

# 人工降雨条件下秸秆覆盖及留茬的水土保持效应

王安<sup>1</sup>, 郝明德<sup>1,2</sup>, 王英文<sup>1</sup>

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:** 通过人工模拟降雨试验, 研究了秸秆覆盖及留茬的水土保持效应。结果表明, 秸秆覆盖和留茬均可延缓径流产生, 其中 5 000 和 3 000 kg/hm<sup>2</sup> 秸秆覆盖分别能使初始产流时间延后 427% 和 19%, 而 30 cm 高留茬及 15 cm 低留茬覆盖则可分别延后初始产流时间 107% 和 76%。5 000 kg/hm<sup>2</sup> 覆盖量下累积径流量较对照减少了 61.72%, 土壤侵蚀量减少了 86.7%; 3 000 kg/hm<sup>2</sup> 覆盖量下累积径流量减少了 6.26%, 土壤侵蚀量减少了 60.1%。实施覆盖能够有效抑制水土流失, 且以高覆盖量的作用效果更为显著。30 cm 高留茬的土壤侵蚀量较对照减少了 62.9%, 15 cm 低留茬覆盖减少 25.6%。留茬能够有效防止土壤侵蚀, 但对径流量无明显影响。

**关键词:** 人工降雨; 秸秆覆盖; 留茬; 水土保持

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2012)02-0026-03

中图分类号: S157.2

## Effects of Straw Mulch and Stubble on Soil and Water Conservation Under Stimulated Rainfalls

WANG An<sup>1</sup>, HAO Ming-de<sup>1,2</sup>, WANG Jia-wen<sup>1</sup>

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

**Abstract:** A number of experiments with artificially simulated rainfalls were conducted to study the effects of straw mulch and stubble on soil and water conservation. The results show that both straw mulch and stubble delayed the runoff initiating time, by 427% and 19% for the treatments with straw mulch applications of 5 000 and 3 000 kg/hm<sup>2</sup>, and by 107% and 76% for the treatments with 30 cm high stubble and the combination of 15 cm low stubble and straw mulch, respectively. Compared with the control, the cumulative amount of runoff and sediment was reduced by 61.72% and 86.7% in the treatment with straw mulch application of 5 000 kg/hm<sup>2</sup>, and by 6.26% and 60.1% with straw mulch application of 3 000 kg/hm<sup>2</sup>, respectively. Straw mulch, especially with high application rates, could effectively control soil water erosion. In contrast, 30 cm high stubble reduced soil erosion by 62.9% and 15 cm low stubble by 25.6%. Both of the stubble treatment could effectively reduce the soil erosion, but showed no significant effect on surface runoff.

**Keywords:** artificial rainfall; straw mulch; stubble; soil and water conservation

我国是世界上水土流失最为严重的国家之一, 水土流失面积占到国土面积的 37.6%<sup>[1]</sup>。在我国黄土高原地区, 土壤植被覆盖少, 抗侵蚀能力低, 且年内降雨分布高度集中<sup>[2]</sup>, 致使该地区水土流失严重, 土壤肥力下降, 严重制约着黄土高原农业的可持续发展。而保护性耕作在减少农田水土流失, 充分利用有限的降水资源、促进旱地农业发展等方面都具有重要意义。保护性耕作在国际上的研究始于 20 世纪 30 年

代, 经过 60 多年的发展, 已成为发达国家可持续农业的主导技术之一<sup>[3]</sup>。我国在保护性耕作技术防治水土流失作用方面也进行了研究<sup>[4-9]</sup>, 农业部保护性耕作中心测定结果表明, 保护性耕作技术减少地表径流量 50%~60%, 减少土壤侵蚀量约 80%<sup>[10]</sup>。作为保护性耕作技术的主要措施, 比较不同秸秆覆盖量和留茬高度水土保持效应的报道尚不多见, 本研究通过人工模拟降雨试验, 对比分析秸秆覆盖和留茬对坡地水

收稿日期: 2011-03-02

修回日期: 2011-04-01

资助项目: 国家重点基础研究(973)研究发展计划项目“主要粮食作物高产栽培与资源高效利用的基础研究”(2009CB118604); 国家科技支撑计划重大项目(2011BAD31B01); 中国科学院知识创新工程重大项目(KSCX-YW-09-07); 2011 年农业技术推广与体系建设专项

作者简介: 王安(1987—), 男(汉族), 陕西省府谷县人, 硕士研究生, 主要从事保护性耕作的水土保持效应研究。Email: nevermindan@126.com。

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, 主要从事农田生态系统生产力研究。Email: mdhao@ms.iswc.ac.cn。

土流失过程的影响,探讨覆盖和留茬的水土保持效应,以为黄土高原水土流失防治提供科学依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验概况

模拟降雨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内进行,采用侧喷式自动模拟降雨系统,喷头高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%。试验所用土槽规格为2 m×0.5 m×0.3 m的坡度可调式钢槽,坡度设定为3°,土槽下端设集流装置,可定时收集径流,采集泥沙样品。供试土壤为采自延安的黄绵土,土壤容重1.31 g/cm<sup>3</sup>。

试验目标雨强120 mm/h,降雨历时1 h。降雨前进行率定,以保证统一的雨强和开度。自坡面产流始,每隔3 min采样一次。降雨结束后,测定径流量和产沙量。

### 1.2 试验设计

试验前于2009年10月20日在试验小槽中种植小麦,以12.5 cm等行距穴播,穴距5 cm,播种量10.5 g/m<sup>2</sup>,并于2010年6月7日收获。试验在2010年6月间进行,设置5个处理,2次重复:(1)高量秸秆覆盖(NTS<sub>1</sub>):覆盖量5 000 kg/hm<sup>2</sup>;(2)低量秸秆覆盖(NTS<sub>2</sub>):覆盖量3 000 kg/hm<sup>2</sup>;(3)高留茬(NTHS):留茬30 cm;(4)低留茬覆盖(NTLS):留茬30 cm,剪去其中15 cm还田覆盖,剩余15 cm留茬;(5)对照(CK):无留茬,无覆盖。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同覆盖量对水土流失的影响

秸秆覆盖对产流和产沙过程具有明显影响。不同覆盖量下初始产流时间均有延后,尤其是高覆盖量,产流时间延后了427%,低覆盖量下则延后了19%。随着覆盖量的增加,累积径流量和土壤侵蚀量均呈减少的趋势(表1)。高覆盖量下累积径流量为28.48 mm,比对照减少了61.72%;土壤侵蚀量为23.5 g/m<sup>2</sup>,比对照减少了86.7%,能有效减弱水土流失。低覆盖量下累积径流量为69.73 mm,相较于对照减少了6.26%,对径流量影响不显著,而其土壤侵蚀量为70.8 g/m<sup>2</sup>,比对照减少60.1%,能够有效抑制土壤侵蚀。其中高覆盖下累积径流量和土壤侵蚀量相对于低覆盖量分别减少59.16%和66.8%,水土保持效应更为显著。不同覆盖量之间的产流过程(图1)和产沙过程(图2)均有所差异,其中产沙过程更为复杂。

表1 不同处理措施条件下的水土流失量

处理	起流时间/s	土壤侵蚀量/(g·m <sup>-2</sup> )	累积径流量/mm	径流系数/%
高覆盖量(NTS <sub>1</sub> )	1 060	23.5	28.48	23.73
低覆盖量(NTS <sub>2</sub> )	240	70.8	69.73	58.11
高留茬(NTHS)	417	65.7	98.70	82.25
低留茬(NTLS)	354	131.9	111.50	92.92
对照(CK)	201	177.3	74.39	61.99

注:降雨总量为120 mm。

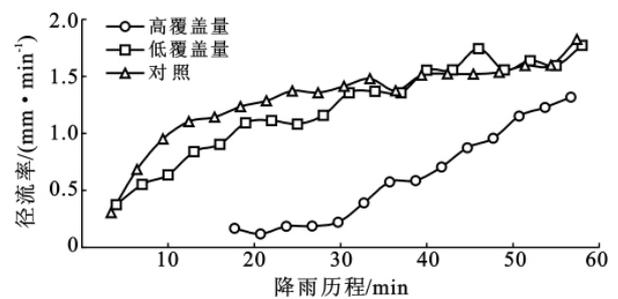


图1 不同秸秆覆盖量下径流率随降雨历时的变化

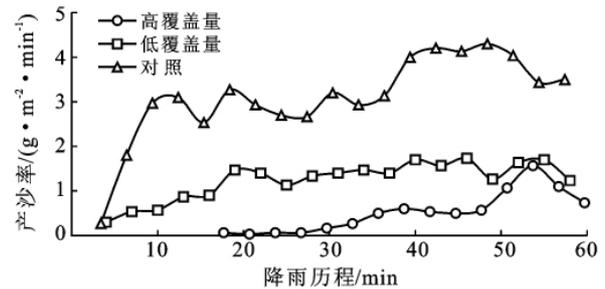


图2 不同秸秆覆盖量下产沙率随降雨历时的变化

秸秆覆盖能够减弱雨滴对地表的溅蚀<sup>[11]</sup>,高覆盖量下秸秆在土壤表面形成完整覆盖层,使地表得到充分保护,土壤表层透水孔隙因而能够保持通畅,而表层土壤孔隙结构对降雨入渗起决定性作用<sup>[7]</sup>;同时秸秆覆盖层延缓了雨水在地表的集聚速度和强度,使雨水能够有充足的时间下渗,不致在短时间内形成地表径流,且对径流有阻隔和分散的作用,有效减弱径流强度。因此高覆盖量下径流起流时间晚,径流量小。而地表径流是坡地水土流失的主要驱动力,径流强度弱则土壤侵蚀亦随之减弱,加之高覆盖量下土壤表层结构破坏轻微,土壤表面松散颗粒少,因此其产沙量小。相对于高覆盖量,低覆盖量下的覆盖面积有所缩减,相应地对地表的保护作用也减弱,致使雨水入渗能力下降,径流强度较大,因此初始产流时间较短,径流量大。但是由于同一技术措施对产流和产沙的影响机理不同,所以产沙过程与产流过程并不完全一致,如郭贤仕等<sup>[12]</sup>研究表明,免耕和免耕秸秆覆盖较传统耕作分别减少产沙量34.20%和88.11%,然而免耕处理不仅没有减少径流,反而使其增加,而免

耕覆盖的径流量也只略小于传统耕作,两者无明显差别。因此,虽然低覆盖量秸秆覆盖对径流量没有明显影响,但其对于土壤侵蚀却有着显著的抑制作用,因为秸秆覆盖层仍能有效保护地表,减弱雨滴溅蚀,产沙量的增加主要是因径流强度较大所致。

## 2.2 不同留茬方式对水土流失的影响

留茬对初始起流影响显著,相较于对照,高留茬下初始起流时间延后 107%,低留茬覆盖延后 76%。但留茬对径流量无明显影响,其中高留茬累积径流量为 98.70 mm,低留茬覆盖为 111.50 mm,比高留茬多出 12.97%。而留茬条件下土壤侵蚀量则随留茬高度的增加而减少,高留茬下土壤侵蚀量为 65.7 g/m<sup>2</sup>,比低留茬覆盖减少了 50.2%,比对照减少了 62.9%。抑制土壤侵蚀的作用显著。低留茬覆盖下土壤侵蚀量为 131.9 g/m<sup>2</sup>,比对照减少了 25.6%,也能减弱土壤侵蚀。留茬条件下的产流过程(图 3)基本一致,而产沙过程(图 4)则呈现较为复杂的变化趋势。

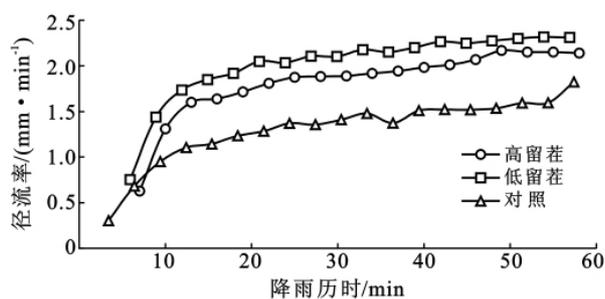


图 3 不同留茬高度下径流率随降雨历程变化

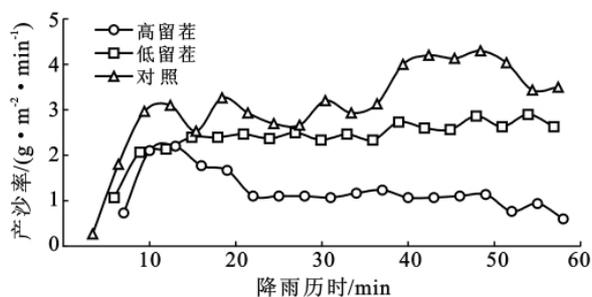


图 4 不同留茬高度下产沙率随降雨历程变化

留茬能够增加地表糙度,阻挡并分散径流,增加降雨入渗。残茬地下部分根系的缠绕和固结可以提高土壤的抗冲性,且能将板结密实的土体分散,并通过根系自身的腐解和转化合成腐殖质,使土壤具有良好的团聚结构和孔隙状况以增强土壤入渗能力<sup>[13]</sup>。呼有贤<sup>[14]</sup>研究表明,高留茬对于防止坡地水土流失具有明显的蓄水效果,可以使降雨下渗到 100 cm 以下,保贮有效水 108.8 mm,是传统农业保蓄水分的 2.5~4.0 倍,同时又减少了雨水对地表的冲蚀,有效

地抑制水土流失。因此高留茬能够有效延缓径流产生,虽然对于径流量无显著影响,但对土壤侵蚀抑制作用明显,因为残茬能够减弱雨滴动能,减轻雨滴溅蚀对土壤表层结构的破坏,减少泥沙来源,且能拦截地表径流携带的泥沙颗粒,所以产沙量明显减少。对于低留茬覆盖,由于留茬高度低,残茬在地表投影面积减少,对雨滴的截留作用相应减弱,表土溅蚀较高留茬有所加重,对径流的减缓作用亦不足,而其秸秆覆盖面积有限,效应不明显,因此相对于高留茬,低留茬覆盖产流早,径流量大,产沙量也大幅增加,但较无留茬仍具有一定的保土作用。

## 3 结论

(1) 秸秆覆盖能够延缓径流产生,尤其是高覆盖量下,初始产流时间明显延后。高覆盖量下累积径流量较对照减少了 61.72%,土壤侵蚀量减少了 86.7%,与农业部保护性耕作中心测定的结果基本一致,能够有效减少地表径流和土壤侵蚀,水土保持效应显著;低覆盖量下的累积径流量较对照减少 6.26%,土壤侵蚀量减少 60.1%,其防蚀作用比较突出。

(2) 有关留茬水土保持作用的研究多集中于对风蚀的影响,如李昱等<sup>[15]</sup>研究表明,相同风速下,免耕高茬和免耕低茬减少风蚀量 33.1%~48.3%,能够有效抑制扬沙,而对于留茬在水蚀中的作用研究相对较少。在模拟降雨试验中,留茬能够延缓径流的产生,随留茬高度增加,初始产流时间延后越长;且留茬对于土壤侵蚀有显著影响,其中高留茬相较于对照土壤侵蚀量减少了 62.9%,低留茬覆盖减少了 25.6%,高留茬能够更为有效地抑制土壤侵蚀。对于留茬条件下,土壤侵蚀量较对照减少,径流量反而增加的现象,其原因有待进一步探讨。

## [参考文献]

- [1] 李智广. 中国水土流失现状与动态变化[J]. 中国水利 2009(7): 8-11.
- [2] 穆兴民,戴海伦,高鹏,等. 陕北黄土高原降雨侵蚀力时空变化研究[J]. 干旱区资源与环境 2010 24(3): 37-43.
- [3] Tebrugge F, Bohmsen A. Farmers and experts opinion on no-tillage in West-Europe and Nebraska [C]. Spain Madrid: World Congress on Conservation Agriculture, 2001.
- [4] 辛平,黄高宝,徐银萍. 耕作方式与地表覆盖量对苜蓿及小麦地水蚀过程的影响[J]. 水土保持学报 2007 21(2): 16-18 23.

(下转第 34 页)

- (3): 53-56.
- [4] Brooks R H ,Corey A T. Properties of porous media affecting fluid flow[J]. J. Irrig Drain Div. ,1996 ,92( 2) : 61-88.
- [5] Mualem Y. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media [J]. Water Resour. Res. ,1976 ,12: 593-622.
- [6] Van Genuchten M T. A closed-form equation predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils [J]. Soil Sci. Soc. Am. J. ,1980 ,44( 5) : 892-898.
- [7] 廖凯华,徐绍辉,程桂福. 大沽河流域土壤饱和导水率空间变异特征[J]. 土壤, 2009 ,41( 1) : 147-151.
- [8] 胡克林,李保国,陈研. 表层土壤饱和导水率的空间变异对农田水分渗漏的影响[J]. 水利学报, 2006 ,37( 10) : 1217-1223.
- [9] 朱安宁,张佳宝,陈德立. 土壤饱和导水率的田间测定[J]. 土壤, 2000( 4) : 215-218.
- [10] 吕殿青,邵明安,刘春平. 容重对土壤饱和水分运动参数的影响[J]. 水土保持学报, 2006 ,20( 3) : 154-157.
- [11] 方堃,陈效民,张佳宝,等. 红壤地区典型农田土壤饱和导水率及其影响因素研究[J]. 灌溉排水学报, 2008 ,27( 4) : 67-69.
- [12] Zimmermann B ,Elsenbeer H. Spatial and temporal variability of soil saturated hydraulic conductivity in gradient of disturbance[J]. Journal of Hydrology ,2008 ,361( 1/2) : 87-95.
- [13] 刘国花,谢吉容. 重庆四面山风景区森林植被调查研究[J]. 渝西学院学报:自然科学版, 2005 ,4( 1) : 90-92.
- [14] 龚子同,张甘霖,陈志诚,等. 土壤发生与系统分类[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [15] 中国科学院南京土壤所. 土壤理化分析[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1978.
- [16] 邵明安,王全九,黄明斌. 土壤物理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [17] 迟春明,王志春. 沙粒对碱土饱和导水率和盐分淋洗的影响[J]. 水土保持学报, 2009 ,23( 1) : 99-102, 106.
- [18] 石辉,王峰,李秧秧. 黄土丘陵区人工油松林地土壤大孔隙定量研究[J]. 中国生态农业学报, 2007 ,15( 1) : 28-32.
- [19] 王海燕,张洪江,杨平,等. 不同水土保持林地土壤有机碳研究[J]. 长江流域资源与环境, 2010 ,19( 5) : 535-539.
- [20] 王伟,张洪江,李猛,等. 重庆市四面山林地土壤水分入渗特性研究与评价[J]. 水土保持学报, 2008 ,22( 4) : 95-99.
- [21] 梁向峰,赵世伟,张扬,等. 子午岭植被恢复对土壤饱和导水率的影响[J]. 生态学报, 2009 ,29( 2) : 636-642.
- [22] 单秀枝,魏由庆,严慧峻,等. 土壤有机质含量对土壤水动力学参数的影响[J]. 土壤学报, 1998 ,35( 1) : 1-9.
- [23] 彭舜磊,由文辉,沈会涛. 植被群落演替对土壤饱和导水率的影响[J]. 农业工程学报, 2010 ,26( 11) : 79-84.
- 
- ( 上接第 28 页)
- [5] 张晓艳,王立,黄高宝,等. 保护性耕作防治坡耕地水土流失效应的研究[J]. 安徽农业科学, 2008 ,36( 6) : 2520-2521, 2538.
- [6] 郑文杰,郑毅,Fullen M A,等. 模拟降雨条件下秸秆编织地表覆盖物对土壤侵蚀和小麦产量的影响[J]. 土壤通报, 2006 ,37( 5) : 969-972.
- [7] 王育红,姚宇卿,吕军杰. 残茬和秸秆覆盖对黄土坡耕地水土流失的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2002 ,20( 4) : 109-111.
- [8] 王晓燕,高焕文,杜兵,等. 保护性耕作的不同因素对降雨入渗的影响[J]. 中国农业大学学报, 2001 ,6( 6) : 42-47.
- [9] 陈光荣,张国宏,高世铭,等. 粮草豆隔带种植保护性耕作对坡耕地水土流失的影响[J]. 水土保持学报, 2009 ,23( 4) : 54-58.
- [10] 赵廷祥. 农业保护性耕作与生态环境保护[J]. 农村牧区机械化, 2002( 4) : 7-8.
- [11] Kaspar T C ,Radke J K ,Lafren J M. Small grain cover crops and wheel traffic effects on infiltration ,runoff ,and erosion [J]. Journal of Soil and Water Conservation , 2001 ,56( 2) : 160-164.
- [12] 郭贤仕,杨如萍,马一凡. 保护性耕作对坡耕地土壤水分特性和水土流失的影响[J]. 水土保持通报, 2010 ,30( 4) : 1-5.
- [13] 朱显谟. 黄土高原脱贫致富之道: 三论黄土高原的国土整治[J]. 水土保持学报, 1998 ,4( 3) : 1-5.
- [14] 呼有贤,李立科. 小麦高留茬少耕全程覆盖防止水土流失的效果[J]. 麦类作物, 1998 ,18( 4) : 57-58.
- [15] 李昱,李问盈. 冷凉风沙区机械化保护性耕作技术体系试验研究[J]. 中国农业大学学报, 2004 ,9( 3) : 16-20.