

耕作方式对黄土高原旱地土壤渗透性能的影响

黄高宝¹, 罗珠珠¹, 辛平², 张国盛³

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

摘要: 通过对陇中黄土高原半干旱区保护性耕作的定位研究, 探讨了耕作方式对土壤渗透性能的影响。结果表明, 免耕覆盖可以改善土壤结构性能, 增加土壤有机碳含量, 从而提高水分入渗能力。通径分析进一步发现, 免耕覆盖对土壤渗透性能的改善作用是通过增加土壤非毛管孔隙度和有机碳含量来实现, 而有机碳的作用也是通过土壤非毛管孔隙度间接达到的。

关键词: 保护性耕作; 黄土高原; 土壤结构; 渗透性能; 有机碳

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2007)06-0005-04

中图分类号: S152.72

Effects of Different Tillage Measures on Infiltration Characteristics in the Semi-arid Area of the West Loess Plateau

HUANG Gao-bao¹, LUO Zhu-zhu¹, XIN-Pin², ZHANG Guo-Sheng³

(1. Faculty of Agronomy, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China;
2. General station Forestry Sci-Tech Extension of Gansu Province, Lanzhou, Gansu 730046, China;
3. Faculty of Resources and Environment, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: A study of conservation tillage was conducted in the semi-arid area of the west Loess Plateau, Gansu Province, to determine the effects of different tillage measures on soil water infiltration. Results show that no-tillage with straw cover (NTS) can improve soil structure property, soil organic carbon content, and soil water infiltration. Path coefficient analysis indicates an improvement of soil water infiltration due to the increase in soil macro-porosity and total organic carbon content. The contribution of total organic carbon to soil water infiltration is also essential to soil macro-porosity.

Keywords: conservation tillage; Loess Plateau; soil structure property; infiltration; soil organic carbon

渗透性能是土壤极为重要的物理特征参数之一^[1], 渗透性能的好坏, 直接关系到地表产生径流量大小, 对土壤侵蚀影响很大。土壤渗透性能越好, 地表径流就会越少, 土壤的流失量也会相应减少。

入渗特性作为土壤的固有属性, 它决定着灌溉水和降水转换为土壤水的速度和分布。影响大田土壤水分入渗特性的主要因素有: 土壤质地、土壤结构和土壤含水量。但在给定地区土壤质地一定, 因而土壤结构就成为影响土壤入渗能力和入渗参数的主导因素^[2]。田积莹、蒋定生等人研究认为^[3-4], 土壤入渗能力的大小主要取决于土壤机械组成、水稳性团粒含量、土壤容重。土壤质地愈粗, 透水性愈强, 土壤稳渗速率随着大于 0.25 mm 的水稳性团粒含量的增加

而增加。容重减小, 其入渗速率增大; 容重增大, 土壤入渗率减小。大田土壤条件下, 土壤结构通过影响土壤的水力传导度和土壤水分运动驱动力——土水势梯度, 进而影响到土壤的入渗能力。也有研究认为土壤有机质是土壤结构形成和稳定的核心物质^[5], 它通过改善土壤结构、土壤胶体状况, 影响土壤动力学参数, 起到调控水分运动的作用。可见, 土地利用和土壤管理形式对土壤渗透性能产生影响, 其作用机制就是通过改善土壤结构来影响土壤水分入渗。

定西位于黄土高原中部, 地下、地表水资源俱缺, 农业生产用水主要依靠自然降水, 属典型的雨养农业地区, 而有限的降雨却不能有效地转化。土壤类型、降雨特征以及不适宜的农事操作共同导致了当地严

收稿日期: 2007-01-20

收稿日期: 2007-03-09

资助项目: 国家科技支撑计划项目(2006BAD15B06); 中澳合作 ACIAR 资助项目[SMCN(LWR2)/1999/094]; 甘肃省农牧厅资助项目(034046); 中国农村技术开发中心资助项目(0390993)

作者简介: 黄高宝(1965—), 男(汉族), 甘肃省天水市人, 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: Hanggb@gsau.edu.cn.

重的水土流失,致使土壤退化。因此,于 2001 年开始,我们结合 ACIAR 项目在陇中黄土高原半干旱区的定西县李家堡乡进行了保护性耕作的定位研究,旨在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^[6]。

1 材料与方 法

1.1 试区概况

试验设在陇中黄土高原半干旱丘陵沟壑区的定西县李家堡乡麻子川村。试区属中温带半干旱区,平均海拔 2 000 m,年均太阳辐射 592 KJ/cm²,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,贮水性能良好;0—200 cm 土壤容重平均为 1.17 g/cm³,凋萎含水率 7.3%,饱和含水率 21.9%。

1.2 试验设计

本试验为双序列轮作,即豌豆→小麦→豌豆序列(P→W→P)和小麦→豌豆→小麦序列(W→P→W)。各序列分别设 4 个处理,4 次重复,随机区组排列,小区面积 4 m×20 m(详见表 1)。

表 1 试验设计

代 码	处 理	耕作方法
T	传统耕作	作物收获后至冻结前 3 耕 2 耨。
TS	传统耕作+秸秆还田	耕作方式同 T,但结合第一次耕作将所有前作秸秆翻埋入土中。
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施肥和播种,收获后用 2,4-D 和草甘磷除草。
NTS	免耕+秸秆覆盖耕作	播种、除草方法同 NT,收获脱粒后将全部前作秸秆覆盖在原小区。

1.3 试验材料与方 法

供试作物为春小麦和豌豆。其中春小麦品种为定西 35,3 月中旬播种,播量 187.5 kg/hm²,行距 20 cm;豌豆为绿农 1 号,4 月上旬播种,播量 100 kg/hm²,行距 22.5 cm。

小麦各处理均施纯氮 105 kg/hm²,纯 P₂O₅ 105 kg/hm²(尿素+二铵);豌豆各处理均施纯氮 20 kg/hm²,纯 P₂O₅ 10⁵ kg/hm²(二铵+过磷酸钙),所有肥料都作为基肥在播种时同时施入。

1.4 试验测定项目与方 法

试验期间在作物播前和收获后分别对土壤表层 0—5 cm 的土壤物理性状进行测定。土壤容重采用环刀法;土壤孔隙度采用吸力盘法;土壤团粒结构采用湿筛法;土壤有机碳采用吸湿热法;土壤饱和和导水率采用圆盘渗透仪法。

2 结果与分析

2.1 保护性耕作对土壤结构的影响

由表 2 可知,这 2 种序列下 NTS 和 NT 处理土壤容重显著高于 T 和 TS 处理($P<0.05$),则表明 3 a 连续免耕的累积效应使土壤表层的沉实作用加强,

因而土壤容重增大^[7]。总孔度以 NTS 处理最低,这说明免耕增大了土壤容重,同时也就降低了总孔度。非毛管孔隙表现为:W→P→W 序列 NTS 处理显著高于其它处理($P<0.05$),P→W→P 序列 NTS 处理显著高于 TS 处理($P<0.05$)。就大团聚体而言,这 2 种序列下 NTS 处理显著高于 T 和 TS 处理($P<0.05$),这说明免耕已经对表层土壤的结构起到明显的改善作用。免耕由于避免了机械对土壤的扰动而维持了团聚体数量和结构上的稳定性,而免耕的基础上再进行秸秆还田则进一步加强了这种改善作用。因为秸秆还田明显增加了土壤有机质含量,它作为重要的胶结物质在团聚体形成过程中具有不可替代的作用,且特别有利于大粒径团聚体的形成与稳定,这与前人的研究结果一致^[8],而这也是 NTS 处理土壤非毛管孔隙较高的原因。因为有研究表明土壤有机质含量的增加有利于土壤团粒结构形成,而团粒结构的形成将增加土壤非毛管孔隙的比重^[9]。

2.2 保护性耕作对土壤有机碳的影响

土壤有机质是陆地碳储量的主要库,在保持土壤质量方面有重要的作用,是影响土壤其它功能的一个关键因子。

表2 0—5 cm 土层土壤结构

处理	W→P→W				P→W→P			
	容重/ (g·cm ⁻³)	总孔隙度/ %	非毛管孔隙度/ %	团聚体/ %	容重/ (g·cm ⁻³)	总孔隙度/ %	非毛管孔隙度/ %	团聚体/ %
T	1.207b	57.994a	21.399b	7.412c	1.177b	59.684ab	20.737ab	7.600b
NT	1.330a	58.295a	21.992b	9.493ab	1.305a	59.088ab	21.384ab	10.027a
TS	1.102c	58.732a	20.282b	9.098b	1.135b	61.680 a	20.256b	8.085b
NTS	1.303a	55.832a	24.031a	10.577a	1.305a	56.212 b	23.440a	9.933a

注:小写字母代表统计检验 5%水平差异。

表3 统计分析表明,这2种序列 NTS 处理土壤有机碳显著高于 T 和 NT 处理($P<0.05$)。这说明作物秸秆的添加是导致理土壤有机碳含量增加的主要原因。据报道,每 1 hm² 覆盖 4500 kg 的秸秆,相当于 2 g/kg 有机质^[10-11]。另外,W→P→W 序列 NTS 处理的总有机碳含量显著高于 TS 处理的($P<0.05$),表明作物秸秆残留在地表比通过耕作埋入土壤更有利于有机质的积累^[12]。免耕相比于传统耕作,由于其土壤管理方式的改变,使得土壤有机质达到了一个新的,更高一级的平衡状态^[13]。究其原因即为免耕避免了对土壤的扰动,因而降低了土壤有机碳的矿化作用;而且长期免耕不扰动土壤,使得植物残体以及连年施入的有机肥主要积累在表土层中,结果造成有机质与营养元素的表层富集^[14]。

表2 0—5 cm 土壤有机碳含量 g/kg

处理	W→P→W	P→W→P
T	8.182c	8.395b
NT	8.528bc	8.497b
TS	8.658b	8.755ab
NTS	9.227a	9.353a

注:小写字母代表统计检验 5%水平差异。

2.3 保护性耕作对土壤渗透性能的影响

土壤入渗能力的定量表示常常借助于土壤入渗速率:即最初入渗速率、最后入渗速率以及入渗开始后经单位时间的入渗速率。最初入渗速率在物理学上不很确切,而且最后都降低到相同最后入渗速率(与土壤的饱和导水率相等或接近)。而入渗开始后经单位时间的入渗速率很大程度上取决于最初土壤的干湿程度,因而它也只有参考意义。因此,一般都用土壤的饱和导水率作为综合指标来定量描述土壤的渗透能力。土壤的饱和导水率是单位水力势梯度下水的通量密度或渗透流速,它反映土壤的入渗和渗漏性质^[15]。土壤的饱和导水率、土壤质地、结构、松散度、有机质含量、土壤裂缝、表土结壳等关系密切。

表4 统计分析表明,两种序列下 NTS 处理土壤饱和导水率与 NT, T 以及 TS 处理差异均达显著水平($P<0.05$)。该结果表明,免耕覆盖可以显著提高土壤饱和导水率,增加土壤水分入渗,这与国内外的其它研究结果一致^[16]。

由此可见, T 和 NT 处理由于土壤表层遭受雨滴的直接冲击,土壤团粒结构破坏严重,导致其渗透性能的降低;TS 处理经受长期扰动,使土壤表层大孔隙塌陷,连续性降低,而且破碎的土壤黏粒形成一层结构细密的结壳,影响水分的入渗。相对而言,NTS 处理表土覆盖一层秸秆可避免降雨的直接冲击,减缓径流的产生,促使降水就地入渗;而且覆盖的秸秆提高了土壤表层有机质含量,从而使得土壤动物和微生物的活动频繁,因而形成良好孔隙的同时也增强了孔隙的稳定性,它们的共同作用使得土壤的饱和导水率提高。

表4 0—5 cm 土壤饱和导水率 mm/h

处理	W→P→W	P→W→P
T	35.70c	47.52c
NT	58.21b	65.37b
TS	50.76bc	50.01c
NTS	116.20a	103.70a

注:小写字母代表统计检验 5%水平差异。

2.4 土壤渗透性与土壤结构及有机碳的关系

2.4.1 相关分析 表5 相关分析结果表明,除容重以外,其它各指标和饱和导水率间的相关系数均达显著或极显著水平,而且各变量间存在着错综复杂的关系。因此,只有通过偏相关分析,才能找到联系最为密切的真实变数。

表5 偏相关分析结果表明,土壤饱和导水率与非毛管孔隙度的偏相关系数为 0.736 4,呈显著正相关,而其它性状间无显著偏相关关系。可见,土壤的非毛管孔隙度为影响土壤饱和导水率的主要因素。土壤非毛管孔隙度越高,土壤饱和导水率越大,反之亦然。

表 5 土壤结构性能和渗透性能间的简单相关和偏相关系数

性状	总孔隙度(X_2)	非毛管孔隙度(X_3)	团粒结构(X_4)	有机 C(X_5)	饱和导水率(Y)
容重(X_1)	0.310 8 (-0.691 2)	-0.470 0 (-0.561 5)	-0.483 6 (0.690 7)	-0.749 6* (-0.615 4)	-0.609 9 (0.315 6)
总孔隙度(X_2)		-0.878 1** (-0.830 1)	-0.588 6 (0.728 2)	-0.690 4 (-0.721 9)	-0.785 7* (0.403 4)
非毛管孔隙度(X_3)			0.785 7* (0.696 2)	0.775 7* (-0.735 5)	0.919 8** (0.736 4*)
团粒结构(X_4)				0.848 9** (0.804 4)	0.830 5* (-0.335 0)
有机碳(X_5)					0.902 8** (0.653 6)

注: * 代表统计检验 5% 水平差异, ** 代表统计检验 1% 水平差异。

2.4.2 回归分析 相关分析可以对变量间相关关系给以定量的描述,但不能指出两变量间相关的具体形式,也无法从一个变量的变化来推测另一个变量的变化情况。而该研究为了使饱和导水率与环境因子或物理性质的关系明确化、具体化,建立一个较为准确的预报公式是很有必要的。因此,采用回归分析对变量之间数量变化的一般关系进行测定,确立了一个相应的数学表达式,表明变量数量关系的具体形式。

选择的变量如下: Y ——饱和导水率(mm/h); X_1 ——容重(g/cm); X_2 ——总孔隙度(%); X_3 ——非毛管孔隙度(%); X_4 ——土壤团聚体(%); X_5 ——有机 C(g/kg)。

得回归方程:

$$Y = 1.332X_3 + 0.056X_5 - 0.747$$

$$(R = 0.936, R^2 = 0.967)$$

该多元逐步回归分析结果表明,土壤非毛管孔隙度和有机 C 对土壤饱和导水率的偏回归系数显著,而其它各指标与饱和导水率之间的偏回归系数不显著。即对土壤饱和导水率起主要影响作用的是土壤非毛管孔隙度和有机 C 含量,其它各因素的影响并不显著。

2.4.3 通径分析 通径分析是继回归分析之后发展起来的一种统计方法,它比回归分析更有效地确定自变量与因变量的回归关系。通过通径分析,我们很容易找出自变量对因变量影响的直接效应和间接效应,从而了解其中相关原因和效应大小。通径分析的变量选择同上。

表 6 结果表明,土壤非毛管孔隙度(X_3)每增加 1 个单位,可直接使土壤饱和导水率(Y)增加 0.560 20 个标准单位;有机质(X_5)每增加一个单位,可直接使土壤饱和导水率(Y)增加 0.434 13 个标准单位,二者对 Y 的总决定度为 89.62%。但由于土壤非毛管孔隙度(X_3)和有机质(X_5)有正相关关系,土壤非毛管孔隙度(X_3)每增加一个单位可使有机质(X_5)增加,从而

间接使得土壤饱和导水率(Y)增加 0.443 86 个标准单位;而有机质(X_5)每增加一个单位可使土壤非毛管孔隙度(X_3)增加,从而间接使得土壤饱和导水率(Y)增加 0.343 97 个标准单位。 $P_{3 \rightarrow Y} > P_{5 \rightarrow 3 \rightarrow Y} > P_{5 \rightarrow Y} > P_{3 \rightarrow 5 \rightarrow Y}$,说明对提高土壤饱和导水率起主要作用的是土壤非毛管孔隙度,有机质的作用也是通过增加土壤非毛管孔隙度间接实现的($P_{5 \rightarrow 3 \rightarrow Y} > P_{5 \rightarrow Y}$)。

表 6 通径系数

因子	$\rightarrow Y$	$\rightarrow X_3 \rightarrow Y$	$\rightarrow X_5 \rightarrow Y$
X_3	0.560 20	—	0.343 97
X_5	0.434 13	0.443 86	—

注: 决定系数: $R_R = 0.896 22$; 剩余通径系数: $P_r = 0.322 14$ 。

剩余通径系数 $P_r = 0.322 14$,说明除土壤非毛管孔隙度和有机质以外,还存在对土壤饱和导水率起作用的其它因素,诸如容重、团聚体、总孔隙度等。但 $P_{3 \rightarrow Y} = 0.560 20 > P_r = 0.322 14$ 且 $P_{5 \rightarrow Y} = 0.434 13 > P_r = 0.322 14$,从而可以充分说明这些因素的影响是次要的。

3 结论

(1) 免耕覆盖对改善土壤结构具有显著作用,突出表现是增加土壤水稳性团聚体和有机碳含量,改善土壤孔隙状况;同时,免耕覆盖可以显著提高土壤饱和导水率,增加土壤水分入渗。

(2) 多元逐步回归建立最优回归方程: $Y = 1.332X_3 + 0.056X_5 - 0.747$ ($R^2 = 0.967$),表明影响土壤饱和导水率的主要因素是土壤非毛管孔隙度(X_3)和有机 C 含量(X_5),其它各因素的影响并不显著。

(3) 通径分析表明,免耕覆盖对土壤渗透性能的改善作用主要是通过提高非毛管孔隙度和有机 C 含量来实现的,而有机 C 的作用也是通过增加土壤非毛管孔隙度间接达到。

(下转第 66 页)

- 效率和不同时期土壤水分比较[J]. 生态学报, 2004, 24(8): 1816—1819.
- [2] 黄占斌, 辛小贵, 宁荣昌, 等. 保水剂在农业生产中的应用与发展趋势[J]. 干旱地区农业研究, 2003, 21(3): 11—14.
- [3] 蔡典雄, 王小彬, Keith Sax ton. 土壤保水剂对土壤持水特性及作物出苗的影响[J]. 土壤肥料, 1999, 1: 13—16.
- [4] Ben-Hur M, Faris J, Malik M, et al. Polymers as soil conditioners under consecutive irrigation and rainfall[J]. Soil Science, 1989, 53:1173—1177.
- [5] 俞满源, 黄占斌, 方锋, 等. 保水剂、氮肥及其交互作用对马铃薯生长和产量的效应[J]. 干旱地区农业研究, 2003, 21(3): 15—19.
- [6] 黄占斌, 张国祯, 李秧秧, 等. 保水剂特性测定及其在农业上的应用[J]. 农业工程学报, 2002, 18(1): 22—26.
- [7] 汪立刚, 武继承, 王林娟. 保水剂有效使用的土壤水分条件及对小麦的增产效果[J]. 土壤, 2003(1): 80—82.
- [8] 刘春生, 杨吉华, 马玉增, 等. 抗旱保水剂在果园中的应用效应研究[J]. 水土保持学报, 2003, 17(6): 134—136.
- [9] 李云开, 杨培岭, 刘洪禄. 保水剂农业应用及其效应研究进展[J]. 农业工程学报, 2002, 18(2): 182—186.
- [10] 孙进, 徐阳春, 沈其荣, 等. 施用保水剂和稻草覆盖对作物和土壤的效应[J]. 应用生态学报, 2001, 12(5): 731—734.
- [11] 林文杰, 马焕成, 周蛟. 干旱胁迫下不同保水剂处理的水分动态研究[J]. 水土保持研究, 2004, 11(2): 121—124.
- [12] 杨红善, 刘瑞凤, 张俊平, 等. PAAM-atta 复合保水剂对土壤持水性及其物理性能的影响[J]. 水土保持学报, 2005, 19(3): 38—41.
- [13] 邱莉萍, 刘军, 王益权, 等. 长期施肥土壤中酶活性的剖面分布及其动力学特征研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(6): 737—741.
- [14] 杨晓晖, 张朝荣, 李国旗, 等. 2 种保水剂对北京南口风沙区侧柏成活及生长的影响[J]. 林业科学研究, 2006, 19(2): 235—240.
- [15] 崔英德, 郭建维, 阎文峰, 等. SA—IP—SPS 型保水剂及其对土壤物理性能的影响[J]. 农业工程学报, 2003, 19(1): 28—31.

(上接第 8 页)

[参 考 文 献]

- [1] 李香兰. 黄土高原不同林型对土壤物理性质的影响[J]. 林业科学, 1992, 28(2): 98—105.
- [2] 解文艳, 樊贵盛. 土壤结构对土壤入渗能力的影响[J]. 太原理工大学学报, 2004, 35(4): 381—384.
- [3] 田积莹. 黄土地区土壤的物理性质与黄土成因的关系[J]. 中国科学院西北水保所集刊, 1987(5): 1—12.
- [4] 蒋定生, 黄国俊, 谢永生. 黄土高原土壤入渗能力野外测试[J]. 水土保持通报, 1984, 4(4): 7—9.
- [5] 李成华, 马成林. 有机物覆盖地面对土壤物理因素影响的研究 II 有机物覆盖对土壤孔隙度的影响[J]. Transaction of CSAE. 1997, 13(2): 82—85.
- [6] Huang Gaobao, Zhang Renzhi, Zhang Guosheng, et al. Conservation tillage effects on spring wheat and field pea in the western loess plateau, China [C]. Soil management for sustainability. International Soil Tillage Research Organization Conference, 2003: 560—565.
- [7] 罗珠珠, 黄高宝, 张国盛. 保护性耕作对黄土高原旱地表土容重和水分入渗的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(4): 7—12.
- [8] 韩战省. 澳大利亚的保护性农业[J]. 山西农机, 1998, 16(3): 40—41.
- [9] 许中旗, 李文华, 郑均宝, 等. 太行山区不同土地利用方式保水防蚀能力研究[J]. 水土保持学报, 2004, 18(4): 101—104.
- [10] 罗永蕃. 我国少耕与免耕技术推广应用情况与发展前景[J]. 耕作与栽培, 1991, 10(2): 1—7.
- [11] 高克昌. 旱地玉米整秸覆盖免耕试验[J]. 山西农业科学, 1992, 31(12): 4—6.
- [12] Ismail I, Blevins R L, Frye W W. Long-term no-tillage effects on soil properties and continuous corn yields [J]. Soil Sci. Soc. Am. J. 1994, 58: 193—198.
- [13] 张志国, 徐琪. 长期秸秆覆盖免耕对土壤某些理化性质及玉米产量的影响[J]. 土壤学报, 1998, 35(3): 384—391.
- [14] 徐阳春, 沈其荣. 水旱轮作下免耕和施用有机肥对土壤某些肥力性状的影响[J]. 应用生态学报, 2000, 11(4): 549—552.
- [15] 陈效民, 潘根兴, 王德建, 等. 太湖地区农田生态环境中土壤饱和导水率研究[J]. 水土保持通报, 2000, 20(5): 11—13.
- [16] 刘贤, 康绍忠. 降雨入渗和产流问题研究的若干进展及评述[J]. 水土保持通报, 1999, 19(2): 57—65.