

坡度对农业耕作措施水土保持作用的影响

赵龙山^{1,2}, 侯瑞¹, 吴发启², 戴全厚¹

(1. 贵州大学林学院, 贵阳 550025; 2. 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 农业耕作措施是水土保持三大措施之一, 在坡耕地水土保持中起关键作用。利用人工模拟降雨试验方法, 对不同坡度条件下农业耕作措施水土保持作用进行了研究。农业耕作措施包括等高耕作、人工掏挖和人工锄耕, 以平整坡面为对照措施; 降雨试验在长 4 m, 宽 1 m 的径流小区完成; 坡度为 5°, 10°, 15°, 20°, 25°; 降雨强度为 1, 1.5, 2 mm/min。结果表明: 与平整坡面相比, 等高耕作、人工掏挖和人工锄耕分别减小产流量 38.19%, 32.25% 和 15.84%; 减小产沙量均在 50% 以上, 说明农业耕作措施具有明显的水土保持作用。通过对坡度与产流量、产沙量关系分析表明, 在耕作坡面, 坡度会影响产流量, 但是大坡度与小坡度之间差异不显著。相反, 坡度对产沙量具有显著影响, 在小坡度条件下, 产沙量受坡度的影响较小。当坡度大于 15° 后, 坡度每增加 1°, 等高耕作、人工掏挖和人工锄耕耕作措施保土作用平均降低 3.08%, 4.74% 和 7.61%。回归分析表明产沙量与坡度之间存在指数函数关系。可见, 坡度对农业耕作措施保水作用和保土作用的影响不同。

关键词: 产流产沙; 土壤侵蚀; 地表糙度; 耕作措施

中图分类号: S157.2

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2017)03-0069-04

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2017.03.012

Effects of Slope Gradient on Soil and Water Conservation Benefit of Tillage Practices in Agricultural Lands

ZHAO Longshan^{1,2}, HOU Rui¹, WU Faqi², DAI Quanhong¹

(1. College of Forestry, Guizhou University, Guiyang 550025;

2. College of Natural Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100)

Abstract: Tillage practices play a key role in soil and water loss control in agricultural lands. The objective of this study was to measure soil and water loss from the tilled surfaces and to analyze how slope gradient affects soil and water conservation benefit of tillage practices. All experiments were conducted in outdoor runoff plots with a size of 4 m length by 1 m width. The slope gradient was 5°, 10°, 15°, 20°, and 25°. The rainfall intensity was 1, 1.5, and 2 mm/min. We found that the runoff yields from contour ploughing, deep hoeing, and shallow hoeing were decreased by 38.19%, 32.25%, and 15.84%, respectively, compared with the smooth surface; the decrease level of sediment yields was more than 50% in three tillage measurements compared with the SS. It was suggested that tillage practices had a significant benefit in soil and water loss control in agricultural lands, but depended on slope gradient. On the tilled surfaces, the difference in runoff yields between small and large slope gradient was not significant; sediment yield increased sharply with increasing slope gradient when slope gradient ranged from 10° to 25°. The soil conservation benefit of contour ploughing, deep hoeing, and shallow hoeing was decreased by 3.08%, 4.74%, and 7.61% for each gradient rise in slope when the slope gradient was more than 15°. Regression analysis showed that the change in sediment yield with slope steepness and rainfall intensity for all treatments could be described by the exponential function. Therefore, the benefits of soil and water conservation of tillage practices changed with the increasing slope gradient, but to different ways and extents. The results provide a mechanistic understanding of how slope gradient affects soil and water conservation benefit of tillage practices in agricultural lands.

Keywords: soil and water loss; soil erosion; soil surface roughness; tillage practice

收稿日期: 2016-11-18

资助项目: 国家自然科学基金项目(41601293); 贵州省科技计划项目(黔科合基础[2016]1027, 黔科合[2016]支撑 2835 号); 贵州省教育厅青年科技人才成长项目(黔教合 KY 字[2016]114)

第一作者: 赵龙山(1985—), 男, 博士, 副教授, 主要从事土壤侵蚀与水土保持等研究。E-mail: longshanzh@163.com

坡耕地既是粮食作物的生产地,又是水土流失的策源地^[1]。长期以来,为了防治水土流失,保持土地生产力,在坡耕地上形成了以农业耕作措施为基础的水土保持耕作技术^[2]。与平整坡面相比,耕作措施可以增加地表粗糙度,使地表形成坑洼相间或沟垄相间的起伏地形^[3]。在降雨侵蚀初期,地表低洼处具有拦蓄降水,延缓径流产生的作用,即在耕作坡地上产生地表径流的条件除降雨强度大于土壤入渗外,还需要降水满足洼地蓄水,方可产生地表径流^[4-5]。正因为如此,耕作坡地的初始产流时间往往较平整坡面长^[6]。Zhao 等^[7]对黄土坡耕地不同耕作措施强化降水入渗作用研究表明,在相同入渗时间下,等高耕作强化降水入渗速率最高,其次为人工掏挖和人工锄耕,而且农业耕作措施强化入渗的作用在中小雨强或较短降雨历时条件下更为显著^[8]。

其次,在耕作坡地上,受地表微地形空间特征的影响,地表径流的流向和汇流路径与平整坡面明显不同^[9],使得地表径流水力学特性及其对土壤的冲刷、搬运作用发生一定变化。梁心蓝等^[10]研究表明,农业耕作措施的水土保持作用与其对坡面流态的影响有一定关系。Rai 等^[11]、Chahinian 等^[12]、梁心蓝等^[13]的研究也证实,农业耕作措施形成的地表微地形对地表径流水力学特性的影响是其具有水土保持作用的主要原因。此外,坡度也是影响坡面水土流失的主要因素之一。已有研究表明,随着坡度的增加,地表径流和侵蚀量也增加^[14-15]。但是,在有关坡度与土壤侵蚀关系的研究中,主要针对的是平整坡面。尽管也有针对坡度影响农业耕作措施水土流失作用的研究,但这些研究采用坡度要么坡度梯度较少,要么坡度较小。姜伯文等^[16]采用径流小区试验研究了 3°和 5°坡度下横坡垄作和顺坡垄作 2 种耕作措施对地表径流、土壤侵蚀的影响。Gómez 等^[4]的研究仅对 5%和 20%的 2 个坡度进行了研究。因此,对农业耕作坡地上坡度与水土流失关系还需要深入研究。

鉴于此,本研究选择人工锄耕、人工掏挖和等高耕作等农业耕作措施为研究对象,以平整坡面为对照措施,通过人工模拟降雨试验方法对不同坡度下耕作措施水土保持作用进行研究,以期对坡耕地水土流失防治与水土资源利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试土壤

选择陕西省杨凌区坡耕地表层土(0—20 cm)为供试土样。土壤类型为壤土,土壤颗粒粒径>0.05 mm 占 9%,粒径在 0.01~0.05 之间占 44%,粒径<0.01 mm 占 47%。耕层有机碳约为 7.30 g/kg,全氮 0.91 g/kg,有机

质含量 5~15 g/kg,土壤容重约 1.30 g/cm³。

1.2 试验方法

2015 年 5—8 月在西北农林科技大学水土保持工程实验室进行模拟试验。试验小区为长 4 m,宽 1 m 的径流小区。试验坡度为 5°,10°,15°,20°,25°。降雨强度为 1,1.5,2 mm/min,降雨历时为 90 min。

在径流小区模拟农业耕作措施的主要过程:(1)地表平整:利用耙耢的方式,将地表土壤整平,并压碎大颗粒土块;(2)耕作措施模拟:①等高耕作,利用犁在坡面上横向翻耕,在地表形成沟和垄,垄高 7~10 cm,垄距为 14 cm;②人工掏挖,采用锄头在地表隔一定距离(20~25 cm)挖一个小坑,深度 5~8 cm;③人工锄耕,以传统方式在地表锄耕,深度 4~5 cm。本研究选择平整坡面作为对照措施。

降雨试验采用侧喷式模拟降雨机,该降雨机由中国科学院水利部水土保持研究所研制,喷头距地面高度 6 m,实际雨滴下落距离地面 7 m。降雨机通过一条引水管与水源相连,在降雨过程中降雨强度可以通过人工调节阀门控制供水压力来调节。降雨机位置不固定,试验时可以根据需要在不同径流小区间转移。本研究中,每场降雨包括 2 台降雨机,分别置于径流小区前后约 1 m 处,喷头位于径流小区中心线,有效降雨面积 35 m²(5 m×7 m),降雨均匀度可达 80%以上,满足试验要求。

降雨过程中,当径流小区底部出口有径流产生时记录产流时间。此后,以 2 min 间隔采集全部径流和泥沙样品。降雨试验结束后,采用称重法测定产流量,烘干法测定产沙量。

1.3 数据分析

本研究包括 5 个试验坡度和 3 个降雨强度,各农业耕作措施包括 15 组降雨试验条件。试验数据采用如下方法计算。

(1)对于各农业耕作措施产流量和产沙量,用 15 组降雨试验条件下平均产流量和产沙量表示。其中,产流量计算公式为:

$$RY = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \overline{RY}_i \quad (1)$$

式中:RY 为产流量(g/s); $\overline{RY}_i$ 为坡面平均产流量(g/s);N 为降雨试验条件数,本研究中 N=15。

产沙量计算公式为:

$$SY = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \overline{SY}_i \quad (2)$$

式中:SY 为产沙量(g/s); $\overline{SY}_i$ 为坡面平均产沙量(g/s);N 为降雨试验条件数,本研究中 N=15。

(2)对于每个坡度条件下,农业耕作措施的产流量和产沙量用 3 个雨强条件下平均产流量和产沙量

表示,计算方法同公式(1)和公式(2), $N=3$ 。

(3)用方差分析对不同农业耕作措施之间的产流量与产沙量进行统计分析,判断不同耕作措施水土保持作用差异性。

采用 Excel 2003 整理数据并绘制图表,采用 SPSS 16.0 软件对数据进行方差分析和显著性检验。

2 结果与分析

2.1 农业耕作措施对坡面产流量与产沙量的影响

由图 1 可知,与平整坡面相比,等高耕作、人工掏挖和人工锄耕坡面的产流量与产沙量都有不同程度减小。可见,农业耕作措施具有一定的水土保持作用。

对产流量分析表明,等高耕作、人工掏挖和人工锄耕分别较平整坡面减小 38.19%,32.25%和 15.84%。等高耕作和人工掏挖与平整坡面的产流量存在显著差异($p<0.05$)。对产沙量分析表明,等高耕作、人工掏挖和人工锄耕分别较平整坡面减小 72.37%,62.99%和 44.59%。等高耕作、人工掏挖和人工锄耕与平整坡面的产沙量存在极显著差异($p<0.01$)。

另外,等高耕作、人工掏挖和人工锄耕坡面产流量和产沙量也存在一定差异。对产流量而言,等高耕作和人工掏挖坡面分别为 15.97,17.50 g/s,均小于人工锄耕坡面 21.74 g/s。人工锄耕坡面的产沙量较等高耕作和人工掏挖坡面增大 0.23 g/s。统计分析表明,等高耕作和人工掏挖坡面产流量差异不显著,但与人工锄耕坡面存在显著差异($p<0.05$);等高耕作和人工锄耕之间产沙量存在极显著差异($p<0.01$)。

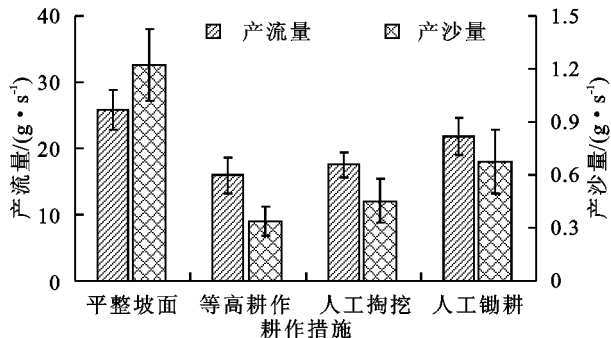


图1 不同农业耕作措施下坡面产流量和产沙量

以上结果表明,不同耕作措施之间水土保持作用具有差异。这是由于在耕作坡地上,受地表起伏特征的影响,地表径流的流向和汇流路径与平整坡面明显不同^[9],在等高耕作措施下,坡面产流后,水流先沿犁沟方向水平流动,而后从犁垄切口向下汇入下一个犁沟,直到坡面出口,流路呈“T”形分布,而在平整坡面上,汇流路径往往呈树枝状分布^[17]。其次,耕作措施改变了坡面微地形,在产流过程中,地形较低处具有拦蓄雨水的作用,而地形较高处具有分散径流的作用,导致坡面径流的流速等水力特征变化^[18]。梁心

蓝等^[10]、Rai等^[11]对粗糙坡面水动力特性研究表明,在相同雨强和降雨历时条件下,地表糙度越大的耕作措施,地表径流形成过程中束流越多,片流越少,坡面径流量和产沙量越小。另外,耕作措施的水土保持作用还与地表微地形强化入渗作用有关。因为耕作措施增加了地表土壤的起伏,在降雨过程中,地形较低处汇集了大量的雨水,增加了土壤的入渗水量^[19]。在以上各因素的综合作用下,导致耕作坡面的径流量和侵蚀量减小。

2.2 坡度对产流量与产沙量的影响

由图2和图3可知,不同农业耕作坡面的产流量与产沙量均随着坡度增加具有明显变化,但呈现不同特征。对于产流量,在小坡度条件下,除人工掏挖坡面变化不明显外,等高耕作和人工锄耕均呈减小的趋势。但是,在大坡度条件下,产流量都呈增加的趋势,且不同农业耕作措施坡面之间的差异减小。这是由于随着坡度的增加,不同耕作措施地表洼地有效蓄水能力降低,产生地表径流的降水量增加,故坡度越大,耕作措施对产流量的影响越小。但是,就产流量大小而言,各种耕作措施在大坡度和下坡度条件下并无显著差异。这是由于影响坡面产流量的因素主要包括入渗和地表洼地蓄水量。当坡面产流稳定后,土壤入渗率也趋于稳定,这时,随着侵蚀作用的发生,地表洼地由于泥沙沉积或沟垄崩塌,原来存储在洼地的水也开始下泄,增加产流量,导致不同耕作措施坡面总产流量差异减小^[20]。

与产流量变化特征不同,产沙量随坡度变化较明显,且耕作措施之间差异也较大。随着坡度的增加,等高耕作、人工掏挖和人工锄耕坡面产沙量均呈现增加趋势,但人工掏挖和人工锄耕增加幅度更大。如当坡度增加到25°时,人工掏挖和人工锄耕坡面产沙量较5°坡面分别增加了10倍和3倍。当坡度为5°和10°时,所有耕作措施坡面产沙量随坡度增加的变化不大,而当坡度增加到15°后,产沙量随坡度升高明显增加。可见,在小坡度坡面,耕作措施的保土作用强,在大坡度坡面,耕作措施的保土作用较弱。对于等高耕作、人工掏挖和人工锄耕措施,在坡度大于15°后,坡度每升高1°,保土作用平均降低3.08%,4.74%和7.61%。

2.3 坡度与产沙量的关系

由于不同耕作措施坡地产沙量随坡度增加的变化特征较明显,运用最小二乘法原理对坡度与产沙量关系进行回归分析,结果表明不同农业耕作措施坡面产沙量随坡度的变化特征可用指数函数表示,即:

$$y = a \cdot e^{b \cdot S} \quad (3)$$

式中: a, b 为回归系数; e 为自然底数; y 为产沙量(g/

s); S 为坡度($^{\circ}$)。对于不同的耕作措施,回归参数 a , b 不同(表 1)。

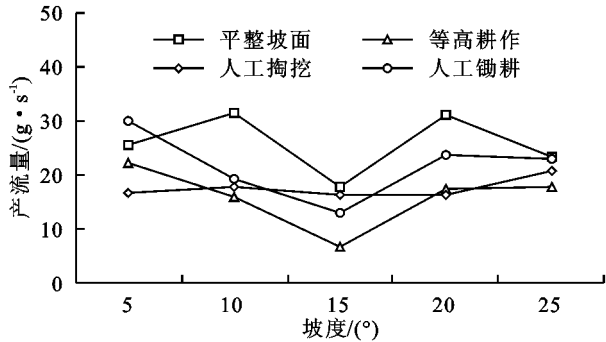


图 2 不同农业耕作措施下坡面产流量随坡度的变化

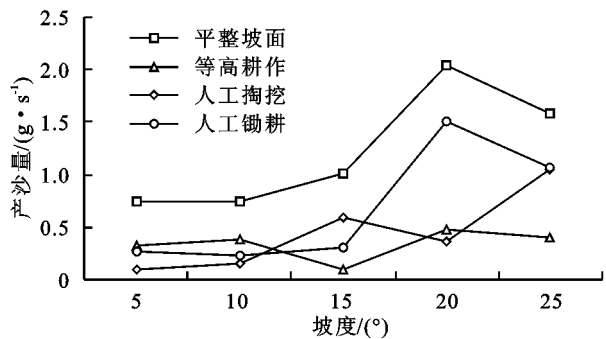


图 3 不同农业耕作措施下坡面产沙量随坡度的变化

坡面产沙量与坡度呈正相关关系。但是,对不同耕作措施,各回归参数及方程决定系数存在差异。由于耕作坡地产沙量较平整坡面低,故等高耕作、人工掏挖和人工锄耕坡面的系数 a 较小。其次,由于耕作措施增加了地表起伏度,在降雨侵蚀过程中,坡面土壤侵蚀与搬运过程受地表微地形的影响增加,因此,耕作措施在一定程度上影响了坡度与产沙量之间的相关性水平。如等高耕作,回归方程决定系数为 0.23,说明等高耕作措施形成的微地形弱化了坡度对产沙量的影响,这一特征也可以从图 3 看出,在等高耕作坡面产沙量随坡度的变化幅度不大。

表 1 不同耕作措施坡面产沙量与坡度的关系

耕作措施	关系式	决定系数	样本数
平整坡面	$y=0.53e^{0.05S}$	0.78	160
等高耕作	$y=0.22e^{0.01S}$	0.23	98
人工掏挖	$y=0.12e^{0.12S}$	0.83	136
人工锄耕	$y=0.24e^{0.09S}$	0.66	142

3 结论

(1)农业耕作措施可以明显减小坡面水土流失量,但是不同耕作措施对水土流失量的影响不同。与平整坡面相比,等高耕作措施的减流减沙作用最大,其次为人工掏挖和人工锄耕。

(2)坡度对不同农业耕作措施坡面产流产沙影响具有差异。尽管坡度 $5^{\circ} \sim 15^{\circ}$ 之间,产流量随坡度增加呈减小趋势,当坡度大于 15° 后,产流量逐渐增加,但大坡度与小坡度产流量差别不大;产沙量随着坡度

的增大呈增加的趋势,当坡度在 $5^{\circ} \sim 10^{\circ}$ 之间,产沙量随坡度的变化不明显,而当坡度大于 15° 后,产沙量显著增加。

(3)运用最小二乘法原理对坡度与产沙量关系分析,得出了不同耕作措施坡面产沙量与坡度呈指数函数关系。

参考文献:

- [1] 高海东,李占斌,李鹏,等. 基于土壤侵蚀控制度的黄土高原水土流失治理潜力研究[J]. 地理学报, 2016, 70(4): 1503-1515.
- [2] 吴发启,史东梅. 水土保持农业技术[M]. 北京: 科学出版社, 2012.
- [3] 赵龙山,张青峰,宋向阳,等. 基于微尺度下 DEM 的黄土坡耕地地表坑洼特征研究[J]. 土壤学报, 2012, 49(1): 179-183.
- [4] Gómez J A, Nearing M A. Runoff and sediment losses from rough and smooth soil surfaces in a laboratory experiment[J]. Catena, 2005, 59(3): 253-266.
- [5] Darboux F, Huang C H. Does soil surface roughness increase or decrease water and particle transfers? [J]. Soil Science Society of America Journal, 2005, 69(3): 748-756.
- [6] 赵龙山,宋向阳,梁心蓝,等. 黄土坡耕地耕作方式不同时微地形分布特征及水土保持效应[J]. 中国水土保持科学, 2011, 9(2): 64-70.
- [7] Zhao L S, Wang L H, Liang X L, et al. Soil surface roughness effects on infiltration process of a cultivated slopes on the Loess Plateau of China[J]. Water Resources Management, 2013, 27(14): 4759-4771.
- [8] 吴发启,赵西宁,崔卫芳. 坡耕地耕作管理措施对降雨入渗的影响[J]. 水土保持学报, 2003, 17(3): 115-117.
- [9] Ribolzi O, Patin J, Bresson L M, et al. Impact of slope gradient on soil surface features and infiltration on steep slopes in northern Laos[J]. Geomorphology, 2011, 127(1/2): 53-63.
- [10] 梁心蓝,赵龙山,吴佳,等. 地表糙度与径流水力学参数响应规律模拟[J]. 农业工程学报, 2014, 30(19): 123-131.
- [11] Rai R K, Upadhyay A, Singh V P. Effect of variable roughness on runoff[J]. Journal of Hydrology, 2010, 382(1/4): 115-127.
- [12] Chahinian N, Moussa R, Andrieux P, et al. Accounting for temporal variation in soil hydrological properties when simulating surface runoff on tilled plots[J]. Journal of Hydrology, 2006, 326(1/4): 135-152.
- [13] 梁心蓝,赵龙山,吴佳,等. 模拟条件下不同耕作措施和雨强对地表糙度的影响[J]. 中国农业科学, 2014, 47(24): 4840-4849.
- [14] 张会茹,郑粉莉. 不同降雨强度下地面坡度对红壤坡面土壤侵蚀过程的影响[J]. 水土保持学报, 2011, 25(3): 40-43.