

## 保护性耕作对地表径流及土壤侵蚀的影响

赵君范<sup>1</sup>, 黄高宝<sup>2</sup>, 辛平<sup>3</sup>, 谢奎忠<sup>2</sup>, 许爱霞<sup>2</sup>

(1. 甘肃农业大学 资源环境学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃农业大学 农学院,  
甘肃 兰州 730070; 3. 甘肃省林业科学技术推广总站, 甘肃 兰州 730046)

**摘要:** 采用人工模拟降雨方法对陇中黄土高原连续实施 5 a 的 4 种耕作措施: 传统耕作(T), 传统耕作结合秸秆还田(TS), 免耕(NT), 免耕加秸秆覆盖(NTS)下豌豆地收获后的径流起始时间、径流量、土壤侵蚀量进行了研究。结果表明, 在降雨强度为 85 mm/h 的条件下, NTS 可以延缓径流, 减小径流强度。与 NT, TS, T 这 3 种处理比较, NTS 的径流量分别降低了 2.4%, 12.1%, 34.7%。入渗量分别增加了 2.7%, 13.6%, 38.6%。径流出现时间分别延迟 1.17, 0.83, 3.83 min。土壤侵蚀量减少了 0.3%, 17.7%, 62.4%。可见, 免耕秸秆覆盖的水土保持效应最为明显, 传统耕作的方式极易发生土壤侵蚀。

**关键词:** 保护性耕作; 模拟降雨; 土壤侵蚀量; 黄土高原; 豌豆; 地表径流

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2007)06-0016-04

中图分类号: S344, S157.1

### Runoff and Quantity of Soil Erosion Under Conservation Tillage System by Simulated Rainfall

ZHAO Jun-fan<sup>1</sup>, HUANG Gao-bao<sup>2</sup>, XIN Ping<sup>3</sup>, XIE Kui-zhong<sup>2</sup>, XU Ai-xia<sup>2</sup>

(1. Faculty of Resources and Environment, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China;

2. Faculty of Agronomy, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China;

3. General Station of Forestry Sci-Tech Extension of Gansu Province, Lanzhou, Gansu 730046, China)

**Abstract:** Four tillage treatments were carried out for five years by simulated rainfall in the middle area of the Loess Plateau: traditional tillage (T), traditional tillage with straw incorporated (TS), no-tillage (NT), and no-tillage with straw cover (NTS). Runoff starting time, amount of runoff, and amount of soil erosion were measured after harvest of pea. Under rainfall intensity of 85 mm/h, runoff process was alleviated and the amount of runoff was reduced using NTS. Compared to NT, TS, and T, the amounts of runoff under NTS were reduced by 2.4%, 12.1%, and 34.7%, respectively; infiltration rates were increased by 2.7%, 13.6%, and 38.6%; runoff starting times were slowed down 1.17, 0.83, and 3.83 min; the amounts of soil erosion were reduced by 0.3%, 17.7%, and 62.4%. Therefore, the effects of soil and water conservation under NTS are most obvious and soil erosion is easily to take place under traditional tillage.

**Keywords:** conservation tillage; simulated rainfall; quantity of soil erosion; Loess Plateau; pea; runoff

黄土高原旱作农业区降水不足且水土流失严重, 是导致黄土高原旱地农业难以持续发展的重要因素。如何改进旱地农业体系, 研究保水护土的耕作措施, 减少农田水土流失, 充分利用有限的降水资源, 成为日益迫切的问题。而保护性耕作技术是解决这一问题的有效途径。杜兵等人在山西寿阳和临汾的多年

保护性耕作地上, 利用人工模拟降雨器研究了玉米和小麦机械化保护性耕作体系对于地表径流和土壤水分的影响<sup>[1]</sup>。

在其它保护性耕作土壤侵蚀研究中, 国内外的学者认为保护性耕作不是为了高产, 而是为了保护土壤免受侵蚀<sup>[2-3]</sup>。在前人研究保护性耕作土壤水蚀过

收稿日期: 2007-01-20 修回日期: 2007-06-07

资助项目: 中澳合作项目 ACIAR “提高甘肃黄土高原西部雨养农业系统生产力及其可持续性的研究” (LWR2/1999/094); 国家科技支撑计划 “黄土高原丘陵沟壑区保护性耕作技术集成研究与示范” (2006BAD15B06)

作者简介: 赵君范(1982—), 男(汉族), 甘肃省秦安市人, 在读硕士, 主要从事农业生态学的研究。E-mail: zjfwstq@yahoo.com.cn.

通讯作者: 黄高宝(1965—), 男(汉族), 甘肃天水市人, 教授, 博士生导师。主要从事多熟种植、保护性耕作、节水农业和宏观农业的教学与研究工作。E-mail: Huanggb@gsau.edu.cn.

程时<sup>[4-5]</sup>,对侵蚀过程中地表径流的泥沙含量考虑较少,没有进行分析和描述,而不同种植作物及水蚀过程中的土壤因素也是研究保护性耕作体系保水保土机理的主要内容。为此我们通过人工模拟降雨试验,在前人研究的基础上,在甘肃省安定区李家堡镇甘肃农业大学旱农试验站对实施5 a 保护性耕作的试验小区进行了研究,进一步研究了不同保护性耕作措施对土壤水蚀过程的影响,旨在对保护性耕作下的地表径流、侵蚀量进行进一步的研究,为进一步了解实施保护性耕作后对土壤侵蚀的影响,对防止土壤侵蚀,提高农田土壤抗侵蚀能力和农田土壤肥力,实现农业的可持续发展提供依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 试区概况

试验于2006年在甘肃农业大学旱农实验站进行。试区属中温带偏旱区,海拔2 000 m,年均太阳

辐射592 KJ/cm<sup>2</sup>,日照时数2 476.6 h,年均气温6.4℃,≥0℃积温2 933.5℃,≥10℃积温2 239.1℃;无霜期140 d。多年平均降水390.9 mm,年蒸发量1 531 mm,干燥度2.53,80%保证率的降水量为365 mm,变异系数为24.3%,为典型的雨养农业区。土壤为典型的黄绵土,土质绵软,土层深厚,质地均匀,储水性能良好;0—200 cm土壤容重平均为1.17 g/cm<sup>3</sup>,凋萎含水率7.3%,饱和含水率21.9%。

### 1.2 试验设置

人工模拟降雨试验是在中澳合作项目ACIAR“提高甘肃黄土高原西部雨养农业系统生产力及其可持续性的研究”于2001年建立的实施5 a 的保护性耕作试验区中进行,试验共设4个处理,采取小麦、豌豆双序列轮作,即豌豆→小麦(P→W)和小麦→豌豆(W→P)。本试验采用的第4区组中小麦—豌豆(W→P)轮作序列,小区面积4 m×20 m。表1为本试验各处理状况的描述。

表1 试验处理描述

代码	处理	操作方法
T	传统耕作不覆盖	作物收获后至冻结前三耕两耧,翻耕深度依次为20 cm,10 cm和5 cm。
NT	免耕不覆盖	全年不耕作,播种时用免耕播种机一次性完成播种和施肥,收获后用2,4-D丁酯除草。
TS	传统耕作+秸秆还田	耕作方式同T,在第一次耕作的同时将作物秸秆翻埋入土。
NTS	免耕+秸秆覆盖	耕作、播种和除草方法同NT,收获后作物秸秆全部归还原小区。

供试春小麦品种为定西35号,每年3月中旬播种,播种量187.5 kg/hm<sup>2</sup>,行距20 cm,各处理均施N 105 kg/hm<sup>2</sup>(尿素,46%N),P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 105 kg/hm<sup>2</sup>(过磷酸钙,14%P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>);豌豆品种为绿农1号,每年4月上旬播种,播种量180 kg/hm<sup>2</sup>,行距24 cm。豌豆各处理均施N 20 kg/hm<sup>2</sup>(尿素,46%N),P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 105 kg/hm<sup>2</sup>(过磷酸钙,14%P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>),所有肥料都作为基肥在播种时同时施入。TS和NTS还田所用的秸秆为上一年所种作物的秸秆,预先切成5~7 cm,并充分晾晒后使用。各处理均由中国农业大学研制的免耕播种机播种。

### 1.3 试验仪器与测定方法

本试验采用Queensland Department of Primary Industries生产的摆动喷头式降雨模拟器(RFS),降雨模拟器(RFS)喷头型号为Veeject 80100,共3个喷头。降雨模拟器的降水量、降雨强度可通过调节供水压力和控制喷头摆动速度来完成。喷头距地面垂直高度为2.44 m,正下方用钢板围成2个2 m×1 m的试验小区,钢板的高度是200 mm,插入地下150

mm,地表露出50 mm,以便收集径流。在准备阶段,不破坏地表,保持原状。在每个试验区的一端,有一个V型收集器,用来收集径流。降雨强度为85 mm/h,降雨时间1 h,供水压力60 kPa。

试验地基本平整,经实地测量坡度均<2°,故降雨过程坡度因素不考虑<sup>[6]</sup>。由于风速对模拟降雨的影响很大,因此降雨选在无风晴朗的条件下进行。以避免风速对模拟降雨的影响。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同保护性耕作措施对积水及产流开始时间的影响

多数研究表明,保护性耕作具有明显的减缓水土流失,增加降雨入渗的作用<sup>[2,4]</sup>。表2显示,不同保护性耕作措施下,积水开始时间和径流开始时间的顺序均为T>NT>TS>NTS。

对于不同的耕作措施,T的地面积水时间和径流的产生时间出现很快,分别是5.30 min和5.38 min。NT在积水时间上比T晚2.03 min,在径流开

始时间上比 T 晚 2.66 min。在免耕的同等条件下,有覆盖处理(NTS)比无覆盖处理(NT)的积水起始时间晚 1.42 min,径流开始时间晚 1.17 min。而在 T 和 TS 的对比中,前者的积水起始时间和径流起始时间都比后者早出现。

NTS 的地面积水时间和径流起始时间明显迟于其它处理。TS, NT 和 T 的积水起始时间比 NTS 分别早 0.96, 1.42 和 3.45 min, 径流起始时间分别早 0.83, 1.17 和 3.83 min。

表 2 不同耕作措施下的地表积水及产流时间

处理	积水起始时间/min	径流起始时间/min
T	5.30c	5.38d
TS	7.79b	8.38b
NT	7.33b	8.04c
NTS	8.75a	9.21a

注:①不同小写字母表示在 LSD 检验时不同处理间有显著性差异( $P \leq 0.05$ );②雨强为 85 mm/h。

以上数据表明在强降雨条件下(85 mm/h), T 的表层土壤的结构容易遭到破坏,从而在短时间里形成地表结皮,降低土壤的入渗能力且加快地表径流产生的时间。NTS 能够增加地表蓄水能力,减缓地表结壳,从而延迟了地面积水的起始时间和径流的产生时间。这与王晓燕的结果是一致的<sup>[2]</sup>。NTS 和 TS 中秸秆覆盖的处理方法在蓄水产流节流方面的效果优于 NT 和 T。

## 2.2 不同保护性耕作措施对累计径流量和累计入渗量的影响

累积径流量指的是在降雨过程中,在降雨量一定的情况下,未渗入土壤而产生径流的降雨量,累积入渗量指的是在降雨过程中,通过土壤入渗进入土壤的水分的总量。累积入渗量和累积径流量呈互为消长的关系,累积径流量增加,累积入渗量则相应减小<sup>[7]</sup>。

表 3 不同保护性耕作措施的累计径流量、累计入渗量 mm

处理	总降雨量	累计径流量	累计入渗量
TS	85	50.23b	34.77a
T	85	60.32a	24.68b
NTS	85	44.78b	40.22a
NT	85	45.89b	39.11a

注:①不同小写字母表示在 LSD 检验时不同处理间有显著性差异( $P \leq 0.05$ );②雨强为 85 mm/h。

对于不同的耕作措施, T 和 NT 相对比, T 的累计径流量为 60.32 mm/h, 在 4 个处理中累计径流量

最大,是 NT 的 1.32 倍。与之相应, T 的累计入渗量比 NT 的少 14.43 mm。在免耕的同等条件下,无覆盖处理(NT)比有覆盖处理(NTS)的累计径流量大 2.4%。而在 TS 与 T 的对比中发现,在秸秆覆盖之后,前者的累计径流量比后者少了 10.09 mm,可见覆盖明显减少了径流量(表 3)。

NTS 的累计径流量为 44.78 mm/h, 在 4 个处理中累计径流量最少。NTS 比 NT, TS, T 的累计径流量分别减少 2.4%, 12.1%, 34.7%, 入渗量分别增加 2.7%, 13.6%, 38.6%。NTS 处理的累计入渗量是 4 个处理中最好的。

以上结果表明, T 土壤结构受到破坏,使地表团聚体破坏,容易形成地表结皮,降低了土壤的入渗速率,比其它处理的径流有所增加,造成水土流失<sup>[6]</sup>。TS 尽管有秸秆覆盖,但是机械扰动破坏了土壤结构,导致土壤的渗透性能降低,从而增加了径流量。由于多年免耕, NT 处理使土壤结构和孔隙状况都保持良好,因而水分入渗性能较好,相应的径流量就小。NTS 处理上下孔隙结构贯通,加之秸秆覆盖的作用,地表不易产生结壳,积蓄入渗水的能力较强<sup>[7]</sup>。

## 2.3 不同保护性耕作措施对土壤侵蚀量的影响

有试验表明,进行连续 4 a 的耕作,导致土壤的抗蚀性变小,在凿形犁耕地、有壁犁耕地和免耕 3 种耕作处理中,土壤的流失量分别为 67 t/hm<sup>2</sup>, 18.2 t/hm<sup>2</sup> 和 0.2 t/hm<sup>2</sup>, 耕作引起的水土流失更为严重<sup>[8]</sup>。张亚丽等研究了秸秆还田对坡面土壤矿质氮素径流流失和入渗的影响,结果表明,与裸地相比,秸秆覆盖可使侵蚀量显著减少,秸秆覆盖可显著地增加土壤水分的渗透深度和入渗量<sup>[9]</sup>。

由图 1 看出,对于不同的耕作措施, NT 在单位时间里的初始侵蚀量为 3.22 g/m<sup>2</sup>, 为 T 径流初始侵蚀量的 2.1 倍。而在整个侵蚀过程中, T 的总侵蚀量远远高于 NT, 是 NT 总侵蚀量的 2.73 倍。

在免耕条件下,虽然初始侵蚀量有差异,但是有覆盖(NTS)与无覆盖(NT)的处理侵蚀量变化趋势在降雨 20 min 左右均趋向于侵蚀稳定。TS 的初始变化差异最大,最大侵蚀量和最小侵蚀量之间的差值达到了 5.11 g/m<sup>2</sup>。TS 的最大侵蚀量为 6.99 g/m<sup>2</sup>, 是在 T 的侵蚀量范围内,但随后的侵蚀量都与 T 的相差很大。

NTS 在 1 h 内的降雨中,总侵蚀量是 27.26 g/m<sup>2</sup>, 均小于其它处理, NT 和 TS 的总侵蚀量分别比 NTS 大 0.3% 和 17.7%, 尤其是 T, 它是 NTS 的 1.68 倍。通过不同处理比较发现,在一个小时的降雨中,各处理径流开始时的侵蚀量都较大,但是随着降

雨时间的延续,侵蚀量逐渐降低并趋于稳定,但不同处理到达稳定的时间不一致。TS, NT, NTS 在降雨开始 25~30 min 之间达到稳定,但 T 在此时间内也达到了侵蚀过程的最低值。

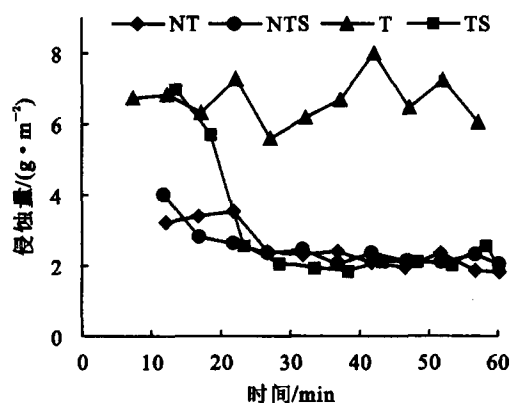


图1 不同保护性耕作措施的土壤侵蚀量

对于 T, 在单位面积里的侵蚀量远远高于其它几个处理。这是由于 T 在雨滴打击到地表已破坏土壤, 雨水将表层散碎的土粒填充到土壤的孔隙中, 使地表结皮<sup>[10]</sup>, 降低土壤渗透性。而且, 耕地由于机械扰动的影响, 表层土壤过于疏松, 有机质含量低, 抗侵蚀能力弱, 极易被径流冲刷搬运, 导致水土流失甚为严重。

对于 NTS, 秸秆覆盖能够增加地表的粗糙率, 雨滴打击力量被秸秆阻挡, 提高地表蓄水能力, 阻延流速; 可以减缓地表结壳, 增加水分入渗, 使水土流失状况减缓, 将侵蚀力度降到最小。对于 TS 初始变化差异大, 这可能是由于刚开始雨滴溅蚀作用使表层土壤被分散, 易被径流冲走, 但随着降雨的进行, 由于秸秆覆盖使径流冲刷能力减弱, 使得泥沙量降低。

### 3 结论

在试验的 4 种处理中, 免耕秸秆覆盖开始径流最晚, 径流强度最小, 径流量最少, 保水保土效果最好。以免耕秸秆覆盖为特征的保护性耕作可以显著地

减少径流, 可以延缓径流, 减小径流强度。秸秆覆盖对径流和土壤侵蚀量的影响比耕作的影响大。

随着降雨时间的延续, 4 个处理的侵蚀量都有所降低并趋于稳定, 但不同处理到达稳定的时间不一致。传统耕作的方式极易发生土壤侵蚀。

本试验区属黄土高原半干旱区, 且本试验采用的降雨强度属大暴雨类型, 故本设计方法难以了解小雨条件下的土壤侵蚀和地表径流的特点, 有待于进一步研究探讨。

#### [参 考 文 献]

- [1] 杜兵, 廖植樨, 邓健, 等. 用人工模拟降雨研究玉米地保护性耕作措施和压实对水分保护的影响[J]. 中国农业大学学报, 1996(增刊): 63—67.
- [2] 王晓燕. 旱地机械化保护性耕作径流与土壤水分平衡模型[D]. 北京: 中国农业大学, 2000: 42—43.
- [3] Marta Birkas, Jolankai M, Gyuricza C, et al. Results and consideration in conservation tillage in Hungary [C]. ISTROC, 2003: 159—164.
- [4] 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.
- [5] Ghidry F, Alberts E E. Runoff and soil losses as affected by corn and soybean tillage systems[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1998, 53(1): 64—70.
- [6] 王秀英, 曹文洪, 陈东. 土壤侵蚀与地表坡度关系研究[J]. 泥沙研究, 1998(2): 56—58.
- [7] 辛平. 耕作方式与地表覆盖量对苜蓿及小麦地水蚀过程的影响[D]. 甘肃农业大学, 2005: 24—25.
- [8] Lindstrom M J, Schumacher T E, Cogo N P, et al. 谢立亚译. 耕作措施对径流和土壤侵蚀的影响[J]. 水土保持科技情报, 1999(3): 5—7.
- [9] 张亚丽, 张兴昌, 邵明安, 等. 秸秆覆盖对黄土坡面矿质氮素径流流失的影响[J]. 水土保持学报, 2004, 18(1): 85—88.
- [10] 吴发启, 范文波. 坡耕地土壤结皮形成的影响因素分析[J]. 水土保持学报, 2002, 16(1): 33—36.