

保护性耕作的不同因素对降雨入渗的影响

王晓燕 高焕文 杜 兵 毛 宁

(中国农业大学机械工程学院)

摘 要 通过 2 次人工模拟降雨试验,研究了机械化保护性耕作以及秸秆覆盖、表土耕作及机具压实 3 因素对降雨入渗的影响。结果表明保护性耕作有延缓径流,增加降雨入渗的作用;秸秆覆盖和机具压实是影响降雨入渗的主要因素,表土耕作的影响相对较小。在土壤干燥,降雨强度为 $72\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 的条件下,保护性耕作处理与传统翻耕处理比较,其地表产生径流的时间延迟 12~ 16 min,且稳定入渗率提高 1.5~ 1.6 倍;分析各因素的影响可知,秸秆覆盖使径流延迟 8 min 产生,稳定入渗率提高 1.1 倍;机具压实使径流早 7 min 产生,稳定入渗率降低 47.5%。进一步研究压实程度和覆盖率对降雨入渗的影响,结果表明:秸秆覆盖率越高,径流开始的时间和土壤含水量达到饱和的时间越晚,且稳定入渗率越高。在所试的秸秆覆盖率范围(0~ 70%)内,同等降雨条件下,随着秸秆覆盖率的增大,径流量近似按二次曲线减少。随着土壤含水量的增大,秸秆覆盖对降雨入渗的作用减弱而压实的影响增强,压实可使表层土壤的体积质量增大,土壤入渗性能降低。在土壤含水量较高,降雨强度为 $82.5\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 条件下,压实使径流产生时间比无压实的早 13 min,使稳定入渗率降低 86.8%。机器质量越大,压实影响的深度越大。试验表明,小拖拉机和中型拖拉机都使 0~ 10 cm 土层土壤的体积质量显著增加,使入渗量及入渗率明显降低,说明表层土壤的孔隙结构对降雨入渗起决定性作用。

关键词 保护性耕作; 模拟降雨; 地表径流; 降雨入渗

中图分类号 S 152.75; S 343.1; S 233.1

Rainfall Infiltration Related to Different Conservation Tillage Factors

Wang Xiaoyan Gao Huanwen Du Bing Mao Ning

(College of Machinery Engineering, CAU)

Abstract Two rounds of field rainfall simulation experiments were conducted to assess the impacts of conservation tillage and its related factors, including surface tillage, residue cover and wheel traffic, on runoff and infiltration. The first test showed that conservation tillage can remarkably delay runoff and improve infiltration compared to conventional moldboard plough practice(CK). Among the three factors, residue cover and wheel traffic are more influential for infiltration, while the effect of surface tillage is not clear. Under low soil moisture and 72 mm/h of rainfall rate, conservation tillage could delay runoff 12~ 16 minutes and the final infiltration rate could be 1.5~ 1.6 times more than CK; Residue cover could delay runoff 8 minutes and increase the final infiltration rate by 1.1 times while wheel compaction produce runoff 7 minutes earlier and decrease infiltration rate by 47.5%. The second test is

收稿日期: 2001-03-22

中澳合作项目“ACIAR 96/143 可持续机械化旱作农业研究”

王晓燕, 北京清华东路 17 号 中国农业大学(东校区)46 信箱, 100083

to further investigate the effects of different levels of compaction and residue cover on infiltration. Within cover rate of 0~70%, when residue cover increases, ponding and saturation will be delayed, the final infiltration rate will be higher and runoff amount will decrease along the conic curve vs cover rate. When soil is wetter, the effect of residue cover will be lower and the effect of compaction will be stronger. Compaction could increase surface soil bulk density hence worsen infiltration capability. Under the experimental situation with high soil moisture and 82.5 mm/h of rainfall rate, wheel compaction could produce runoff 13 minutes earlier and decrease infiltration rate by 86.8%. Moreover, the heavier the machinery, the deeper the soil is compacted. Small tractor could compact soil within the surface of 10 cm and middle size tractor could affect the depth to 20 cm or more. Both the tractors could remarkably compact the surface 10 cm which is critical to rainfall infiltration.

Key words conservation tillage; rainfall simulation; runoff; infiltration

针对北方旱区干旱少雨、土地贫瘠、水土流失严重等问题,我国研究人员已经对旱地保护性耕作技术进行了大量的研究,总结出了适用于不同类型地区的保护性耕作体系及配套机具和技术^[1~4]。为了进一步推广和应用保护性耕作技术,还需要深入研究保护性耕作体系的水土保持效益及其所涉及到的秸秆覆盖、表土耕作、机具压实等因素对保持土壤水分的作用。笔者从 1997 年开始建立天然降雨径流试验区,利用自动径流测试仪和数据实时采集系统等先进测试手段,就保护性耕作的各因素对地表径流、降雨入渗和土壤流失的影响进行了系统的定位及动态实时测定,为研究保护性耕作体系的保水保土机理提供了宝贵的数据^[5]。在此基础上,通过人工模拟降雨试验,进一步研究了不同保护性耕作措施和各因素对降雨入渗过程的影响。

1 材料与方法

1.1 试验设计

人工模拟降雨试验是在中澳合作项目“可持续机械化旱作农业研究”的春玉米固定道保护性耕作中心试验区进行的,试验区地处山西省寿阳县,年平均气温 7.4℃,降水量 518.3 mm,蒸发量 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。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。试验小区为平坦的农耕地,坡度约 1%。

降雨试验共进行了 2 次。第 1 次在 1998 年 10 月玉米收获、秸秆粉碎处理后,当时土壤含水率几乎为凋萎含水率。此次试验的主要目的是分析保护性耕作的积蓄降雨效果,并识别出主要的作用因素。试验设 3 因素(2 水平):表土耕作(免耕、浅松),秸秆覆盖(有覆盖、无覆盖),机具压实(全面压实、无压实);4 种处理:免耕覆盖压实(N TCC)、免耕覆盖无压实(N TCN)、浅松覆盖无压实(STCN)、浅松无覆盖无压实(STNN),另设传统翻耕处理(CK)进行对照;共 5 种处理,4 次重复。各覆盖处理秸秆均匀分布,覆盖量约 6 000 kg·hm⁻²,覆盖率在 90% 以上。

第 2 次试验在 1999 年 7 月玉米生长中期,当时土壤含水率较高。此次试验的主要目的是定量分析不同秸秆覆盖率及不同压实程度对降雨入渗的影响。对免耕无压实处理(N TCN)设 3 种覆盖率:0(N TCN 0),30%(N TCN 30),70%(N TCN 70);并在覆盖率为 70%条件下,设 3 种不同程度的压实:中拖压实(M T 70)、小拖压实(ST 70)和无压实(N TCN 70);共 5 种处理,4 次重复。中拖压实用 TN-600L 拖拉机,质量为 3.6 t;小拖压实用金马-250 小四轮拖拉机,质

量为 1.2 t。

人工模拟降雨试验主要测定降雨-径流-入渗过程随时间的动态变化及降雨前后的土壤含水率。

1.2 试验仪器

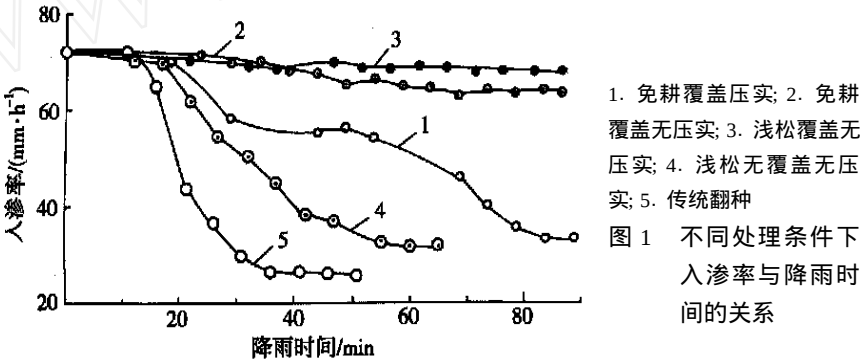
采用由澳大利亚引进的摆动喷头式降雨模拟器,降雨量、雨型和降雨强度可通过选定喷头型号,调节供水压力和控制喷头摆动速度来调整。第 1 次试验选用供水压力 55 kPa,摆动刻度 22,标定降雨强度为 $72\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$;第 2 次试验选用压力 60 kPa,摆动刻度 24,标定降雨强度为 $82.5\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 。

用面积为 $2\text{ m}\times 1.5\text{ m}$ 的取样框经抽吸系统将径流收集到集水桶中,取样框从中间对称分为 $2\text{ m}\times 0.75\text{ m}$ 的 2 个小区。试验过程中,记录降雨及径流的起止时间,径流开始后每隔 5 min 读取一次集水桶读数,根据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 保护性耕作各因素对降雨入渗的影响

图 1 为 1998 年试验中,不同处理条件下入渗率随降雨时间变化的过程曲线,不同处理条件下地表产生径流时间、入渗率达到稳定时间及稳定入渗率见表 1。



由图 1 可见,浅松覆盖无压实和免耕覆盖无压实处理地表产生径流的时间比传统翻耕处理的晚 12~ 16 min,稳定入渗率高 1.5~ 1.6 倍。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;与秸秆覆盖配合,地表不易结壳,积蓄水的能力较强,而传统耕作使土壤结构受到破坏,且没有秸秆覆盖,易结壳。

表 1 不同处理条件下的地表产生径流时间、入渗率达到稳定时间及稳定入渗率

项 目	试验处理				
	免耕覆盖 无压实	免耕覆盖 压实	浅松覆盖 无压实	浅松无覆盖 无压实	传统翻耕
地表产生径流时间/min	24	17	20	12	8
入渗率达到稳定时间/min	69	79	60	55	36
稳定入渗率/ $\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$	61	32	67	31	25

下面分析 3 种试验因素对降雨入渗的影响。

1) 秸秆覆盖 在浅松无压实条件下, 有秸秆覆盖的处理 (STCN) 地表产生径流的时间比无覆盖处理 (STNN) 的晚 8 min, 入渗率下降缓慢, 其稳定入渗率比无覆盖处理的高 1.1 倍。秸秆覆盖能够增加地表蓄水能力, 减缓地表结壳, 从而延迟地表产生径流的时间, 提高入渗率。

2) 机具压实 免耕覆盖不压实 (NTCN) 和免耕覆盖压实 (NTCC) 的试验对比表明, 在有秸秆覆盖的情况下, 压实区地表产生径流的时间比无压实区早 7 min, 稳定入渗率比无压实处理的低 47.5%。机具压实使表层 0~20 cm 土壤的体积质量由 $1.22 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 增加到 $1.39 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$, 降低了土壤孔隙度及孔隙的连续性, 从而恶化了其入渗性能。

3) 表土耕作 在有秸秆覆盖的条件下, 免耕处理 (NTCN) 地表产生径流的时间比浅松处理 (STCN) 的早 4 min, 且稳定入渗率比浅松处理的低 10.4%。表土耕作的影响远小于秸秆覆盖和机具压实的影响。

上述分析表明, 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, 提高入渗率的作用。3 个因素中, 秸秆覆盖和机具压实是主要的作用因素。秸秆覆盖可以明显地减缓径流, 增加入渗, 机具压实使入渗量减少, 而地表浅松对降雨入渗的影响相对较小。可见, 增加覆盖量和减少机具压实是控制农田水土流失的有效措施。

2.2 不同压实程度对降雨入渗的影响

1999 年的试验进一步定量研究不同秸秆覆盖率及不同压实程度对降雨入渗的影响。

机具对土壤的压实首先表现为土壤体积质量的变化 (图 2)。由于供试土壤长年翻耕, 在 20~30 cm 之间形成犁底层, 而两种机型的拖拉机对土壤压实的影响范围都在 30 cm 以内。机具质量不同, 压实深度也不同。小拖拉机的压实深度基本在 10 cm 以内, 而中型拖拉机的压实深度大于 20 cm。在 0~10 cm 土层, 两种机型都使土壤体积质量显著增加, 小拖拉机使其由 $1.40 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 增大到 $1.60 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$, 中型拖拉机使其增大到 $1.62 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$, 两者之间的差异不明显。在 10~20 cm 土层, 中型拖拉机使土壤体积质量由 $1.55 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 增大到 $1.66 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$, 小型拖拉机对该土层压实不明显。两种机型对大于 30 cm 土层的压实作用不明显。

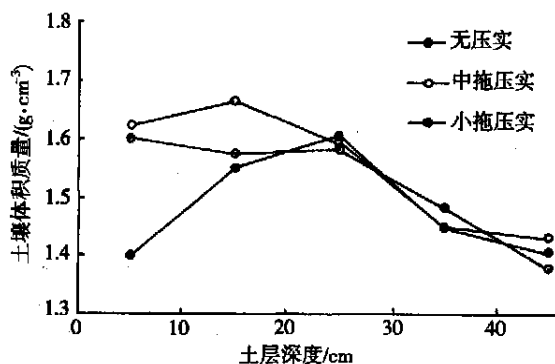


图 2 不同压实条件下各土层土壤体积质量的变化

机具压实增加了表层土壤的体积质量, 降低了土壤孔隙度, 从而降低了降雨入渗能力。据李汝莘研究^[6], 在 0~10 cm 的耕层内, 压实主要导致大孔隙度减小, 而毛细孔隙度增大。大孔隙度的减小降低了土壤的通气性和入渗性能, 而毛细孔隙度的增大提高了表层土壤吸附水的能力, 其吸水力高于下层土壤, 水不易向下运动, 使得入渗量减少。

图 3 示出不同压实条件下入渗率与降雨时间的关系。

对免耕覆盖率 70% (NTCN 70)、中拖压实覆盖率 70% (MT 70) 和小拖压实覆盖率 70% (ST 70) 3 种处理进行比较, 分析不同压实程度对降雨入渗过程的影响。无压实处理 (NTCN 70)

的地表在降雨开始 20 min 左右产生径流,入渗率降低缓慢,最终入渗率为 $38\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 。压实处理(MT70 和 ST70)的地表在降雨 7 min 时就开始产生径流,比无压实处理的提前 13 min,且很快达到饱和,入渗率迅速降至最低值 $5\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 左右,入渗量远低于无压实处理。以降雨开始 40 min 时的入渗情况进行对比,压实处理的入渗率比无压实处理的低 85.4%。

从图 3 还可看出,中拖压实处理的地表其入渗率与小拖压实处理的无明显区别。这说明,虽然中拖压实和小拖压实对土壤的影响深度不同,但对入渗起决定性作用的是表层土壤的压实程度,地表压实层成为土壤入渗的限制层。小型拖拉机对土壤的压实问题不容忽视,尤其是在土壤含水率较高的情况下,要避免机器下地作业,可采用其他合理的耕作方法(如固定道作业法),将压实限制在固定的非作物生长带,这是解决问题的有效方法。

2.3 不同秸秆覆盖率对降雨入渗的影响

在免耕无压实条件下,3 种不同秸秆覆盖率对降雨入渗的影响见图 4。

秸秆覆盖率为 30% 与无覆盖处理的地表产生径流时间都为降雨开始后 10 min 左右,而覆盖率为 70% 的地表则在降雨 20 min 左右开始产生径流。秸秆覆盖率越大,达到稳定入渗率所需的时间越长,且稳定入渗率越高。覆盖率为 70% 的地表最终入渗率为 $38\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$,30% 覆盖率的最终入渗率为 $35\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$,无覆盖处理的最终入渗率为 $30\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 。秸秆覆盖可以延缓径流的产生,并提高入渗率。

对降雨开始 40 min 时各处理地表的累积径流量进行对比,在所试的秸秆覆盖率范围内(0~70%),同等降雨条件下,随秸秆覆盖率的增大,径流量近似按二次多项式曲线减少(图 5)。

机具压实和秸秆覆盖都对降雨入渗及地表径流有较大影响。在土壤较湿润条件下,压实的影响大于秸秆覆盖的影响;第 1 次模拟降雨试验结果显示,在土壤较干燥的条件下,秸秆覆盖的作用大于压实的作用。我国北方旱地

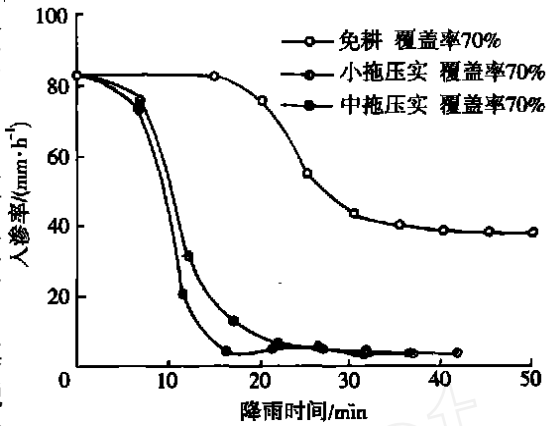


图 3 不同压实条件下入渗率与降雨时间的关系

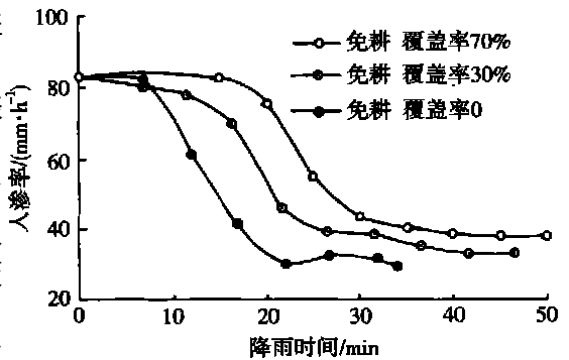


图 4 不同秸秆覆盖率条件下入渗率与降雨时间的关系

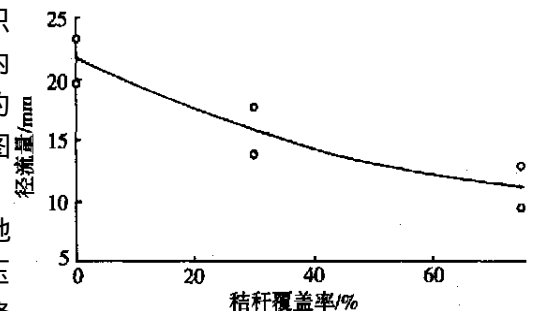


图 5 免耕无压实条件下径流量与覆盖率的关系

春玉米种植区,机器进地作业一般在 4 月(播种)和 10 月(收获),此时土壤比较干燥,而在作物

生长季, 喷药及中耕锄草等作业一般是人工完成的, 机具压实的影响不大。只要机具下地时的土壤水分适宜, 中小型机具作业对土壤的压实还不是很严重, 但如果土壤水分较高, 小型拖拉机也会对土壤造成较大破坏, 降低土壤的入渗性能。

3 结 论

1) 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。在土壤干燥, 降雨强度为 $72\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 的条件下, 保护性耕作处理与传统翻耕处理比较, 其地表产生径流的时间延迟 12~16 min, 且稳定入渗率提高 1.5~1.6 倍。

2) 在秸秆覆盖、机具压实和表土耕作 3 因素中, 秸秆覆盖和机具压实是影响降雨入渗的主要因素, 表土耕作的影响相对较小。在土壤干燥, 降雨强度为 $72\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 的条件下, 秸秆覆盖使径流延迟 8 min 产生, 稳定入渗率提高 1.1 倍; 机具压实使径流早 7 min 产生, 稳定入渗率降低 47.5%。

3) 随着降雨前土壤含水量的增大, 秸秆覆盖对降雨入渗的影响减弱, 而机具压实的作用增强。在土壤含水量较高的情况下, 机具压实对降雨入渗的影响大于秸秆覆盖的影响, 机具使表层土壤的体积质量增大, 入渗性能降低。在降雨强度为 $82.5\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 时, 压实使径流早 13 min 产生, 且入渗率迅速降低至饱和值 $5\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$, 稳定入渗率比无压实处理的低 86.8%。

4) 机器越重, 压实的影响深度越大。小拖的压实主要在 10 cm 以内, 而中拖的压实可以达到 20 cm 以上。中拖与小拖两种机型都使 0~10 cm 土层土壤的体积质量显著增加, 使入渗量减少, 入渗率明显降低, 说明表层土壤的孔隙结构对降雨入渗起决定性作用。

5) 秸秆覆盖率越高, 地表产生径流的时间和入渗率达到稳定的时间越晚, 稳定入渗率越高。秸秆覆盖率为 30% 与无覆盖处理的地表产生径流的时间都为降雨开始后 10 min 左右, 而覆盖率为 70% 的地表则在降雨 20 min 左右开始产生径流。覆盖率为 70% 的最终入渗率为 $38\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$, 覆盖率为 30% 的为 $35\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$, 无覆盖处理的为 $30\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 。在所试的秸秆覆盖率范围内 (0~70%), 同等降雨条件下, 随秸秆覆盖率的增大, 累积径流量近似按二次曲线减少。

参 考 文 献

- 1 朱文珊, 姜成后. 中国北方旱区农业持续发展的重要措施——残茬覆盖减耕法. 见: 魏建昆主编. 北方半干旱地区持续农业研究. 北京: 中国农业科技出版社, 1996. 26~32
- 2 籍增顺, 张乃生, 刘 杰. 旱地玉米免耕整秸秆半覆盖技术体系及其评价. 干旱地区农业研究, 1995, 13(2): 14~19
- 3 王 秀, 马大敏, 宁吉洲. 华北半干旱区不同耕作及收获方式下经济生态效益分析. 见: 马步洲主编. 河北旱作与节水农业之研究. 北京: 中国农业科技出版社, 1996. 291~296
- 4 高焕文, 陈君达. 可持续机械化旱作农业研究. 干旱地区农业研究, 1999, 17(1): 57~61
- 5 王晓燕, 高焕文, 李洪文, 等. 保护性耕作对农田地表径流与土壤水蚀影响的试验研究. 农业工程学报, 2000, 16(3): 66~69
- 6 李汝莘. 旱地保护性带状耕作增产节能机理及试验装备研究. [学位论文]. 北京: 中国农业大学, 1998