

人工降雨条件下谷子地留茬的水土保持效应研究

王英文¹, 郝明德², 唐涛¹

(1. 西北农林科技大学 资源与环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 通过人工模拟降雨试验研究了谷子地不同留茬高度及不同坡度的水土保持效应。结果表明, 15 cm 留茬高度相对于未留茬处理径流量减少了 18.6%, 留茬 5 cm 与 10 cm 无显著减少径流作用; 留茬能够减小产沙量 14.36%~19.47%; 5, 10, 及 15 cm 留茬高度对产流时间没有显著影响, 坡度的变化对产流时间无显著影响; 坡度为 10° 时, 径流对土壤的侵蚀最明显; 留茬高度为 15 cm 的处理水土保持效应最佳。

关键词: 人工降雨; 留茬; 坡度; 水土流失

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2009)04-0134-04

中图分类号: S157.2

Effects of Stubble Application on Soil and Water Loss Under Simulated Rainfall

WANG Jia-wen¹, HAO Ming-de², TANG Tao¹

(1. College of Natural Resource and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The effects of stubble application and slope gradient on soil and water loss are studied. The 15 cm stubble mulch application can reduce runoff amount by 18.6%. Stubble application can reduce sediment yield by 14.36%~19.47%. Crop stubble application with a height of 5, 10, and 15 cm and slope gradient has no significant effects on initial runoff time. The 15° slope steepness has a significant effect on soil erosion. The 15 cm stubble mulch application has the most significant effect on soil and water conservation.

Keywords: simulated rainfall; stubble height; slope gradient; soil and water loss

黄土高原是典型的受人类活动影响的水土流失严重区。该区土地类型多样, 资源丰富, 不合理的资源开发和土地利用方式已经导致该区农田生产力严重下降。

干旱缺水 and 水土流失是困扰黄土高原旱地农业生产的两大难题^[1-2], 国内外研究表明^[3], 实施保护性耕作措施后能有效地减少水土流失, 增加土壤入渗, 提高农田生产力。

留茬措施可以有效地防治风蚀和水蚀, 可以保水保土、改善土壤物理性状^[4-15]。本研究通过人工降雨模拟试验^[16-17], 研究在不同坡度条件下控制土壤侵蚀和水土流失的最佳留茬高度, 获得土壤侵蚀量、径流量与不同的留茬高度之间的关系, 并进行了利用秸秆留茬增加降雨入渗、减少土壤侵蚀的人工模拟降雨试验, 为黄土高原开展利用秸秆留茬措施防治水土流失提供依据。

1 试验方法

1.1 试验条件

试验在黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室降雨大厅进行, 采用侧喷式自动模拟降雨系统, 喷头高度 16 m, 雨滴降落终速可达到自然雨滴降落速度的 98% 以上, 降雨均匀度大于 80%。

试验用土槽规格为 2 m × 0.5 m × 0.3 m 的坡度可调式钢槽, 坡度可在 0~30° 之间调节, 土槽下端设集流装置, 可定时收集径流, 采集泥沙样品。研究在不同坡度条件下, 留茬高度对产流产沙的影响以及同一留茬高度时, 坡度对产流产沙的影响。

1.2 试验概况

供试土壤为塋土, 小于 0.001 mm 细黏粒占 25.6%, 0.001~0.005 mm 之间粉粒占 69.3%, 0.05 mm 以上的砂粒占 4.8%, 容重为 1.25 g/cm³。

收稿日期: 2008-12-08

修回日期: 2009-03-10

资助项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目 (kzcx2-yw-424-3); 国家科技支撑计划项目 (2006BAD15B01-03; 2006BAD09B04); 农业部和陕西省保护性耕作创新项目

作者简介: 王英文 (1984—), 男 (汉族), 山东龙口市人, 硕士研究生, 主要从事保护性农业方面的研究。E-mail: wangjiawen@live.cn。

通信作者: 郝明德 (1957—), 男 (汉族), 陕西省华县人, 研究员, 博士生导师, 主要从事土壤肥力与黄土高原综合治理研究。E-mail: mdhao@ms.iswc.ac.cn。

供试作物为谷子,播种行距 12.5 cm,穴距 5 cm,谷子各处理均施氮肥(尿素,46% N)为氮肥 180 kg/hm²,磷肥(过磷酸钙,14% P₂O₅)24.6 kg/hm²,管理同大田。

本试验在谷子收获后进行,留茬高度为:不留茬,5,10,15 cm;试验进行的坡度为分别为 5°,10°,15°,降雨强度为 120 mm/h。

供试土壤先过 1 cm × 1 cm 的粗筛,以 5 cm 每层称重装土,控制相应的土壤容重和土壤初始含水量。土壤容重控制在 1.36 ~ 1.39 g/cm³,初始含水量为 10% ~ 15%。填装上层土壤之前,刮毛下层土壤表面,以防土层之间出现分层现象,按此步骤填装 30 cm。将土槽调整到试验设计坡度。

降雨前期进行预降雨,以确保降雨的强度和均匀度达到试验要求。坡面开始产流时,记录产流时间。径流泥沙样全部收集,从坡面产流开始,每间隔 3 min 采集径流泥沙样一次,降雨持续 60 min。

径流量的测定采用量筒量取法,产沙量的测定采用称重法,用烘干法测量土壤含水量,环刀法测量土壤容重,吸管法测定土壤机械组成。

2 结果与分析

2.1 留茬高度对产流产沙的影响

2.1.1 留茬高度对产流的影响 谷子收获后留茬可以截留部分雨滴,降低雨滴到达土表时的动能,其根系的蓄渗作用能够加快雨水的入渗,而秸秆可以降低径流的流速,因此会减缓地表径流的产生以及径流流速。留茬对产流时间的影响并不显著,5 cm 留茬高度产流时间相对对照延后 4 s,10 cm 茬高延后 11 s,15 cm 茬高延后 13 s,随着留茬高度的增加,径流产生时间有延后的趋势。谷子茬对降雨起到一定的截留作用。

同一坡度时,累积径流量随留茬高度的增加而降低,雨水降落到残茬上时,一部分随残茬流下,另一部分在击打到残茬后减速落到地表,雨滴的动能大大减少,此时的雨滴对地表的溅蚀作用减弱,土壤的颗粒结构就不会很容易被雨滴破坏,累计入渗量增大,产流量减少;根系附近的土壤因为根系的伸展穿插,土壤相对疏松,结构良好,利于雨水的入渗,这样可以增加径流的初损量。5 cm 茬高相对对照累积径流量分别减少了 0.5%,10 cm 相对于对照累积径流量减少 3.4%,15 cm 茬高相对对照累积径流量减少了 18.6%,5 和 10 cm 留茬高度对累积径流量的减少效果并不显著,当留茬高度达到 15 cm 时,才能显著减少坡面径流总量。

相同坡度条件下,不同留茬高度处理的径流过程变化趋势大致相同,都是留茬高度低的先产流,留茬高度高的后产流,且留茬高度低的径流量大,留茬高度高的径流量小。在各个留茬高度条件下随降雨时间的延长,径流量总体上均呈现出增大的趋势,在开始产流后的 5 ~ 15 min 内增加很快,以后逐步变缓,并基本趋向于稳定。随着降雨历时的增长,表层土壤含水量增大,地表土壤受雨滴打击作用及细颗粒物填充土壤孔隙的影响,土壤入渗能力减小,径流量急速增大,大约持续到降雨 5 ~ 15 min 以后,土壤含水量及土壤表面孔隙状况的变化率开始减小,土壤入渗率大体趋于稳定,径流量的变化也就趋于缓和。5 cm 茬高平均稳定产流量为 346.9 m³/(hm²·s),比未留茬处理减少 2.6%;10 cm 茬高稳定后平均流速为 345.7 m³/(hm²·s),比未留茬处理减少 3.0%,差异不明显,茬高 5 cm 时的径流过程线基本与对照的径流线相交。10 cm 茬高的径流线在 10 min 之前与对照的径流过程线基本吻合,而在 15 min 后流速稳定在 306.5 m³/(hm²·s),比未留茬处理减少 14.0%,这一流速明显小于对照的 356.3 m³/(hm²·s),在 5 min 之前,产流量已经出现显著差异,之后,径流量稳定在一个较低水平,稳定时的径流量明显小于其它处理(图 1)。

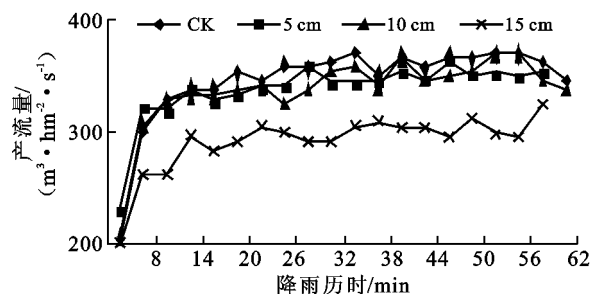


图 1 留茬高度对产流量随时间变化的影响

2.1.2 留茬高度对产沙的影响 同一坡度条件下,累积产沙量随留茬高度的增长而降低,5 cm 比未留茬减少累积产沙量 14.36%,10 cm 比未留茬减少累积产沙量 18.48%,15 cm 比未留茬减少累积产沙量 19.48%,谷子留茬可以显著减少土壤流失量。

各处理在产流开始到 15 min 时泥沙含量增幅明显,并在 15 min 左右达到最高值。CK 从初始产流时的 1.53 t/hm² 增长到 3.68 t/hm² 后,随着降雨历时的增长逐步减小,稳定后的平均产沙量为 2.25 t/hm²。留茬 5 cm 稳定后产沙量为 1.94 t/hm² 相对 CK 减少 13.6%;留茬 10 cm 稳定后平均产沙量为 1.93 t/hm²,相对 CK 减少了 14.2%;留茬 15 cm 稳

定后平均产沙量为 $1.71 \text{ t}/\text{hm}^2$, 相对 CK 减少了 24.1%。各留茬处理稳定后的产沙量均显著低于 CK, 且过程曲线较为平滑, 起伏不大; CK, 5 cm, 10 cm, 15 cm 具有相似的过程(图 2), 留茬处理可以显著减缓径流对坡面的侵蚀强度。

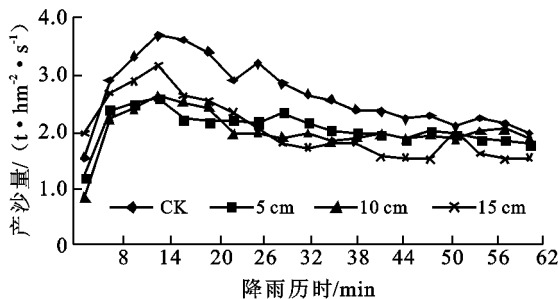


图 2 留茬高度对产沙量随时间变化的影响

2.2 坡度对产流产沙的影响

2.2.1 坡度对产流的影响

10 cm 茬高时, 产流时间随着坡度的增加而缩短。坡度 10° 时, 产流时间为 5.48 min 相对 5° 时的 6 min 产流时间提前了 29 s, 15° 时产流时间 5.17 min 相对 5° 产流时间提前了 19 s, 随着坡度的增加, 径流沿坡面受到更大的重力作用, 使其加速度增大, 对土壤的侵蚀力加大, 而入渗速度则显著减少。

当茬高为 10 cm, 坡度 10° 时, 累积产流量随着坡度的增加而明显增加, 坡度为 10° 相对于 5° 增加了 6.8%, 随着坡度的增加, 径流重力在顺坡方向的分力增大, 径流流速加快, 土壤入渗减小, 径流量增加。在坡度为 15° 时, 累积径流量相对 5° 减少 9.3%, 当坡度增加到一定程度时, 小区的投影面积即能够接受到雨水的面积减少, 也就造成该小区降雨总量明显小于其它小区, 从而造成径流总量的大幅减少。

2.2.2 坡度对产沙的影响

雨水对坡面的冲刷造成坡面的土壤侵蚀, 冲刷量随着坡度的增加而增加, 坡度为 10° 时, 累积产沙量相对于 5° 增加了 31.6%, 随着坡度的增加径流量增加, 径流重力在顺坡方向的分力增大, 径流的冲刷能力增强, 随着坡度的增加土壤的抗冲刷能力减小, 即土壤稳定性减弱。15° 坡度条件下累积产沙量相对于 5° 减少了 43.8%, 相对 10° 条件下减少了 57.8%。

坡度 5° 时, 坡面平均产流量为 $291.3 \text{ m}^3/(\text{hm}^2 \cdot \text{s})$, 坡度增加到 10°, 平均产流量增加到 $323.1 \text{ m}^3/(\text{hm}^2 \cdot \text{s})$, 相对 5° 的产流量增加了 10.92%。15° 条件下平均径流量 $301.1 \text{ m}^3/(\text{hm}^2 \cdot \text{s})$, 高于 5° 条件下的平均产流量, 低于 10° 条件下的平均产流量。5°, 10°, 15° 径流过程线都呈现相似趋势, 径流量随着降雨历时增长

而增大, 在 20 min 左右时达到最大值并稳定到降雨结束。当坡度 10° 时, 随着坡度的增大, 平均径流量随坡度增大而增加, 大于 10° 时, 平均径流量反而减小; 径流产生过程随坡度变化不明显(图 3)。

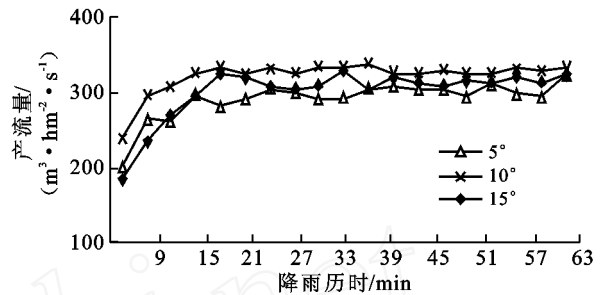


图 3 坡度对产流量随时间变化的影响

坡度为 5° 时, 初始产流时产沙量为 $1.97 \text{ t}/\text{hm}^2$, 15 min 时增长到 $3.15 \text{ t}/\text{hm}^2$ 的过程最大值, 随后产沙量随降雨历时增长而递减, 呈现较好的对数负相关关系: $S = -100.01 \ln t + 546.56$, $R^2 = 0.8195$ (S 为每秒产沙量; t 为降雨历时); 坡度为 10° 时, 初始产沙量为 $2.60 \text{ t}/\text{hm}^2$, 9 min 时增长到 $4.27 \text{ t}/\text{hm}^2$ 的过程最高值, 随后产沙量与降雨历时呈对数负相关关系, $S = -130.14 \ln t + 690.41$, $R^2 = 0.9378$ 和 15° (S —— 每秒产沙量; t —— 降雨历时); 坡度为 15° 时, 初始产沙量为 $0.64 \text{ t}/\text{hm}^2$, 18 min 时增长到 $1.76 \text{ t}/\text{hm}^2$ 的过程最高值, 之后产沙量随降雨历时的增加而逐步减小。坡度为 5° 时, 产沙量最大值出现时间较坡度 10° 小区延迟了 6 min。坡度为 15° 时产沙量最大值出现时间都较坡度 10° 小区滞后 9 min; 10° 坡度时平均产沙量为 $2.50 \text{ t}/\text{hm}^2$, 为 5° 坡度条件下产沙量的 1.22 倍, 是 15° 坡度条件下的 2.1 倍。坡度 10° 时, 径流对土壤的侵蚀最为强烈, 表现为产沙量最大值出现早, 平均产沙量大。坡度由 10° 增加到 15° 后, 产沙量最高值出现时间延后 9 min, 最高产沙量为 10° 条件下最高产沙量的 41.25%, 平均产沙量减小到 10° 条件下的 47.62%, 造成此现象原因尚待进一步研究(图 4)。

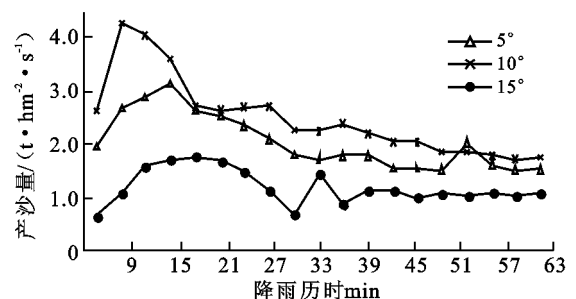


图 4 坡度对产沙量随时间变化的影响

3 结论

(1) 谷子留茬可以延后径流的产生,随着留茬高度增加,产流时间延后越长;同一留茬高度条件下,坡度与产流时间成反比。

(2) 谷子留茬可以显著截留雨水,蓄渗水分,减少径流总量和侵蚀产沙总量,水土保持效应较为明显,15 cm 留茬高度能够显著减少径流总量的18.6%,5和10 cm 茬高相对对照累积径流量分别减少了0.5%和3.4%,留茬的保水效果与留茬高度成正比。谷子留茬能够显著减少侵蚀产沙总量;5,10和15 cm 茬高分别能减少侵蚀产沙总量14.36%,18.48%和19.48%;留茬的保土效应与留茬高度成正比,留茬高度15 cm 既能显著减少径流总量也可以显著减少侵蚀产沙量。

(3) 实施谷子留茬措施后,坡面产流时间随坡度增加而提前;坡度小于10°时,径流总量及产沙总量与坡度成正比;坡度大于10°时,坡面产流产沙随坡度增加而减少。坡度对径流过程无显著影响,坡度小于10°时,随着坡度增加,产沙量峰值增加,坡度大于10°后,产沙量峰值随坡度增加而减小。

[参 考 文 献]

- [1] 黄高宝. 论黄土高原侵蚀环境下旱作农业的可持续发展[J]. 草业学报, 2001, 10(S): 84-90.
- [2] 梁银丽, 张成娥, 郭东伟. 黄土高原区农田覆盖效应与前景分析[J]. 中国生态农业学报, 2001, 9(1): 55-57.
- [3] 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.
- [4] 王长生, 王遵义, 苏成贵, 等. 保护性耕作技术的发展现状[J]. 农业机械学报, 2004, 35(1): 165-169.
- [5] 何文清, 赵彩霞, 隋鹏, 等. 农牧交错带地区发展保护性耕作的意义与前景[J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24(4): 119-122, 128.
- [6] 王小彬, 蔡典雄, 华珞, 等. 土壤保持耕作: 全球农业可持续发展优先领域[J]. 中国农业科学, 2006, 39(4): 741-749.
- [7] 臧英, 高焕文. 国外农田风蚀发生机理与防治技术的研究[J]. 农业工程学报, 2002, 18(3): 195-198.
- [8] 妥德宝, 段玉, 赵沛义, 等. 带状留茬间作对防治干旱地区农田风蚀沙化的生态效应[J]. 华北农学报, 2002, 17(4): 63-67.
- [9] 常旭虹, 赵广才, 张雯, 等. 作物残茬对农田土壤风蚀的影响[J]. 水土保持学报, 2005, 19(1): 28-31.
- [10] 王升堂, 程宏, 赵延治. 旱作农区土壤风蚀过程、影响因素及其防治技术措施[J]. 国土与自然资源研究, 2005(3): 36-38.
- [11] 王鹤龄, 李耀辉. 中国北方沙尘暴及其农学防治探讨[J]. 干旱气象, 2007, 25(2): 36-38.
- [12] 陈智, 麻硕士, 范贵生, 等. 麦薯带状间作农地地表土壤抗风蚀效应研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(03): 51-54.
- [13] 鲍玉海, 贺秀斌, 杨吉华, 等. 三种网格的农田防护林防止土壤风蚀的效应研究[J]. 水土保持学报, 2007, 21(2): 5-8.
- [14] Tibke G. Basic principle of wind erosion control[J]. Agriculture Ecosystems and Environment, 1988, 22(23): 91-101.
- [15] Stout J E, Zobeck T M. The Wolfforth field experiment: A wind erosion study[J]. Soil Science, 1996, 16(9): 616-632.
- [16] Pan C Z, Shanguan Z P. Runoff hydraulic characteristics and sediment generation in sloped grassplots under simulated rainfall[J]. Journal of Hydrology, 2006, 331(1/2): 178-185.
- [17] Benito E, Santiago J L, Blas E D, et al. Deforestation of water-repellent soils Galicia (NW Spain): Effects on surface runoff and erosion under simulated rainfall[J]. Earth Surface Processes and Landforms, 2003, 28: 145-155.