

覆盖和耕作对黄土高原冬小麦土壤入渗特性的影响

牛伊宁¹, 沈禹颖^{1*}, 高崇岳¹, Kong Yin CHAN², 南志标¹

(1 兰州大学草地农业科技学院 农业部草地农业生态系统学重点开放实验室, 甘肃 兰州 730020;

2 澳大利亚新南威尔士州初级产业部, Richmond NSW 2753, 澳大利亚)

摘要: 用人工模拟降雨器对黄土高原冬小麦收获后 6 个耕作措施: 不翻耕 (NT), 不翻耕 + 覆盖 (NTC), 浅翻耕 (LT), 浅翻耕 + 覆盖 (LTC), 深翻耕 (DT), 深翻耕 + 覆盖 (DTC) 处理下土壤的入渗进行了研究, 测定了土壤表面结皮、粗糙度等指标因子。结果表明, 在模拟降雨强度为 66 mm/h 的条件下, 覆盖处理的稳定入渗率 > 60 mm/h 降雨开始的 40 min 内, 平均入渗量 > 93%; 深翻耕 (DT) 的稳定入渗率 (26.4 mm/h) 是浅翻耕 (LT) (13.0 mm/h) 的 2 倍, 是不翻耕 (NT) (6.4 mm/h) 的 4.1 倍, 降雨历时 20 min 时, 深翻耕 (DT) 和浅翻耕 (LT) 分别比不翻耕处理 (NT) 减少径流 28% 和 7%, 40 min 时, 浅翻耕 (LT) 和不翻耕 (NT) 处理径流量相当, 深翻耕 (DT) 比这两个处理减少径流 30% 左右, 土壤翻耕后在前期能提高土壤的入渗率, 表现出经长年耕作后土壤退化的强烈特征, 是“耕地越深, 入渗越快”观念的根源; 地表结皮是影响降雨入渗的主要因素, 覆盖等保护性耕作更有利于土壤入渗。

关键词: 渗透; 覆盖; 粗糙度; 结皮; 人工模拟降雨

中图分类号: S152.7

文献标识码: A

在黄土高原, 增加入渗, 就地拦蓄降雨是防止水土流失的一个基本战略措施^[1]。降雨过程中, 地表径流大小和入渗的能力, 是确定水土流失和土壤中化学物质是否淋失的一个重要参数。已有的研究表明在人工模拟降雨和天然降雨条件下, 保护性耕作可明显减少水土流失, 增加降雨的入渗, 比较秸秆覆盖、土壤压实及表土耕作的效果, 覆盖对径流和入渗的影响最大, 压实次之, 耕作的影响最小^[2,3]。

上述研究中, 对土壤表面结皮、粗糙度等因素考虑较少, 没有进行测量和描述, 而这些因素是影响土壤水分入渗的主要原因, 也是许多降雨入渗曲线和模型的重要指数^[4]。鉴于此, 本研究在黄土高原的甘肃庆阳, 用人工模拟降雨器对冬小麦收获后 6 个耕作管理措施下土壤入渗性能进行了比较研究和定量描述, 用自行设计的装置测定了地表粗糙度, 探讨

了地表结皮、覆盖和耕作措施对降雨入渗的影响。其结果可以为确定当地的土壤入渗模型提供参数, 并对农业生产有理论指导意义。

1 材料和方法

1.1 研究地点

试验地位于兰州大学庆阳黄土高原试验站 (35°41'N, 107°51'E), 海拔 1 297m, 行政区划属甘肃省庆阳市西峰区。年均温度 8.3℃, 极端最高气温 39.6℃, 最低气温为 -22.4℃, > 5℃年均积温 3 446℃。无霜期 161d 生长季 255 d, 多年平均降雨量 562 mm, 年均蒸发量 1 504 mm。土壤为黑垆土, pH 值为 8~8.5。

收稿日期 (Received date): 2005-04-30; 改回日期 (Accepted): 2005-11-22

基金项目 (Foundation item): 国家重点基础研究发展规划 G2000018602, 澳大利亚国际农业研究中心项目 (LWR2/1999/094), 2003 年教育部重点科技项目资助。[National Key Basic Research Special Funding Project of China (G2000018602), ACIAR (LWR2/1999/094) & Key Funding Project of Minister of Education in 2003]

作者简介 (Biography): 牛伊宁 (1969-), 男, 甘肃宁县人, 在读硕士, 主要从事草地农业系统研究。E-mail: niuyn03@st.lzu.edu.cn [Niu Yin-ying (1969-), Male from Ning County, Gansu Province. Master student Major on grassland farming system.]

* 通讯联系人: E-mail: yy_sher@lzu.edu.cn (Tel): 0931-8910945

1.2 试验设计与处理

模拟降雨试验在 2004– 08 冬小麦收获后进行, 地表基本平整, 坡度 < 3%, 留茬高 11 cm, 生物量为 3 t/hm², 平均覆盖度 80%, 试验共设 6 个处理: (1) 不翻耕 (NT): 冬小麦收获后留茬全部剪去, 地面无扰动; (2) 不翻耕 + 覆盖 (NTC): 冬小麦收获后地表留茬并覆盖小麦秸秆, 生物量 5 t/hm², 覆盖度 90%, 地面未扰动; (3) 浅翻耕 (LT): 试验前两天翻耕土壤 10 cm, 留茬翻入土后整平地表; (4) 浅翻耕 + 覆盖 (LTC): 试验前地表均匀覆盖 3 t/hm² 秸秆, 覆盖度 90%, 其他同处理 3; (5) 深翻耕 (DT): 试验前 2 d 土壤深翻 20 cm, 留茬翻入土后整平地表; (6) 深翻耕 + 覆盖 (DTC): 试验前地表均匀覆盖 3 t/hm² 秸秆, 覆盖度 90%, 其它同处理 5。试验地至少有 5 a 的传统耕作历史。

采用澳大利亚生产的摆动喷头式人工模拟降雨器, 供水压力 60 kPa, 降雨强度通过调节喷头摆动的速度来控制, 降雨强度为 66 mm/h; 喷头距地面垂直高度为 2.44 m, 正下方用钢板围成两个 2 m (1 m 的试验小区, 在每个试验区的一端用 V 型收集器收集径流, 各处理重复 3 次。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 土壤含水量

在降雨前, 用烘干法测定试验小区内容重和土壤含水量。

1.3.2 地表结皮

地表结皮的瞬间导水性与降雨的动能相关^[5]。由于降雨动能在作物的生长季节较难测定, 土壤自耕作后总的降雨量与降雨动能有很好的相关性, 可以作为地表降雨动能的一个参数^[6]。在此, 我们用耕作后总的降雨量来表示地表结皮的程度。

1.3.3 地表粗糙度

参考前人方法基础上^[7], 用自制的接触式探针法装置测定。该装置由 25 根 50 cm 长的探针和一个框架组成, 框架宽度为 50 cm, 探针间距 2 cm^[8], 在框架的中间装有水平仪。为保证测定时有相同参考点, 在仪器的一端装有一个带刻度的水位计, 框架装有水位计的一端着地, 另一端悬空, 随着地表的凹凸起伏, 探针可以上下活动, 框架上标有刻度, 探针标记在零线以上的记为正值, 零线以下记为负值, 同时记录水位计上的刻度。测定时, 在每个样区沿长度方向 (2 m) 测 4 次, 宽度方向 (1 m) 测 4 次, 共 400 个点, 用水位计的刻度值校正, 计算绝对值的平均高

差, 作为随机粗糙度 (random roughness RR)。

1.3.4 径流和入渗率

降雨开始后, 每隔 5 min 在每个试验区的一端用 V 型收集器收集径流并测量体积。降雨的入渗率等于单位时间的降雨量减去径流量, 单位是 mm/h, 取平均值。

2 结果

2.1 土壤含水量

降雨试验前, 不翻耕和翻耕处理土壤表层 0~ 5 cm 水分含量分别是 10% 和 7%, 5~ 10 cm 为 14% 和 12%, 处理间平均含水量差异不超过 3%, 因此, 土壤含水量对这几个处理的入渗影响较小。不翻耕留茬覆盖处理含水量较高, 分别是 19% 和 20%。

2.2 结皮和粗糙度

从 2003– 09 冬小麦播种到 2004– 08 模拟降雨试验期间, 累计降雨 299 mm, 其中, 自冬小麦 6 月底收获至模拟降雨期间, 共降雨 175 mm。6 个处理下, 土壤表面粗糙度差别不大, 在 9~ 12 mm 之间 (表 1), 说明本次模拟降雨试验中, 土壤表面的粗糙度对降雨的入渗影响较小。

表 1 不同处理降雨前的情况

Table 1 Treatment condition before rainfall simulator

处 理 Treatments	自耕作后的累计降雨量 Cumulative rainfall since tillage (mm)	降雨前地表粗糙度 Random roughness before rainfall (mm)	覆盖度 Cover (%)
不翻耕 NT	299 (175)*	9	—
不翻耕 + 覆盖			
NTC	299 (175)*	—	90
浅翻耕 LT	—	10	—
浅翻耕 + 覆盖			
LTC	—	11.5	90
深翻耕 DT	—	11	—
深翻耕 + 覆盖			
DTC	—	12	90

* 括号里面的数字表示在小麦收获后至模拟降雨前的自然降雨量。
(* The figures in the parenthesis represent cumulative rainfalls since winter wheat was harvested)

2.3 入渗率

2.3.1 覆盖的影响

由图 1 可看出, 不翻耕 + 覆盖 (NTC)、浅翻耕 + 覆盖 (LTC) 和深翻耕 + 覆盖 (DTC) 三个处理的稳定入渗率相近, 在 60~ 63 mm/h 之间, 分别是不翻耕 (NT)、浅翻耕 (LT) 和深翻耕 (DT) 三个不覆盖处理

入渗率的 9.4 倍、4.7 倍和 2.4 倍, 覆盖对不翻耕 (NT) 处理的入渗率增加更明显。

2.3.2 耕作措施的影响

入渗率在浅翻耕处理 (LT) 下, 降雨开始 10 min 内随降雨历时的延长缓慢下降, 10 min 后迅速下降; 深翻耕 (DT) 处理 10 min 时的入渗率与浅翻耕 (LT) 处理的相近, 在 30 min 时仍然保持较高的入渗率, 达 57 mm/h, 40 min 后基本稳定, 为 26.4 mm/h, 分别是浅翻耕处理 (LT) 和不翻耕处理 (NT) 最后或稳定入渗率的 2 倍和 4.1 倍 (图 1)。

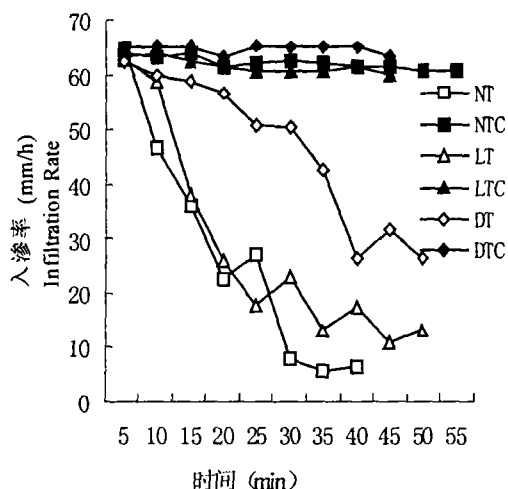


图 1 各种处理的水分入渗率

Fig 1 Infiltration rate of different treatments

2.4 径流量

2.4.1 覆盖的影响

在黄土高原, 持续时间短, 降雨强度大的暴雨, 造成的水土流失最为严重, 而 80% 的雨量集中在 30 min 以内^[9], 这表明, 降雨开始的水分入渗能力很重要。

图 2 表示降雨历时 20 min 和 40 min 时, 各处理累计径流量占该时间段内累计降雨量的比值。在降雨历时 20 min 时, 不翻耕 + 覆盖 (NTC)、浅翻耕 + 覆盖 (LTC) 和深翻耕 + 覆盖 (DTC) 下的径流量比不翻耕 (NT)、浅翻耕 (LT) 和深翻耕 (DT) 不覆盖处理分别减少 33%、27% 和 8%; 40 min 时, 分别降低 51%、45% 和 19%, 覆盖明显地减少了径流量。

2.4.2 耕作措施的影响

降雨历时 20 min 时, 深翻耕 (DT) 和浅翻耕 (LT) 处理分别比不翻耕处理 (NT) 减少径流 28% 和 7%, 40 min 时, 浅翻耕 (LT) 和不翻耕 (NT) 处理径

流量相当, 深翻耕 (DT) 比这两个处理减少径流 30% 左右, 也就是说, 浅翻耕增加前期降雨的下渗, 深翻耕利于水分入渗。

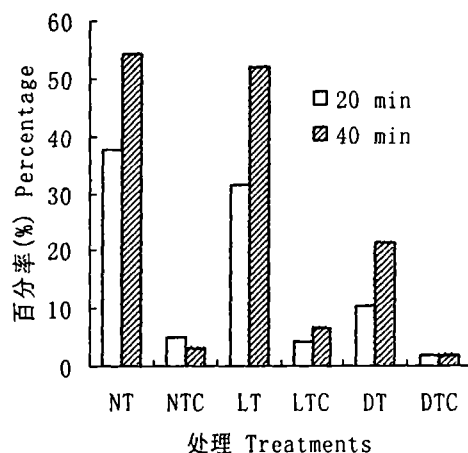


图 2 降雨开始 20 min, 40 min 累计径流量占降雨量的百分率

Fig 2 Percentage of runoff vs. rainfall after rain run 20 min and 40 min

3 讨论

3.1 地表结皮对入渗的影响

土壤结皮 (crust) 是地表一层很薄的紧实层 (0 ~ 2 mm), 可降低雨水的入渗速度和水分蒸发速度, 在干燥时, 形成结壳, 影响出苗和土壤气体的交换。本研究中, 不翻耕处理自小麦播种前的耕作到降雨试验时有 299 mm 的天然降雨, 地表结皮已经形成, 在模拟降雨过程中, 由于雨滴的冲击, 又有新的结皮产生, 因此径流量很大; 随着降雨时间的延长, 不翻耕 (NT)、浅翻耕 (LT) 和深翻耕 (DT) 处理的径流量在 40 min 内分别比 20 min 增加 16%、21% 和 11%。表明在降雨过程中, 随降雨历时的延长, 结皮对入渗的影响作用越来越大。

已有的研究亦表明, 雨水的下渗与土壤表面的覆盖度、粗糙度和结皮的程度等相关^[10], 但主要受表层结皮的控制^[11-12]; 打破结皮可提高土壤入渗率, 并有效地抑制和减少水分蒸发, 提高土壤保水能力^[13]。

3.2 覆盖对入渗的影响

本研究所见, 浅翻耕 + 覆盖 (LTC) 和深翻耕 + 覆盖处理 (DTC) 下, 降雨前后土壤入渗率变化不大, 最后或稳定入渗率接近; 不翻耕 + 覆盖 (NTC) 处理下, 自前一年秋季冬小麦播种到当年夏季收获, 共有

124 mm 降雨, 在冬小麦收获后由于地表充分覆盖, 模拟降雨试验以及到模拟试验期间的 175 mm 天然降雨对地表产生的冲击和溅蚀较小, 因此它的入渗率较高; 相反, 不翻耕 (NT) 处理自冬小麦播种到收获共有 299 mm 的降雨, 由于地表裸露, 它的入渗率很低, 说明覆盖消除或明显的减轻了雨水对土壤表面的打击和冲刷, 在降雨过程中减弱或延缓了地表结皮的形成, 阻挡雨水流失, 增加雨水入渗的时间和压力, 从而增加雨水的入渗, 也证明了降雨时雨滴的打击作用形成的地表结皮是限制降雨入渗的主要原因。我们也注意到, 在不翻耕 + 覆盖 (NTC) 地表, 生物活性和大孔隙高于裸地表面, 这些大孔隙也是水分入渗特别是强度大的降雨入渗的主要通道^[14], 有研究亦表明, 覆盖对水分入渗的影响很大^[2 3 15]。

在实际生产应用中, 耕作覆盖可以增加水分入渗, 减少地表蒸发, 由于操作困难, 很难大面积推广; 免耕 + 覆盖会因覆盖秸秆量过多, 造成播种机堵塞, 影响播种质量, 缺苗断垄严重, 单位面积苗数不足等^[16], 表土耕作机械研制应该作为保护性耕作实施的一项关键技术^[17]。

3.3 耕作措施对入渗的影响

本试验所见, 小麦收获后不翻耕处理 (NT) 经过了一个生长季节后, 由于地表裸露, 受气候和降雨过程中雨滴的打击作用, 地表团粒结构遭到粉碎破坏, 颗粒变小, 易于形成地表结皮, 并在降雨过程中堵塞毛管而降低入渗速度^[8], 因此降雨一开始径流就很大, 耕作破坏了雨后土壤表层形成的板结层, 短期内增强了土壤的渗透能力。深翻耕处理 (DT) 和浅翻耕处理 (LT) 的入渗率高于不翻耕处理 (NT), 这是当地土壤经过常年耕作后已经严重退化的表现。

不覆盖时, 翻耕深度对水分的入渗亦有很大影响。本试验中, 深翻耕处理 (DT) 和浅翻耕处理 (LT) 表面水分含量和粗糙度差别不大 (见表 1), 表土的结构类似, 降雨开始 10 min 深翻耕处理 (DT) 和浅翻耕处理 (LT) 的入渗率基本相同; 在降雨历时 15 min 时, 浅翻耕处理 (LT) 和深翻耕处理 (DT) 的入渗率分别是 38 mm/h 和 59 mm/h, 20 min 时, 浅翻耕处理 (LT) 的入渗率明显减小 (26 mm/h), 深翻耕处理 (DT) 的入渗率变化不大 (57 mm/h)。笔者认为, 在开始的 10 min 模拟降雨过程中, 深翻耕处理和浅翻耕处理表面的结皮程度是相似的, 但在 10 min 以后浅翻耕处理水分入渗速率的减小是由于浅翻耕处理的 10~20 cm 未扰动层的入渗阻力造成

的, 这与蔡强国等人认为是由于犁底层的阻碍作用不一致^[18]; 据我们观察, 在当地, 犁底层一般出现在 22~28 cm 深度。在降雨过程中, 当土壤明显的分为三个层次: 表层结皮、耕作层和未扰动层面时, 土壤的入渗主要由表层结皮控制, 这是因为表层结皮的导水阻力 (hydraulic resistance) 比它下面的渗透层要大许多^[6]。浅翻耕处理 (LT) 在 25 min 以后, 深翻耕处理 (DT) 在 40 min 以后, 它们的入渗率基本稳定, 这时候地表结皮仍然是控制降雨入渗的主要因素, 因为在地表覆盖 (LTC, DTC) 时, 它们的入渗率还是很大 ($> 60 \text{ mm/h}$), 而浅翻耕处理 (LT) 和深翻耕处理 (DT) 最后或稳定入渗率的不同是由于在降雨开始 10 min 以后, 地表径流、表层结皮的动态平衡和土壤剖面导水性差异等因素综合作用的结果。

耕作被广泛的用来控制杂草, 播种前疏松土壤, 创造良好的播种条件, 改善土壤的透气性, 但破坏了土壤孔隙连续性, 并降低有机碳、氮含量及稳定性团聚体数量, 减少土壤表面的植被和秸秆覆盖, 在降雨过程中, 雨滴打击裸露地表, 使地表团聚体破坏, 容易形成地表结皮, 降低了土壤渗透速度, 造成水土流失, 还会引起耕作侵蚀^[19]。有试验表明^[20], 草地上进行连续 4 a 的耕作, 导致土壤的抗蚀性变小, 在凿形犁耕地、有壁犁耕地和免耕三种耕作处理中, 土壤的流失量分别为 6.7 t/hm^2 、 18.2 t/hm^2 和 0.2 t/hm^2 , 耕作引起的水土流失更为严重。我们对水分入渗过程中地表径流的泥沙含量没有进行分析, 主要考虑到近年来在塬面上开展的以平整地为主的水土保持措施的施行, 大部分水分都能就地入渗, 但我们注意到, 耕作处理下, 径流中夹带的泥沙含量明显高于免耕处理, 说明在坡耕地, 耕作会加速水土流失。

在本实验中, 只对耕作后第一次降雨过程中土壤的入渗能力作了研究, 表明耕作可以增加土壤入渗, 随着时间的变化, 翻耕与不翻耕土壤的入渗率差别不大^[6], 试验中不翻耕处理 (NT) 也是在小麦播种时翻耕的土壤, 它的入渗率较小, 说明翻耕后期耕作的效应减小, 这是土壤经长期耕作后已经退化的强烈特征。从长远来看, 覆盖等保护性耕作更有利于土壤的入渗。

从肥料利用角度来说, 在地表径流增大时, 加速了水土流失, 同时增加了地表土壤养分的流失^[21, 22]; 在增加土壤入渗时, 减少了地表径流和土壤养分的流失, 却加大了土壤中养分的淋溶和污染

地下水源的机会^[23~25], 因此, 不同耕作措施对农业系统的水文特性还需要进一步研究。

4 结论

黄土高原西部, 在 66 mm/h 的模拟降雨强度下, 降雨开始 40 min 内, 覆盖处理的稳定入渗率为 60 mm/h, 平均降雨入渗量 > 93%; 不覆盖时, 耕作前期能增加土壤的入渗, 深翻耕 (DT) 处理的稳定入渗率 (26.4 mm/h) 是浅翻耕 (LT) 处理 (13.0 mm/h) 的 2 倍, 是不翻耕 (NT) 处理 (6.4 mm/h) 的 4.1 倍, 在降雨历时 20 min 和 40 min 时, 深翻耕 (DT) 比浅翻耕 (LT) 和不翻耕 (NT) 处理分别增加入渗 21% 和 28%, 31% 和 33%, 这是土壤经多年耕作后已经严重退化的典型表征, 是“耕地越深, 入渗越快”观念的根源; 覆盖等保护性耕作更有利于土壤入渗和改善土壤理化性质, 其效应需要一个较长期的时间才能表现。

参考文献 (References)

- [1] Zhu Xianmo. The restatement on the 28-word general plan for the loess plateau's territory rehabilitation [J]. *Journal of Soil Erosion and Water Conservation*, 1995, 1(1): 4~11 [朱显謨. 再论黄土高原国土整治 "28 字方略" [J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1995, 1(1): 4~11]
- [2] Wang Xiaoyan, Gao Huanwen, Du Bing, et al. Conservation Tillage Effect on Runoff and Infiltration Under Simulated Rainfall [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2000, 20(3): 23~25 [王小燕, 高焕文, 杜兵, 等. 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 [J]. 水土保持通报, 2000, 20(3): 23~25]
- [3] Wang Xiaoyan, Gao Huanwen, Li Hongwen, et al. Experimental study on runoff and erosion under conservative tillage [J]. *Transactions of the CSAE*, 2000, 16(3): 66~69 [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 [J]. 农业工程学报, 2000, 16(3): 66~69]
- [4] Littleboy, M. Cogle, A. L. et al. Soil management and production of Alfisols in the semi-arid tropics. Modeling the effect of soil management on runoff and erosion [J]. *Aust. J. Soil Res.*, 1996, 34: 91~102
- [5] Liden, D. R., A model to predict soil water storage as affected by tillage practice. Ph.D. diss. Univ. of Minnesota St. Paul (Diss. Abstr. 40: 5098B).
- [6] Freebairn, D. M., Gupta, S. C. et al. Antecedent rainfall and tillage effects upon infiltration [J]. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1989, 53(4): 1183~1189
- [7] Zheng Zicheng, He Shuqing, Wu Faqi. Relationship between surface roughness and Manning roughness [J]. *Journal of Mountain Science*, 2004, 22(2): 236~239 [郑子成, 何淑勤, 吴发启. 地表糙度与水
- 力糙度关系 [J]. 山地学报, 2004, 22(2): 236~239]
- [8] Brough, D. L., Jarrett, A. R. Simple technique for approximating surface storage of slit-tilled fields [J]. *Am. Soc. Agric. Eng.*, 1992, 92: 885~890
- [9] Jiang Dingsheng, et al. Soil erosion and control models in the loess plateau [M]. Beijing: Chinese Water Conservancy and Hydroelectric Power Press, 1997, 83~87 [蒋定生, 等. 黄土高原水土流失与治理模式 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1997, 83~87]
- [10] Freebairn, D. M., Gupta, S. C. Microrelief rainfall and cover effects on infiltration [J]. *Soil Tillage Res.*, 1990, 16: 307~327
- [11] Cai Qianguo, Wang Guiping, Chen Yongzong. The process of erosion and sediment yield in the loess plateau and related simulation [M]. Beijing: Science Press, 1998, 58~78 [蔡强国, 王贵平, 陈永宗. 黄土高原小流域侵蚀产沙过程与模拟 [M]. 北京: 科学出版社, 1998, 58~78]
- [12] Silburn, D. M., Foley, J. L. Evaluation of some methods for measuring transient hydraulic properties of rain-induced surface seals on two clay soils [J]. *Aust. J. Soil Res.*, 1994, 32: 471~489
- [13] Jia Zhijun, Wang Xiaoping. Study on influence of soil moisture of summer slack farming stopped lands due to crust surface [J]. *SWCC*, 2002, 9: 18~19 [贾志军, 王小平. 黄土表面结皮对夏闲坡耕地土壤水分的影响研究 [J]. 中国水土保持, 2002, 9: 18~19]
- [14] Chan, K. Y., Mead, J. A. Water movement and macroporosity of an Australian Alfisol under different tillage and pasture conditions [J]. *Soil & Tillage Research*, 1989, 14: 301~310
- [15] Zhang Yali, Zhang Xingchang, Shao Mingan, et al. Impact of straw cover on mineral nitrogen loss by runoff on loess slope [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2004, 18(1): 85~88 [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]
- [16] Wang Jianzheng, Gu Runsheng. Soil surface disposal of conservative farming of dry land wheat before sowing [J]. *Transactions of the CSAE*, 2003, 19(4): 139~141 [王建政, 古润生. 旱地小麦保护性耕作增加播前地表处理的研究 [J]. 农业工程学报, 2003, 19(4): 139~141]
- [17] Li Hongwen, Chen Junda, Gao Huanwen, et al. Study on surface tillage effect for dryland [J]. *Agriculture Research in the Arid Areas*, 2000, 18(2): 13~18 [李洪文, 陈君达, 高焕文, 等. 旱地表土耕作效应研究 [J]. 干旱地区农业研究, 2000, 18(2): 13~18]
- [18] Cai Qianguo, Wang Guiping, Chen Yongzong. The process of erosion and sediment yield in the loess plateau and related simulation [M]. Beijing: Science Press, 1998, 51~57 [蔡强国, 王贵平, 陈永宗. 黄土高原小流域侵蚀产沙过程与模拟 [M]. 北京: 科学出版社, 1998, 51~57]
- [19] Li Yong, Zhang Jianhui, Luo Dajie, et al. Tillage translocation and tillage erosion process and their implications for agro-ecosystems [J]. *Journal of Mountain Science*, 2000, 18(6): 514~519 [李勇, 张建辉, 罗大卫, 等. 耕作侵蚀及其农业环境意义 [J]. 山地学报, 2000, 18(6): 514~519]
- [20] M. J. Lindstrom, et al. Effect of Tillage on Runoff and Soil Erosion [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 1999, 3: 5~7. J.

- Andersson 等. 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]
- [21] Kang Lingling, Zhu Xiaoyong, Wang Yunzhang, *et al*. Research on nutrient loss from a loessial soil under different rainfall intensities [J]. *Acta Pedologica Sinica*, 1999, 36(4): 536~543 [康玲玲, 朱小勇, 王云樟, 等. 不同雨强条件下黄土性土壤养分流失规律研究 [J]. 土壤学报, 1999, 36(4): 536~543]
- [22] Huang Manxiang, Zhang Shen, Tang Yijian, *et al*. Nitrogen losses from farm runoff under simulated rainfall conditions [J]. *Soil and Environment Science*, 2001, 10(1): 6~10 [黄满湘, 章申, 唐以剑, 等. 模拟降雨条件下农田径流中氮的流失过程 [J]. 土壤与环境, 2001, 10(1): 6~10]
- [23] Li Shiqing, Wang Ruijun, Li Ziyun, *et al*. Soil nitrogen pool not to be ignored residual NO_3^- -N accumulated in soil profile in semiarid and semihumid agro-ecological system [J]. *Agriculture Research in the Arid Areas*, 2004, 22(4): 1~13 [李世清, 王瑞军, 李紫燕, 等. 半干旱半湿润农田生态系统不可忽视的土壤氮库——土壤剖面中累计的硝态氮 [J]. 干旱地区农业研究, 2004, 22(4): 1~13]
- [24] Ren Liping, Song Yufang, Xu Huaxia, *et al*. Evaluation nutrients of globe——soil and its influence on groundwater [J]. *Agro-Environmental Protect*, 2001, 20(3): 133~136 [任丽萍, 宋玉芳, 许华夏, 等. 旱田养分淋溶规律及对地下水影响的研究 [J]. 农业环境保护, 2001, 20(3): 133~136]
- [25] Li Shiqing, Li Shengxiu. Leaching loss of nitrate from semiarid area agro ecosystem [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2000, 11(2): 240~242 [李世清, 李生秀. 半干旱地区农田生态系统中硝态氮的淋失 [J]. 应用生态学报, 2000, 11(2): 240~242]

Impact of Different Tillage Method on Infiltration Character to Winter Wheat in the Loess Plateau

NU Yining¹, SHEN Yuying¹, GAO Chongyue¹, K. Y. Chan², NAN Zhibiao¹,

(1. Key Laboratory of Grassland Agro-Ecosystem Ministry of Agriculture, College of Pastoral Agricultural Science and Technology, Lanzhou University, Lanzhou 730020 China; 2. NSW Department of Primary Industry, Richmond, NSW 2753, Australia)

Abstract Infiltration characteristics of a Heilu soil were determined using simulated rainfall (rainfall intensity is 66 mm/h) under six tillage methods: no-till (NT); no-till with stubble retention (NTC); till with shallow depth (LT, 10 cm); till with shallow depth with stubble retention (LTC); till with deep depth (DT, 20 cm); Till with deep depth with stubble retention (DTC). Soil surface cover, roughness and crust development was measured. The results showed that cumulative rainfall infiltrated to soil was over 93% at the beginning of rainfall run. 40 min under stubble retention, the last or steady infiltration rate > 60 mm/h. Tillage increased rainfall infiltration at first rainfall run, the last or steady infiltration rate under DT treatment (26.4 mm/h) is 2 times than under LT treatment (12.96 mm/h), while 4 times than under NT treatment (6.35 mm/h). When rainfall ran 20 min, DT treatment increased infiltration by 21% and 28%, compared with under LT and NT treatment, when at 40 min, by 31% and 33%. The results can provide some parameters for infiltration model and benefit to farming systems.

Key words surface cover; surface roughness; surface crust; infiltration; rainfall simulator