

半干旱黄土丘陵区水平阶整地规格与降雨量的关系

孙浩峰¹, 陈天林^{1,2}

(1. 甘肃省水土保持科学研究所, 甘肃 兰州 730020; 2. 甘肃省水利厅水土保持局, 甘肃 兰州 730000)

摘要:以半干旱区甘肃省榆中县孙家岔流域 5 种不同下垫面条件下的径流小区为研究对象,对小区 6 a 的自然降雨产流观测资料进行了分析,研究了半干旱黄土丘陵区水平阶整地规格与降雨量的关系。研究表明,刈割草地较荒坡地的径流量增加了 9.77%~24.87%;灌木措施(甘蒙柽柳小区、柠条小区)径流量较荒坡地可减少 8.28%~60.57%和 12.24%~78.41%;次降雨的产流深(草灌小区)与降雨强度具有很好的线性关系;水平阶则可以完全拦蓄降雨。在 15°~25°坡地上配套水平阶的设计宜按 5 年一遇最大 6 h 降雨进行,此时若埂高为 0.1 m,其允许最大坡长为 3.9~8.2 m。适当加高水平阶埂高,可提高防御标准和防护面积。

关键词:黄土丘陵区;水平阶;降雨;径流

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2013)06-0028-04

中图分类号: S157.1

Relationship Between Specification of Level-terrace Preparation and Rainfall in Semiarid Loess Hilly Region

SUN Hao-feng¹, CHEN Tian-lin^{1,2}

(1. Gansu Institute of Soil and Water Conservation Science, Lanzhou, Gansu 730020, China;

2. Gansu Provincial Water Resources Department of Soil and Water Conservation Bureau, Lanzhou, Gansu 730000, China)

Abstract: The runoff in five different surfaces was observed in Sunjiacha basin of Yuzhong County in Gansu Province, and the relationship between specification of level-terrace preparation and rainfall in semiarid loess hilly region was studied. The results showed that the runoff in mowing grass plot was 9.77%~24.87% higher than that in original barren slope plot. In comparison with barren slope plot, *Tamarix mongolica* plot and *Caragana microphylla* plot were capable of decreasing the runoff for 8.28%~60.57% and 12.24%~78.41%, respectively. The depth of runoff after individual rainfall had a great linear relationship with rainfall intensity. The level terraces were definitely able to increase the rainfall conversation. The configuration of level terraces should be under the consideration of maximum 6 h rainfall within five years. In this case, the level terraces ridge should be 0.1 m, with the slope length of 3.9~8.2 m. Heightening the ridge properly will raise the efficiency and protection area of level terraces.

Keywords: loess hilly region; level terraces; rainfall; runoff

黄土丘陵区年土壤侵蚀模数为 $3.0 \times 10^3 \sim 2.47 \times 10^4$ t/km²^[1],坡面是发生面蚀的最主要部位。为控制水土流失进一步加剧,推进西部生态环境建设,我国从 1999 年开始实施退耕还林(草)政策以来,黄土丘陵区土地利用结构已发生重大变化,坡耕地的数量大幅度减少^[2-3]。但由于坡地立地条件差或受投资规模等因素的限制,有大量的退耕坡地和封禁治理的坡地仅采取封禁或者植物措施,未布设工程措施,虽然流域治理程度指标达到了有关标准,但是实际上水

土流失仍然较为严重^[4]。

在强降雨条件下,坡长与径流深总的来说存在正相关关系^[5],要减少径流的产生,可通过整地及优化地面生物覆盖来实现^[6];鲁子瑜等^[7]对半干旱黄土丘陵区 4 种常用整地方法的集流效果及造林技术进行了研究,证明了改善下垫面和截短坡长是减少径流产生的关键环节。本研究探索半干旱黄土丘陵区水平阶整地这一坡地工程治理措施与产生径流的降雨关系问题,以期解决工程设计中的相关难题。

收稿日期:2013-04-15

修回日期:2013-05-07

资助项目:甘肃省科技支撑计划项目(社会发展类)“水土保持对西部黄土高原河川径流调控作用研究”(1104FKCA146)

作者简介:孙浩峰(1967—),男(汉族),甘肃省庆阳市人,学士,正高级工程师,主要从事水土保持工程设计和流域管理研究。E-mail:sunhf67@163.com。

1 研究区概况

研究区选择在甘肃省兰州市榆中县孙家岔流域(104°20′38″—104°26′20″E, 35°50′30″—35°55′10″N),流域面积42.08 km²,其中水土流失面积40.65 km²。流域属黄河一级支流宛川河的三级支沟,属黄土高原丘陵沟壑区第V副区,海拔2 200~2 269 m。1978年该流域被列为甘肃省水土保持重点治理流域,1983年经审批列为黄委会黄河中游治理区综合试点流域。自1980年开始,甘肃省水利厅兰州水土保持科学试验站在流域内设站进行水土流失观测。根据位于流域附近的岷口林场气象站1958—2011年观测资料,研究区年平均气温6.6℃,年平均降水量364.4 mm,年平均蒸发量达1 699.3 mm,降水年内分配不均,多集中在7—9月份,约占全年降水的58%以上^[8],季节性干旱特征较明显。5年一遇最大3 h降雨量30.7 mm,5年一遇最大6 h降雨量35.3 mm。流域内土壤为灰钙土。

2 材料与方法

2.1 试验设置

本研究在孙家岔流域半阴坡面上布设5种不同下垫面的径流小区,小区投影面积均为2 m×5 m,坡度21.2°。

(1) 荒坡小区。生长有长芒草(*Stipa bungeana* Trin.)、短花针茅(*Stipa brevisflora* Griseb.)、冷蒿[*Artemisia frigida* (Hance) Keng.]、铁杆蒿(*Artemisia sacrorun* Ledeb.)、百里香(*Thymus mongolicus* Ronn.)等植物,植被盖度35%。

(2) 草地刈割小区。雨前5 d已铲除天然生长的各类杂草,无灌木,表层有2 cm松散土层。

(3) 甘蒙柽柳(*Tamarix austromongolica* Nakai.)小区。株行距1 m×1 m,1985年春扦插造林,未整地。

(4) 柠条(*Caragana korshinskii* Kom.)小区。株行距1 m×1 m,1985年春播种造林,未整地。

(5) 水平阶整地小区。人工整地,相邻阶台面间距4 m,阶面宽1 m,阶面坡度3°,埂高0.1 m,植被盖度35%。

2.2 研究方法

收集试验地1987—1992年共6 a的降雨—径流观测资料。降雨资料由设在流域试验场内雨量计监测得到。小区径流测定所采用的数据为次天然降雨条件下各小区产生的总径流量。水平阶的设计标准按照《水土保持综合治理技术规范—荒坡治理技术》

(GB/T16453.2—2008)有关规定执行,针对5年一遇6 h降雨量进行阶面宽度和埂高的设计。该规范具体内容为:在该区域的15°~25°坡面,适合水平阶整地,阶面宽1.5~1.0 m,有3°~5°的反坡,防御标准可按1~5年一遇3~6 h设计降雨量计算,上下两阶间的水平距离以设计的造林行距为准。

3 结果与分析

3.1 水平阶规格设计与降雨因素的关系分析

从保持水土资源的角度出发,即按最不利因素考虑,阶面与坡面入渗速率相同,阶面和坡面产流量 Q 为:

$$Q = \frac{kH_p}{1000}(B + L\cos\alpha)$$

阶面形成的容积 C 为:

$$C = \frac{1}{2}B^2\text{tg}\beta + HB$$

当水平阶的阶面能全拦全蓄设计降雨所产生的径流时,即两式相等时,相邻两阶间坡长与设计降雨之间的数学关系为:

$$L = \frac{1000HB + 500B^2\text{tg}\beta}{kH_p\cos\alpha} - \frac{\beta}{\cos\alpha}$$

式中: L ——相邻两阶间原始地面坡长(m); α ——原地面坡度; β ——水平阶反坡坡度; B ——阶面宽度(m); H ——水平阶埂高(m); k ——设计降雨径流系数; H_p ——设计降雨量(mm)。

在1987—1992年的6 a径流观测资料中,未发生5年一遇最大6 h降雨,因而未测到该防御标准下的径流深和径流系数,根据监测的径流资料计算,甘蒙柽柳小区的 k 值最大达到0.62,柠条小区的 k 值最大达到0.51,而原荒坡地小区 k 值最大达到0.73。为了确保水平阶能有效地全部拦蓄坡面产生的径流,工程安全运行,无论阶面栽植何种植物,径流系数应按荒坡取值,即 k 取0.75。

从表1可知,在同一地点,或相同降雨条件下,允许最大坡面长度值主要取决于水平阶的阶面埂高和阶面的宽度,埂高每加高0.1 m,相应可防护的坡面长度增加4~6 m,阶面的宽度对坡长的影响,其增量不是线性关系,而是二次抛物线关系,可见其影响之大。但在施工中,水平阶的工程量随阶面宽度的增加而快速增大,因此在原始地面坡度大($\geq 20^\circ$)的坡面,水平阶面宽度不应超过1.0 m。

3.2 小区产流结果与分析

黄土高原地区改变下垫面增加入渗已有许多研究结果^[9-10],随着植被覆盖度的增加,地表产流时间明显推迟,降雨入渗量显著增加,产生的径流量相应地减少。

表 1 试验地水平阶设计指标

地面坡度 $\alpha/(\circ)$	阶面坡度 $\beta/(\circ)$	阶面宽度 B/m	允许最大坡面长度 L/m		
			埂高 0.1	埂高 0.2	埂高 0.3
15	3	1.0	3.9	7.8	11.7
	4	1.0	4.2	8.2	12.1
	5	1.0	4.6	8.5	12.4
	3	1.5	6.6	12.5	18.4
	4	1.5	7.4	13.3	19.1
20	5	1.5	8.2	14.0	19.9
	3	1.0	4.0	8.0	12.1
	4	1.0	4.4	8.4	12.4
25	5	1.0	4.7	8.7	12.8
	3	1.0	4.2	8.3	12.5
	4	1.0	4.5	8.7	12.9
	5	1.0	4.9	9.1	13.2

在 1987—1992 年的 6 a 径流观测资料中,未发生 5 年一遇最大 6 h 降雨,因此本研究采用期间最大 2 次降雨的实测资料进行分析(表 2)。

从表 3 可以看出,对于 5 种不同下垫面的径流小区,草地刈割小区径流深表现为增加,相对于原荒地这两次降雨径流深的增量分别达 9.77% 和 24.87%,甘蒙柺柳和柠条小区的产流量较原荒地均有不同程度的下降,而水平阶整地小区未产流。1987 年 9 月 17 日的甘蒙柺柳和柠条小区径流深的减少量较小,主要是由于植株较小造成的;2 a 后的 1989 年 7 月 25 日,随着植株高度和冠幅的增加,甘蒙柺柳和柠条小区拦蓄径流的效果明显。这 2 次降雨量均未超出相关规范规定的 5 年一遇的防御标准,因此在该流域水平阶设计按照 5 年一遇的最大 6 h 降雨量防御标准设计、实施,可有效拦蓄径流。

表 2 研究地 2 次降雨资料分析

降雨时间	降雨量/ mm	降雨历 时/min	降雨强度/ ($\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$)	频率分析
19870917	17.4	36	0.483	50% 的最大 6 h 降雨量
19890725	29.6	27	1.100	33% 的最大 6 h 降雨量

表 3 天然降雨条件下不同下垫面小区的径流深

下垫面状况	次降雨量/ mm	产流时段降雨强度/ ($\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$)	径流深/mm	径流系数	相对于荒地的径流深 变化/%
荒地		0.483	8.09	0.46	
草地刈割		0.483	8.88	0.51	+9.77
甘蒙柺柳	17.4	0.483	7.42	0.43	-8.28
柠条		0.483	7.10	0.41	-12.24
水平阶整地		0.483	0.00	0.00	-100.00
荒地		1.100	14.85	0.50	
草地刈割		1.100	18.54	0.63	24.87
甘蒙柺柳	29.6	1.100	5.85	0.20	-60.57
柠条		1.100	3.21	0.11	-78.41
水平阶整地		1.100	0.00	0.00	-100.00

注:正负号分别表示“增加”和“减小”。

3.3 不同下垫面小区产流与降雨强度关系分析

1987—1992 年 6 a 间共观测到有 10 次产生径流,去除其中降雨过程资料不全或无对应关系的资料,有 6 次的降雨径流资料可用(表 4)。

表 4 6 次天然降雨条件下产流结果

降雨时间	次降雨 量/mm	降雨强度/ ($\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$)	清水径流深/mm		
			柠条	甘蒙柺柳	荒地
19870917	17.4	0.483	8.88	7.10	9.45
19890725	29.6	1.100	13.46	18.29	20.78
19890806	20.0	0.700	3.44	10.28	14.57
19900804	9.3	0.022	0.23	3.57	2.01
19910611	58.3	0.144	3.39	6.74	1.02
19920713	11.1	0.017	0.50	2.76	1.13

注:小区坡度为 21.1° ;水平阶整地未产流;草地刈割的资料较少未进行统计。

有研究成果^[11]表明,不同土地经营方式径流深(H)与降雨强度(I)之间存在线性关系:

$$H = aI - b$$

经对表 4 中各径流小区的径流深与降雨强度数据进行分析可知,荒地、甘蒙柺柳、柠条小区径流深与降雨强度之间存在线性关系,且相关性均较好,相关系数 R^2 分别为:0.989 6,0.958 2,0.891 7。荒地小区直线的斜率大于甘蒙柺柳和柠条的,荒地产生径流的速率相应大于甘蒙柺柳和柠条的,其结果符合绝大多数研究者的结论。水平阶整地小区未产流。

水平阶整地小区按防御 5 年一遇最大 6 h 降雨($H_{P20\%} = 35.3 \text{ mm}$,径流系数 $k = 0.75$)设计,坡面长 4 m,阶面宽 1 m,阶面坡度 3° ,埂高 0.1 m。这种规格的水平阶,在扣除植被的有利因素后仍可全拦全蓄设计频率的径流,在其它指标不变,水平阶埂高为 0.2 m

时,可拦蓄相当于50年一遇($H_{P2\%} = 63.8 \text{ mm}$)暴雨产生的径流。可见适当加高水平阶的埂高,可大幅度提高水平阶的防御标准。

4 结论

下垫面不同是导致产生径流量差异的直接原因。尽管植物措施具有一定的拦蓄径流效应(其减流幅度变化在8.28%~78.41%),其草灌下垫面的径流深与降雨强度有显著地的线性关系,刈割草地会增大径流深,水平阶整地则能够完全拦蓄降水。

研究表明,当埂高每加高0.1 m,相应可防护的坡面长度可增加4~6 m,在半干旱地区适当增高地埂放长坡长既可以减少工程量和投资,也可增加阶内水分蓄积,提供植物生长所需的水分。建议该区域水平阶设计和施工埂高按0.2 m、坡长根据坡度不同按8~10 m进行。

在半干旱黄土丘陵区 $15^\circ \sim 25^\circ$ 的坡面上,应按5年一遇最大6 h降雨设计布设水平阶,当埂高0.1 m就可达到防御目标,此时的允许最大坡面长度在3.9~8.2 m。当埂高达0.2 m时,则允许最大坡面长度在7.8~14.0 m。

[参 考 文 献]

[1] 傅伯杰,陈利顶,邱扬,等. 黄土丘陵沟壑区土地利用

结构与生态过程[M]. 北京:商务出版社,2002:28-29.

- [2] 吴杨,唐亚,许宇慧,等. 植物篱模式下小流域退耕还草生态农业可持续发展模式研究[J]. 草业科学,2009,26(4):59-63.
- [3] 徐志友,余峰,高红军,等. 半干旱黄土丘陵区不同坡位退耕还林还草地土壤养分的变异规律[J]. 中国水土保持,2010(8):39-41.
- [4] 徐学选,琚彤军,郑世清. 延安燕沟流域次降雨泥沙来源分析[J]. 中国水土保持科学,2008,6(3):38-42.
- [5] 王占礼,黄新会,张振国,等. 黄土裸坡降雨产流过程试验研究[J]. 水土保持通报,2005,25(4):1-4.
- [6] 靳婷,赵文武,赵明月,等. 黄土丘陵区缓坡地不同土地利用方式的产流效应[J]. 中国水土保持科学,2012,10(4):30-36.
- [7] 鲁子瑜,关秀琦,程积民,等. 黄土丘陵区集流整地造林技术研究[J]. 水土保持通报,1994,13(2):9-17.
- [8] 邢贵,张新民,费喜亮,等. 孙家岔流域坡面不同土地利用的土壤水分变化分析[J]. 干旱地区农业研究,2012,30(2):225-229.
- [9] 曾伯庆,王贵平. 晋西黄土高原的土壤侵蚀与防治[J]. 中国水土保持,1990(11):37-41.
- [10] 卫正新,李树怀. 不同林地林冠截留降雨特征的研究[J]. 中国水土保持,1997(5):32-35.
- [11] 赵鹏宇. 黄土丘陵区草、灌地不同经营方式下的降雨—入渗—产流研究[D]. 陕西 杨凌:西北农林科技大学,2009:40-46.

(上接第27页)

(2) 研究区4种防护林土壤抗蚀指数随着土粒浸水时间的增加而减小,两者呈三次多项式函数关系。随着降雨历时的延长,地表积水变多,土壤颗粒易被分散崩塌,影响雨水下渗,有利于地表径流的形成。地表径流会带走崩塌的土壤颗粒从而发生土壤流失。

(3) 土壤抗蚀性指数与容重、粒径 $>0.25 \text{ mm}$ 水稳性团聚体、全氮含量和有机质含量4项指标呈显著正相关关系,与其它指标有一定的相关性,但相关性相对较低。土壤抗蚀指数与土壤基本物理、化学性质存在一定的线性相关关系。

[参 考 文 献]

- [1] 郭培才,张振中,杨开宝. 黄土区土壤抗蚀性预报及评价方法研究[J]. 水土保持学报,1992,6(3):48-51.
- [2] 王佑民,郭培才,高维森. 黄土高原土壤抗蚀性研究[J]. 水土保持学报,1994,8(4):11-16.
- [3] Elliot W J, Laflen J M. A process based rill erosion model[J]. Trans. of the ASAE, 1993,39(1):65-72.

- [4] 高维森. 土壤抗蚀性指标及其适用性初步研究[J]. 水土保持学报,1991,5(2):60-65.
- [5] 张德刚,汤利,陈永川. 滇池流域典型城郊村镇排放污水氮、磷特征分析[J]. 农业环境科学学报,2007,26(6):2245-2250.
- [6] 郑子成,杨玉梅,李廷轩. 不同退耕模式下土壤抗蚀性差异及其评价模型[J]. 农业工程学报,2011,27(10):199-203.
- [7] 张会儒,王晓慧,吴蝉有,等. 中阳县林业生态建设规划研究[J]. 林业调查规划,2006,31(1):67-70.
- [8] 韩鲁艳,郝乾坤,焦菊英. 黄土丘陵沟壑区人工林地的土壤抗蚀性评价[J]. 水土保持通报,2009,29(3):159-164.
- [9] 周利军,齐实,王云琦. 三峡库区典型林分林地土壤抗蚀抗冲性研究[J]. 水土保持研究,2006,13(1):186-188.
- [10] 姜胜德. 谈混交林优点及营造原则[J]. 林业勘察设计,2009(1):23-24.
- [11] 余新晓,陈丽华. 黄土高原沟壑区土壤抗蚀性的初步研究[J]. 北京林业大学学报,1988,10(1):28-34.
- [12] 吴淑安,蔡强国,张光远,等. 王家沟流域不同土壤的抗蚀性研究[M]//王福堂. 晋西黄土高原土壤侵蚀管理与地理信息系统应用研究. 北京:科学出版社,1992.