 10°灌木林沙棘。15°处理的径流总量、侵蚀总量分别是 10°处理的 1.11, 1.36 倍。10°荒地 与 15°荒地相比,径流总量、侵蚀总量分别减少了 36.1%, 17.54%; 10°春小麦 与 15°春小麦相比,径流总量、侵蚀总量分别减少了 16.35%, 12.25%; 10°灌木林沙棘 与 15°灌木林沙棘相比,径流总量、侵蚀总量分别减少了 39.31%, 77.04%; 10°乔木林油松 与 15°乔木林油松相比,径流总量、侵蚀总量分别增加了 67.63%, 85.96%。

层次聚类分析法是目前国内外使用最多的一种方法。这种方法的基本思想是:先将 n 个样品各自看成一类,然后规定样品之间的距离和类与类之间的距离^[12]。对 2011 年 8 月 20 日该次降雨各处理的径流量、侵蚀量进行层次聚类分析,取类间距离 $d=5$ 时,不同处理的水土流失状况分为 4 个层次,10°荒地、10°

乔木林油松、15°荒地 为 1 个层次,10°灌木林沙棘、15°乔木林油松 为 1 个层次,10°春小麦、15°春小麦 为 1 个层次,15°灌木林沙棘 为 1 个层次。当 $d=10$ 时,不同处理的水土流失状况分为 3 个层次,10°荒地、10°乔木林油松、15°荒地、10°灌木林沙棘、15°乔木林油松 为 1 个层次,10°春小麦、15°春小麦 为 1 个层次,15°灌木林沙棘 为 1 个层次。由此可得,在 10°的坡度下,灌木林沙棘的水土保持效应优于其他 3 种植物措施,在 15°的坡度下,乔木林油松的水土保持效应最佳。

3.4 年降雨径流及土壤侵蚀特征

2011 年试验区年降雨量为 372.1 mm,侵蚀性降雨量为 121.6 mm,占年降雨量的 32.68%(表 2)。侵蚀性降雨集中在 6—9 月出现,近乎造成了全年土壤侵蚀的发生。10°荒地处理的年径流模数、年侵蚀总量分别比 15°荒地处理减少了 36.13%,17.53%,10°春小麦处理的年径流模数、年侵蚀总量分别比 15°春小麦处理减少了 15.64%,21.54%,10°灌木林沙棘处理的年径流模数、年侵蚀总量分别比 15°灌木林沙棘处理减少了 60.73%,85.95%,10°乔木林油松处理的年径流模数、年侵蚀总量分别比 15°乔木林油松处理增加了 67.65%,76.49%。不同处理年侵蚀模数排序为:15°春小麦>10°春小麦>10°乔木林油松>15°灌木林沙棘>15°荒地>10°荒地>15°乔木林油松>10°灌木林沙棘。这与次降雨条件下各处理径流总量、侵蚀总量排序基本一致。

表 2 不同处理年降雨径流及土壤侵蚀特征

年降雨量 372.1 mm		侵蚀性降雨量 121.6 mm	
处 理	径流模数/ ($\text{m}^3 \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)	侵蚀量/kg	侵蚀模数/ ($\text{t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)
10°W	6 080	1.383	27.66
10°SW	12 840	19.844	396.88
10°H	2 690	0.946	9.46
10°P	9 800	7.226	72.26
15°W	9 520	1.677	33.54
15°SW	15 220	25.293	505.86
15°H	6 850	6.734	67.34
15°P	3 710	1.699	16.99

4 结 论

(1) 在次降雨条件下不同处理径流过程分为产流、峰值、稳定、消减 4 个过程,土壤侵蚀分为发生、峰值、消减 3 个过程。

(2) 在 10°,15°的坡度下,灌木林沙棘、乔木林油松分别具有明显的水土保持效应。次降雨条件下,不同处理的径流总量、侵蚀总量排序均为:15°春小麦>

10°春小麦>10°乔木林油松>15°荒地>15°灌木林沙棘>10°荒地>15°乔木林油松>10°灌木林沙棘。

(3) 对该次降雨各处理的径流量、侵蚀量进行层次聚类分析,取类间距离 $d=5$ 时,不同处理的水土流失状况分为 4 个层次;当 $d=10$ 时,不同处理的水土流失状况分为 3 个层次,其中在 10°的坡度下,灌木林沙棘的水土保持效应优于其他 3 种植物措施,在 15°的坡度下,乔木林油松的水土保持效应最佳。

(4) 通过对 2011 年年降雨径流及土壤侵蚀特征的分析,得出不同处理年侵蚀模数排序为:15°春小麦>10°春小麦>10°乔木林油松>15°灌木林沙棘>15°荒地>10°荒地>15°乔木林油松>10°灌木林沙棘。这与次降雨条件下各处理径流总量、侵蚀总量排序基本一致。再次验证了在 10°,15°的坡度下,H,P 分别具有明显的水土保持效应。所以结合试验地的气候、环境特点,10°坡面适宜种植灌木林沙棘,15°坡面适宜退耕还林。

[参 考 文 献]

[1] 张晓艳,王立,黄高宝,等. 道地药材保护性耕作对坡耕地土壤侵蚀的影响[J]. 水土保持学报,2008,22(2):58-61.

[2] 章文波,谢云,刘宝元. 雨量和雨强计算次降雨侵蚀力[J]. 地理研究,2002,21(3):384-390.

[3] Liu Baoyuan, Nearing M A. Practical thresholds for separating erosive and non-erosive storms[J]. Transaction of the ASAE, 2002,45(6):1843-1847.

[4] 王万忠. 黄土地区降雨特性与土壤流失关系的研究(Ⅲ):关于侵蚀性降雨的标准问题[J]. 水土保持通报,1984,3(2):58-63.

[5] 程庆杏,吕万民,吴百林. 土壤侵蚀的雨量标准研究初报[J]. 中国水土保持科学,2004,2(3):90-92.

[6] 江东,卢喜平,蒋光毅,等. 降雨因素对紫色土坡地土壤侵蚀影响的试验研究[J]. 西南大学学报,2009,31(1):140-144.

[7] 左长清,马良. 天然降雨对红壤坡地侵蚀的影响[J]. 水土保持学报,2005,19(2):1-4.

[8] 魏天兴. 黄土残塬沟壑区降雨侵蚀分析[J]. 水土保持学报,2001,15(4):47-50.

[9] 范世香,韩绍文. 地面坡度对地表径流影响的实验研究[J]. 水土保持通报,1991,11(4):7-10.

[10] 王生鑫,王立,黄高宝,等. 粮草豆隔带种植保护性耕作对坡耕地土壤水蚀的影响[J]. 水土保持学报,2010,24(4):40-43.

[11] 袁东海,王兆骞,陈欣,等. 不同农作措施红壤坡耕地水土流失特征研究[J]. 水土保持学报,2001,15(4):66-69.

[12] 鲍艳,胡振琪,柏玉,等. 主成分聚类分析在土地利用生态安全评价中的应用[J]. 农业工程学报,2006,22(8):87-90.