

用人工模拟降雨研究保护性耕作下的 地表径流与水分入渗

王晓燕, 高焕文, 杜兵, 李洪文

(中国农业大学 机械工程学院, 北京 100083)

摘要: 采用人工模拟降雨试验研究了保护性耕作控制农田地表径流的效果, 重点探讨了表土耕作、秸秆覆盖及土壤压实 3 种因素对地表径流和水分入渗的影响。试验表明, 保护性耕作具有明显的延缓径流, 增加水分入渗的效果。在土壤干燥, 模拟降雨强度为 72 mm/h 的条件下, 传统翻耕比保护性耕作早 12~16 min 产生径流, 入渗率降低 60.9%, 总径流量高 11 倍。3 种试验因素中, 秸秆覆盖对径流和入渗的影响最大, 压实次之。在本试验中, 无覆盖处理比有覆盖处理总径流量高 5.5 倍; 压实处理比无压实处理径流量高 4.5 倍; 而地表浅松与免耕的径流量几乎相等。采用秸秆覆盖与免(少)耕结合的保护性耕作法并减少机具对土壤的压实是控制坡地水土流失的有效措施。

关键词: 保护性耕作 模拟降雨 径流监测 水分入渗

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2000)03-0023-04

中图分类号: S152.75

Conservation Tillage Effect on Runoff and Infiltration Under Simulated Rainfall

WANG Xiao-yan, GAO Huan-wen, DU Bing, Li Hong-wen

(Mechanical Engineering College, Chinese Agricultural University, Beijing 100083, PRC)

Abstract A field rainfall simulation experiment was carried out to assess the impacts of conservation tillage on runoff and infiltration, and the effects of surface tillage, residue cover and wheel traffic compaction were also studied. The results showed that conservation tillage, which features more residue cover and less soil disturbance, could remarkably delay and reduce runoff and improve infiltration compared to conventional moldboard plough practice (CK). Under the experimental situation with low antecedent soil moisture and 72 mm/h of simulated rainfall rate, CK could produce runoff 12~16 minutes earlier, and the final infiltration rate could be 60.9% lower and total runoff could be 11 times more than conservation tillage. Among the three factors, residue cover is more efficient for reducing runoff and increasing infiltration. Wheel traffic compaction also has considerable impact and could increase runoff by 4.5 times; while the effect of surface tillage is not great. Conservation tillage combined with less traffic compaction can be an effective option to control runoff from loess farmland.

Keywords conservation tillage; rainfall simulation; runoff monitor; infiltration

黄土高原旱作农业区降水不足且水土流失严重, 减少地表径流, 增加降雨入渗量是提高降水利用率, 发挥水分生产潜力的关键一步。近年来, 以秸秆覆盖和免(少)耕相结合的保护性耕作措施日益引起人们的重视。针对不同耕作措施的研究相继展开, 山西省农科院在坡耕地上试验了常规耕作与免耕整秸秆半覆盖处理下的地表径流^[1]。高焕文等研究了不同的机械化保护性耕作体系对土壤物理条件、水分利用效率及作物产量等的影响, 并研制了配套的机具^[2]。笔者采用天然降雨径流小区和人工模拟降雨相结合的方

法, 系统地研究了不同的保护性耕作措施和地表耕作、秸秆覆盖及土壤压实 3 种因素对于农田水土流失及水分入渗的影响。

1 试验仪器与方法

1.1 试验设计

试验设在中澳合作项目“可持续机械化旱作农业研究”的试验区, 地处山西省晋中中山的寿阳县, 是一年一熟春玉米种植区, 属暖温带半干旱大陆性季风气候, 年平均气温 7.4℃, 年降水量为 518.3 mm, 年蒸

发量为 1 675 mm 降水量年际变化较大,雨量年内分布亦不均匀。水土流失严重,全县水土流失面积占耕地总面积的 58%,土壤侵蚀模数为 20~40 t/(hm²·a)。供试土壤为黄土母质淡褐土,以壤质为主,土体深厚,质地均匀^[3]。

降雨试验在 1998 年 10 月完成玉米收获,秸秆粉碎及压实处理后进行。共设 6 种处理。(1) 免耕覆盖不压实 (NTCN): 秋季收获后将秸秆粉碎留在地表,次年春季免耕播种;(2) 免耕覆盖压实 (NTCC): 收获后将秸秆粉碎留在地表,用铁牛—55 拖拉机压实土壤,其它同处理 1;(3) 浅松不覆盖且不压实 (STNN): 收获后移走秸秆,春季播种前浅松,松土深度 5 cm;(4) 浅松覆盖不压实 (STCN): 春季播种前浅松,松土深度 5 cm,其它同处理 1;(5) 传统翻耕 (CK): 收获后移走秸秆,用铧式犁翻耕并耙地,春季耙地播种;(6) 传统翻耕新翻地 (CKN): 收获后移走秸秆,试验前进行过翻耕处理。各覆盖处理中秸秆均匀分布,覆盖量约 6 000 kg/hm²,覆盖率在 90% 以上。

1.2 试验仪器

采用由澳大利亚引进的摆动喷头式降雨模拟器,它主要由供水系统、降雨系统和测试系统 3 大部分组成。降雨模拟器的降雨量、雨型和降雨强度可通过选定喷头、调节供水压力和控制喷头摆动速度来完成。试验选用压力 55 kPa,摆动刻度 22,标定降雨强度 72 mm/h。用面积为 2 m×1.5 m 的取样框经抽吸系统将径流收集到集水管中,取样框从中间一分为二,形成 2 m×0.75 m 的 2 个重复。小区地势平坦,朝集水口方向有约 1% 的坡度。试验过程中,记录降雨及径流的起止时间,在径流开始后,每隔 5 min 读取 1 次集水桶读数,绘制降雨与径流的过程曲线,直到径流强度达到基本稳定后停止降雨。

2 试验结果分析

2.1 累积径流量

2.1.1 覆盖因子的影响 在浅松无压实的同等条件下,无覆盖处理 (STNN) 比有覆盖处理 (STCN) 的径流量高近 5.5 倍。秸秆能够增加地表的粗糙率,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,从而减少径流量。

2.1.2 压实因子的影响 免耕覆盖不压实 (NTCN) 和免耕覆盖压实 (NTCC) 的对比表明,压实区的径流量为 10.1 mm,比无压实区 (1.8 mm) 高 4.5 倍。机具对土壤的压实使表层 0~20 cm 的土壤容重由 1.22 g/cm³ 增加到 1.39 g/cm³,降低了孔隙度和孔隙的连

续性,从而恶化了土壤的入渗性能,尽管有秸秆覆盖,径流量也比较大。

2.1.3 耕作因子的影响 在降雨 50 min 时,浅松 (STCN) 与免耕 (NTCN) 处理的径流量都比较低 (1.8 mm) 且几乎相同;之后,免耕处理的径流量逐渐略大于浅松处理的径流量。浅松作业增加了地表的粗糙度,使土壤表层松软,与秸秆覆盖配合可在一定程度上增加入渗量。

2.1.4 传统耕作与保护性耕作的对比 以同为经过一季作物生长的 CK 和 STCN 及 NTCN 对比,在累积降雨 60 mm 时,后二者的径流量仅 1.8 mm,而 CK 的径流量达 22.0 mm,比保护性耕作的径流量高 11 倍之多。免(少)耕条件下地表土壤结构所受扰动小,上下孔隙结构贯通;与秸秆配合,地表不易结壳,积蓄水的能力较强,而传统耕作土壤结构受到破坏,而且没有秸秆覆盖,容易产生结壳,比保护性耕作径流大。

2.1.5 两种传统耕作对比 CKN 在试验前翻耕,表层非常疏松,地表粗糙,入渗率较高,而 CK 经历了一季作物生长和雨滴击打,表层土壤产生结壳,入渗能力明显降低,径流较大,两者径流量相差 1.9 倍以上。

综上所述,以秸秆覆盖和免(少)耕相配合的保护性耕作可以显著地减少地表径流。表土耕作能暂时改善土壤入渗性能,但如无秸秆覆盖配合,降雨的能量会很快消除耕作的效果,产生地表结壳,从而使径流量增加。3 个因素中,秸秆覆盖可以明显地减缓地表径流,压实使径流量增大,而地表浅松对径流量的影响不明显。在降雨强度 72 mm/h 的条件下,无覆盖处理的径流量比有覆盖处理的高 5.5 倍,压实处理比无压实处理的径流量高 4.5 倍;而地表浅松与免耕的径流量几乎相等。

2.2 入渗过程与入渗率

根据前人的研究,暴雨产流的过程可以简化为 3 个阶段:第 1 阶段是暴雨起流阶段,这时降雨强度小于土壤入渗性能,全部降雨均渗入土壤,地表没有积水,入渗率等于降雨强度(如图 1 中 ab 段);第 2 阶段为产流后入渗率不稳定阶段,随着降雨的继续,表层土壤达到饱和,土壤入渗性能小于降雨强度,地表产生积水,入渗率随着时间的延续而衰减(如 bc 段);第 3 阶段为入渗率相对稳定阶段(如 cd 段)^[4,5]。如图 1 所示, t_p 为开始产生积水时间, t_s 为入渗率达到相对稳定的时间, i_p 为相对稳定入渗率。

从各种处理下的入渗率变化过程来进一步分析保护性耕作及各因素对水分入渗和地表径流的影响,各处理的地表积水时间、入渗率达到相对稳定的时间

及相对稳定入渗率如表 1

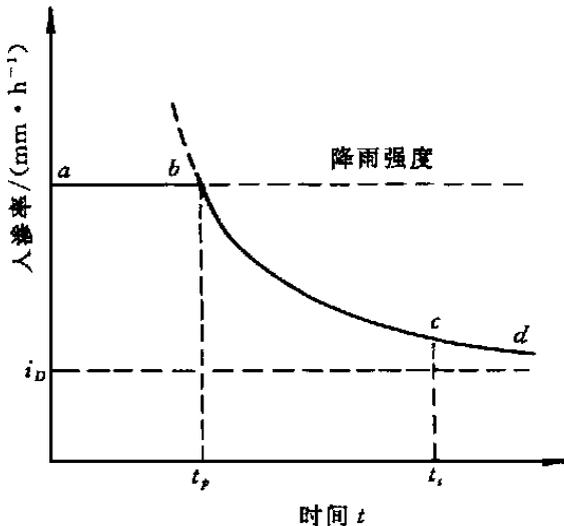


图 1 稳定降雨强度下的入渗过程

表 1 不同处理的地表积水时间、入渗率及达到相对稳定的时间及相对稳定入渗率

项 目	NTCN	NTCC	STCN	STNN	CK	CKN
地表积水时间 t_p /min	24	17	20	12	8	10
入渗率相对稳定时间 t_s /min	69	79	60	55	36	64
相对稳定入渗率 i_D /($\text{mm}^2 \text{h}^{-1}$)	61	32	67	31	25	37

2.2.1 覆盖因子的影响 在浅松不压实条件下,无覆盖处理(STNN)比有覆盖处理(STCN)早 8 min 产生径流,且入渗率下降较快,相对稳定入渗率比无覆盖处理的低 49.2%。秸秆能够增加地表蓄水能力,减缓地表结壳,从而延长产生径流的时间 t_p 和提高入渗率 i_D

2.2.2 压实因子的影响 在有覆盖的情况下,压实区比无压实区早 7 min 产生径流,且相对稳定入渗率比无压实处理低 47.5%。机具对土壤的压实降低了孔隙度和孔隙的连续性,恶化了土壤入渗性能

2.2.3 耕作因子的影响 在有覆盖的条件下,免耕比浅松早 4 min 产生径流,且相对稳定入渗率比浅松处理低 10.4%。浅松作业增加了地表的粗糙度,表层土壤松软,与秸秆覆盖配合,可延缓径流产生,提高入渗率

2.2.4 传统耕作与保护性耕作对比 传统耕作 CK 比保护性耕作早 12~16 min 产生径流,且入渗率急剧下降,相对稳定入渗率比保护性耕作低 60.9%。

上述分析表明,如要减少径流,提高土壤入渗能力,在减少土壤扰动的同时,还要增加地表覆盖,减少机具对土壤压实,改善土壤结构。以免(少)耕和秸秆覆盖相结合的保护性耕作具有延缓径流产生,增加入

渗率的作用

2.3 与天然降雨径流试验的对比

天然降雨径流试验与人工降雨试验的处理布置基本相同,在相邻的缓坡地(坡度约 5%)上进行。试验使用翻斗式径流自动测试系统及微型自动气象台,对降雨及径流过程进行同步动态监测。采集到的数据用数据分析软件进行计算,可分别按照降雨日、降雨事件或指定时段等进行分析,输出降雨及径流的特征,并绘制过程曲线^[6]。(1998和 1999)年的径流测试结果分析的结论如下。

(1) 由秸秆覆盖与免(少)耕相结合的保护性耕作可明显地减缓水土流失。1999年的数据表明,免耕覆盖比传统翻耕相对减少径流量 52.5%,减少土壤流失量 80.2%。

(2) 在覆盖、压实及耕作 3 因素中,覆盖对水土流失的影响最大,压实次之,地表耕作的影响较小。增加秸秆覆盖量和减少土壤压实是减少坡地水土流失的有效措施

(3) 在覆盖不压实条件下,浅松处理比免耕处理的径流量大,免耕覆盖不压实开始径流最晚,径流强度最小,径流量最少,保水保土效果最优

降雨模拟试验的结果与天然降雨径流试验的结果基本一致,只是在(3)中表土浅松效应有所不同。分析认为,在天然降雨径流区,播种时进行的浅松作业减少了地表覆盖率,使浅松处理的径流量大于免耕处理;而在降雨模拟试验之前,进行了秸秆粉碎,浅松与免耕处理的覆盖均匀且都达到了 90% 以上,消除了耕作与覆盖的交互作用,试验结果表明,浅松处理略优于免耕处理。

3 结论与建议

(1) 保护性耕作具有明显的减缓水土流失,增加水分入渗的效果,在模拟降雨强度为 72 mm/h 的条件下,传统翻耕处理比保护性耕作早 12~16 min 产生径流,径流量比保护性耕作高 11 倍,且相对稳定的入渗率降低 60.9%。

(2) 在秸秆覆盖、土壤压实及表土耕作三因素中,覆盖对径流和入渗的影响最大,压实次之,耕作的影响较小。增加秸秆覆盖量和减少土壤压实,可以延缓径流,提高水分入渗率,是控制坡地水土流失的有效措施

(下转第 62 页)

好的山地,这些山地海拔较高,是集水区的源头,这些林木是整个集水区的水源涵养林,对下游耕地起着重要作用,必须进行封禁治理。

4.3.3 采石迹地的植被恢复 对采石迹地进行植被自然复垦保护,即对各矿点周围的排土场进行治理,以恢复植被。地表水系为主,使开采后的矿区景观与周围自然环境相协调,设计采用马尾松与大叶相思混交林。为确保林木的生长,可用香根草、赤花草等高草带做先锋草种或单独用等高距 2 m 的水平草带绿化,3~5 a 后将根据植被演替规律,形成马尾松为主的混交林。在坡度较缓的迹地,经过复垦可以种植经济作物。

4.4 整体措施的相互协调与布局

集水区总体分为迹地植被恢复区、耕地保护区、封禁防护区、拦沙坝区、危险地段等 5 个区(图 2)。

(上接第 25 页)

(3) 有秸秆覆盖时,表土耕作可以延缓径流,提高入渗率,减少径流量。耕作可以暂时改善入渗,但如无秸秆覆盖配合,降雨的能量会消除耕作的效果,使地表产生结壳,从而使径流量增加。

(4) 本试验中,压实是在土壤较干的情况下进行的,而不同含水率条件下产生的土壤压实,可使表层土壤结构受到不同程度的破坏,有必要进一步研究。

(5) 本试验中,当入渗率达到基本稳定时即停止降雨,此时的入渗率作为相对稳定入渗率,由此看出各处理的差别;各处理对稳定入渗率的影响,有待继续延长降雨时间,进一步试验。

参 考 文 献

[1] 山西省农科院旱作农业耕作栽培体系及增产机理课题组. 旱地玉米免耕整 秸秆半覆盖技术研究初报 [J]. 干

该项目按此方案施工已 1 a 多,对 1 a 的拦沙量进行监测,测得拦沙总量为 $1.45 \times 10^5 \text{ m}^3$,与预测的每年 $1.5 \times 10^5 \text{ m}^3$ 相比,准确率达 96.67%,达到相当理想的准确性。在此同时,由于各个矿点的挡土墙和植物措施未发生效益,考虑综合效益,能保证设计能力达 $6.66 \times 10^5 \text{ m}^3$ 的透水拦沙坝使用 5 a 以上。

在进行露天矿区的水土保持方案设计中,不能只顾矿区本身的流失情况,应充分考虑周边的综合环境因素,把坡面治理拓展为集水区的综合治理不失为一种较佳的方法。

参 考 文 献

- [1] 李文银,等. 工矿区水土保持 [M]. 北京: 科学出版社, 1996.
- [2] 丁光敏. 论小集水区农业开发的可持续性问题 [J]. 水土保持研究, 1997(1): 92-95.

旱地区农业研究, 1993, 11(3): 13-18.

- [2] 高焕文. 旱地保护性耕作体系及配套机具研究 [M]. 见: 魏建昆主编. 北方干旱地区持续农业研究. 北京: 中国农业科技出版社, 1996. 393-397.
- [3] 钟兆站, 赵聚宝, 薛军红, 等. 晋中中山地区褐土土壤水分特征的测定与应用 [J]. 中国农业气象, 1996, 17(3): 1-5.
- [4] 王玉宽, 王占礼, 周佩华. 黄土高原坡面产流过程的试验分析 [J]. 水土保持学报, 1991, 5(2): 25-31.
- [5] 华孟, 王坚. 土壤物理学 [M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1993. 107-110.
- [6] Ciesiolka C A, Coughlan K J, et al. Methodology for a multi-country study of soil erosion management [J]. Soil Technology, 1995, 8(3): 179-192.