

# 耕作措施对农田黑土入渗速率的影响

于同艳<sup>1,2</sup>, 张兴义<sup>1</sup>, 张少良<sup>1,2</sup>, 陈学文<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院 东北地理与农业生态研究所, 黑龙江 哈尔滨 150081; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100049)

**摘要:** 应用田间长期定位试验, 研究了 5 种耕作措施对东北农田黑土入渗速率的影响。结果表明, 传统耕作为代表的平翻和旋松耕作的垄台容重最小, 表层土壤稳定入渗速率高于其它 3 种耕作措施, 分别为 9.20 mm/min 和 7.31 mm/min。免耕垄台和垄沟的容重虽较高, 但均具有较高的稳定入渗速率。在夏季进行垄沟深松少耕, 可显著提高垄沟的稳定入渗速率。免耕和少耕是高效的水土保持耕作措施。

**关键词:** 黑土; 耕作措施; 容重; 稳定入渗速率

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2007)05-0071-04

中图分类号: S152.72

## Effect of Different Tillage Systems on Infiltration of Black Farmland

YU Tong-yan<sup>1,2</sup>, ZHANG Xing-yi<sup>1</sup>, ZHANG Shao-liang<sup>1,2</sup>, CHEN Xue-wen<sup>1,2</sup>

(1. *Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Harbin, Heilongjiang 150081, China*; 2. *Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*)

**Abstract:** This study determined infiltration into soils on black farmland under different tillage systems by long-term experiment. The moldboard plough and rotary tillage being representative of conventional tillage systems induced a lowest bulk density in ridge. Surface stable infiltration rates under moldboard plough and rotary tillage were 9.20 and 7.31 mm/min, respectively, which were higher than the others. Although no-tillage induced a higher bulk density in ridge and furrow, it had a relatively high stable infiltration rate. Reduced tillage could significantly increase stable infiltration rate in furrow because it loosed the furrow in summer. These indicate that no-tillage and reduced tillage are effective tillage systems of soil and water conservation.

**Keywords:** black soil; tillage systems; bulk density; stable infiltration rate

水是农业生产的主要限制因子之一<sup>[1]</sup>。土壤耕作是调控农田土壤水分的最重要措施之一, 保护性耕作的研究和应用已经证明其对土壤物理、化学和生物性状的长期效应是有益的<sup>[2]</sup>, 能优化土壤水分动态变化过程<sup>[3]</sup>。

近年来, 我国对保护性耕作进行了大范围示范和推广<sup>[4]</sup>。多数研究表明免耕的土壤容重低于传统耕作的土壤容重<sup>[5]</sup>, 指出免耕的稳定入渗速率高于翻耕土壤的稳定入渗速率<sup>[6-7]</sup>; 也有学者认为免耕增加了土壤容重<sup>[8]</sup>, 降低了稳定入渗速率<sup>[9]</sup>。由此可见比较不同耕作方式的试验结果有时是相反的, 这主要与供试土壤类型、气候条件、作物轮作方式和试验年限长短等因素有关。

东北黑土具有质地黏重, 渗透能力较弱, 易产生地表径流的特性, 笔者针对黑土区保护性耕作调控土

壤水分功效方面研究较少的现状, 开展了东北典型黑土区不同耕作措施对土壤容重和稳定入渗速率的影响田间试验, 旨在揭示耕作措施对土壤入渗速率的作用, 确定保护性耕作的水分作用效应, 研究结果对于黑土农田科学管理具有理论指导意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验区设在中国科学院海伦农业生态实验站, 位于北纬 47°26', 东经 126°38', 海拔高度为 240 m。气候属北温带大陆性季风气候, 冬季寒冷干燥, 夏季高温多雨, 雨热同季。年均降水量 530 mm, 为雨养农业区。其土壤类型为中厚黑土, 质地黏重, 渗透能力弱, 毛管水运移速率较慢, 土壤持水能力和保水能力较强。

收稿日期: 2006-12-31 修回日期: 2007-05-16

资助项目: 国家重点基础研究发展计划资助(2007CB407203)

作者简介: 于同艳(1980—), 女(汉族), 黑龙江省嫩江市人, 硕士研究生, 主要从事土壤保护性耕作研究。E-mail: yutongyan123@163.com。

通讯作者: 张兴义(1966—), 男(汉族), 黑龙江省密山市人, 研究员, 主要从事黑土生态研究。E-mail: cyzhang1966@yahoo.com.cn。

## 1.2 试验设计

本试验为长期定位试验,始于 2003 年 10 月。试验设 5 种耕作措施,3 次重复,随机区组排列。大豆和玉米轮作,2006 年种植大豆。小区规格 40.0 m×8.4 m。(1) 平翻耕作。在秋季收获以后翻地起垄;(2) 少耕耕作。夏季垄沟深松,收获以后留茬越冬;(3) 免耕耕作。免耕播种,不进行任何耕翻,秋收后秸秆粉碎覆盖;(4) 组合耕作。玉米夏季垄沟深松,秋季收获后旋松起垄,大豆原垄越冬,春耙茬直播;(5) 旋松耕作。秋收后旋松起垄,其它管理措施相同。

## 1.3 测定项目及方法

1.3.1 容重 用环刀法。2006 年对垄台和垄沟的 0~5 cm, 10~15 cm 的容重进行了测定。

1.3.2 稳定入渗速率 用双环定水头法。双环的内径和外径分别为 20 和 40 cm。2006 年 8 月测定垄台和垄沟表层土壤的入渗速率。垄宽 70 cm, 垄沟宽 20 cm, 铲除部分垄台表土,使原状土宽度超过 20 cm,以

垄台为中心,安装双环,测定垄台入渗速率;将欲测垄沟两侧垄台土铲成与垄沟相同平面,直径大于 40 cm,以原状垄沟为中心安置双环,测定垄沟渗透速率。定水头由马氏瓶控制,秒表计时。前 5 min 为每隔 1 min 记录入渗水量,5 min 后为每隔 5 min 记录入渗水量。实验用水温度与土壤表层温度相同。

1.3.3 土壤总孔隙度 由公式:总孔隙度=(1-容重/密度)×100%计算得到。试验数据用 SAS 分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 耕作措施对土壤容重的影响

(1) 播种期免耕垄台和垄沟 0—5 cm, 10—15 cm 处,均表现出容重最高,是由于免耕未对土壤进行扰动;平翻和旋松垄台 0—5 cm 处,容重相近,低于其它 3 种处理,是由于前一年秋天平翻和旋松均使垄台表层变得疏松;少耕垄沟 0—5 cm 处,容重最低,是前一年夏季对垄沟进行了深松所致(表 1)。

表 1 不同耕作措施下土壤容重

			g/cm <sup>3</sup>				
深度/cm	位置	耕作措施	播种期 (5月1日)	开花期 (6月21日)	结荚期 (7月25日)	鼓粒期 (8月15日)	收获期 (10月8日)
0—5	垄台	平翻	0.99±0.11	1.03±0.05	1.01±0.07	1.03±0.01	0.99±0.06
		少耕	1.03±0.05	1.04±0.08	1.00±0.03	1.07±0.07	0.95±0.02
		免耕	1.16±0.09	1.09±0.03	1.02±0.08	1.06±0.07	1.00±0.09
		组合	1.03±0.08	1.04±0.05	1.04±0.03	1.06±0.10	0.88±0.03
		旋松	1.00±0.10	1.06±0.08	1.03±0.01	1.04±0.02	0.94±0.09
	垄沟	平翻	1.02±0.08	1.18±0.09	1.13±0.03	1.25±0.03	1.16±0.10
		少耕	0.98±0.04	1.12±0.06	1.11±0.02	1.23±0.02	1.18±0.04
		免耕	1.14±0.15	1.27±0.05	1.16±0.05	1.28±0.03	1.17±0.06
		组合	1.09±0.16	1.08±0.08	1.14±0.02	1.28±0.06	1.13±0.07
		旋松	1.01±0.02	1.16±0.04	1.21±0.09	1.26±0.04	1.12±0.03
5—10	垄台	平翻	1.12±0.04	1.18±0.04	1.08±0.08	1.15±0.03	1.14±0.03
		少耕	1.13±0.10	1.21±0.08	1.15±0.05	1.21±0.02	1.12±0.09
		免耕	1.18±0.06	1.27±0.03	1.20±0.06	1.16±0.04	1.13±0.05
		组合	1.16±0.05	1.19±0.05	1.11±0.09	1.14±0.15	1.05±0.09
		旋松	1.11±0.12	1.18±0.10	1.10±0.03	1.15±0.04	1.02±0.12
	垄沟	平翻	1.21±0.05	1.20±0.17	1.16±0.10	1.26±0.06	1.21±0.02
		少耕	1.19±0.17	1.22±0.12	1.14±0.07	1.27±0.02	1.22±0.14
		免耕	1.30±0.06	1.38±0.04	1.25±0.11	1.29±0.08	1.23±0.06
		组合	1.20±0.07	1.23±0.03	1.20±0.04	1.32±0.03	1.22±0.01
		旋松	1.17±0.07	1.23±0.01	1.23±0.09	1.32±0.05	1.18±0.01

注:表中数据为平均值±标准差。

(2) 开花期免耕垄台和垄沟 0—5 cm, 10—15 cm 处, 土壤容重仍最高; 其它处理之间相差变小。这表明随着时间的延长, 平翻、旋松对土壤产生的影响逐渐消失, 土壤逐渐回实。

(3) 结荚期免耕和组合垄台 0—5 cm 处容重相差不大, 高于其它三种处理; 免耕垄台 10—15 cm 和垄沟 0—5 cm, 10—15 cm 处容重仍为最大。少耕垄沟 0—5 cm, 10—15 cm 处, 容重最小, 这是由于 7 月初少耕地进行了苗期垄沟深松处理。

(4) 鼓粒期少耕、免耕和组合垄台 0—5 cm 处容重相近, 高于其它两种处理; 免耕垄台 10—15 cm 处容重低于平翻和少耕。这表明随着土壤的不断回实, 平翻的容重增加较快。免耕土壤由于长时间较其它耕作土壤紧实, 使养分汇集在表层, 从而使作物根系集中在土体表层。在此阶段使垄台土壤具有相对较低的容重<sup>[10-11]</sup>。

(5) 收获期平翻、少耕和免耕垄台 0—5 cm, 10—15 cm 处容重相近, 高于其它两种处理; 垄沟处 5 个处理容重相差很小, 表明随着时间的延长, 大豆生育后期传统耕作和保护性耕作的容重相近<sup>[12]</sup>。

(6) 土壤容重随生育期的变化表现为从播种到雨季前, 垄台和垄沟 0—5 cm, 10—15 cm 处的容重, 5 个处理均呈现增加趋势。进入雨季, 无论垄台还是垄沟, 各处理的土壤容重均降低。这是由于降水增加了土壤含水量, 土壤发生膨胀, 致使容重降低。进入大豆鼓粒期, 作物耗水增加, 土壤含水量下降, 且土壤仍处于不断回实状态, 各处理容重又呈增加的趋势。大豆收获期容重呈现了减少趋势, 主要是由于作物根系生长所致。

总体而言, 土壤容重随时间延长呈现增加的趋势, 此外还受降雨和作物根系生长的影响。对 5 个时间段内的 0—5 cm 和 10—15 cm 的土壤容重进行方差分析, 结果表明, 无论是垄台还是垄沟, 各处理间均未达到显著性差异。这是由于本试验年限较短, 一些土壤性状未能表现显著性差异<sup>[7]</sup>。这说明连续 3 a 的耕作处理, 免耕和少耕的长期耕作功效还未能完全表现出来。

## 2.2 不同耕作措施对土壤稳定入渗速率的影响

入渗是指水分进入土壤形成土壤水的过程。它是降水、地面水、土壤水和地下水相互转化的一个重要环节<sup>[13]</sup>。稳定入渗是土壤持水性能的重要指标<sup>[14]</sup>。图 1 和图 2 分别为 8 月 25 日不同处理垄台和垄沟地表的入渗速率。

图 1 表明平翻垄台稳定入渗速率最高, 为 9.20 mm/min, 这与张海林等的研究结果一致<sup>[14]</sup>。旋松、

免耕、少耕和组合的稳定入渗速率依次递减, 分别为 7.31 mm/min, 4.75 mm/min, 2.29 mm/min 和 0.07 mm/min。平翻和旋松的入渗速率较大, 是由于两者均对土壤表层产生了较大的扰动, 对土壤疏松强度影响最大, 致使土壤总孔隙度最大(见图 3)。

免耕的入渗速率较大, 与作物秸秆还田有关。一方面秸秆分解后形成的腐殖质或非腐殖质与黏粒结合形成微团聚体, 使土壤变得疏松透水; 另一方面秸秆分解释放的养分为土壤动物和微生物提供食物, 这些生物活动易在土体内产生孔隙<sup>[15]</sup>。此外, 免耕具有较多的连续大孔隙, 这些大的连续孔隙在一定程度上补偿了免耕条件下减少的总孔隙<sup>[7]</sup>。而且免耕地表有未分解的秸秆, 这提高了地表的粗糙度, 起到了增加入渗的功效。少耕和组合方式由于较平翻和旋松减少了对垄台土壤的扰动, 因而具有较低的稳定入渗速率。

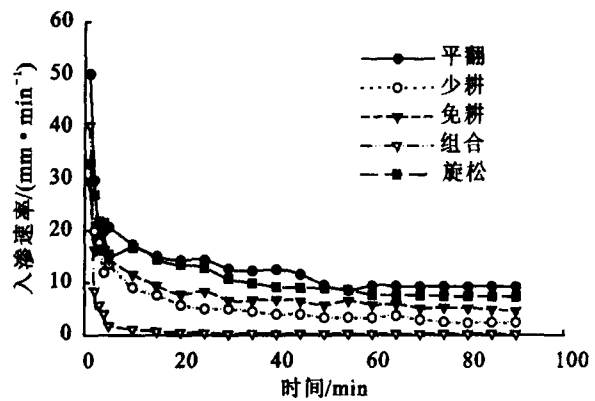


图 1 垄台地表的入渗速率

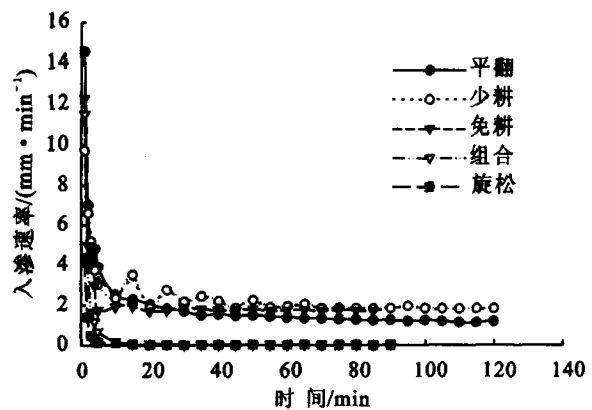


图 2 垄沟地表的入渗速率

图 2 表明少耕垄沟的稳定入渗速率最高, 为 1.84 mm/min, 是由于 7 月初进行了苗期垄沟深松, 增加了总孔隙度(见图 3)。免耕和平翻垄沟的稳定入渗速率分别为 1.73 mm/min 和 1.20 mm/min, 均低于少耕。免耕垄沟稳定入渗速率较高的原因与垄台稳定入渗速率较高的原因相同。组合和旋松的垄沟稳定入渗速率同为 0.01 mm/min, 远低于其它 3 种措

施,是由于组合和旋松不但未对垄沟土壤进行疏松作业,而且在进行播种和中耕作业时轮胎对垄沟进行了碾压,降低了土壤孔隙度(见图 3),进而降低了水分的入渗,这也证明了机械作业对垄沟进行了压实,导致地表积水,加剧水土流失。

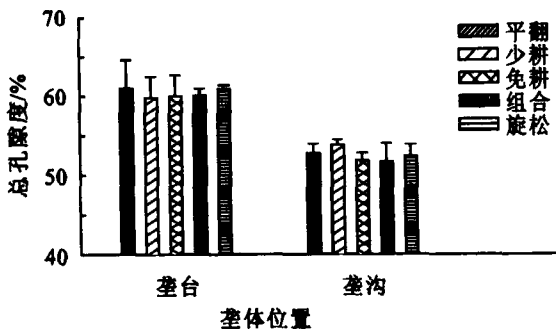


图 3 0—5 cm 垄台和垄沟总孔隙度

图 1 和图 2 中的曲线有突然变化的现象,这可能是因为水面压力使水向土壤下层入渗的过程中,致使土体内部结构发生局部坍塌,堵塞了部分土壤孔隙,减少了水量的下渗,尔后由于堵塞物在压力条件下被清除,使得水流再次通畅的缘故<sup>[16]</sup>。

### 3 结论

以上分析结果表明,由于耕作措施对土壤的扰动强度和作用时间不同,造成土壤容重、总孔隙度等性状的差异,进而影响不同耕作措施下土壤表面稳定入渗速率。

平翻、旋松和少耕均由于对土壤不同部位和深度进行了扰动,使得代表传统耕作的平翻和旋松的垄台容重较低;夏季少耕的垄沟容重较低;免耕垄台和垄沟的表层具有较高的容重,但在作物生长旺季垄台 0—5 cm 容重略有降低。

平翻和旋松耕作措施,由于创造了疏松的垄台结构,垄台土壤稳定入渗速率最大,但其导水率亦较高,降雨后较高的导水率使得蒸发强烈,保水效果差,不利于水分的存储和充分利用<sup>[12]</sup>。

免耕尽管未进行任何土壤耕作,但由于地表秸秆覆盖,具有较多的连续大孔隙,垄台和垄沟均表现为具有较高的土壤稳定入渗速率。

少耕和组合耕作措施由于垄台相对紧实,稳定入渗速率最低。由于少耕进行了苗期垄沟深松,显著地增加了垄沟土壤稳定入渗速率,可深蓄雨水,增加土壤含水量,同时较高的稳定入渗速率,可减少地表径流,这对防治占黑土区 1/3 坡耕地的水土流失具有十分重要的意义,因而免耕和少耕是高效的水土保持耕作措施。

### [参 考 文 献]

- [1] 孟凯,张兴义,随跃宇,等. 黑龙江海伦农田黑土水分特征[J]. 土壤通报,2003,34(1):11—14.
- [2] Hubbard R K, Hargrove W L, Lowrance R R., et al. Physical properties of a coastal plain soil as affected by tillage [J]. Soil Water Cons, 1994,49: 276—283.
- [3] 许迪, Schmid R, Mermound A. 耕作方式对土壤水动态变化及夏玉米产量的影响[J]. 农业工程学报, 1999, 15(3):101—106.
- [4] 张飞,赵明,张宾. 我国北方保护性耕作发展中的问题[J]. 中国农业科技导报, 2004,6(3):36—39.
- [5] Dao T H. Tillage system and crop residue effects on surface compaction of a Paleustill[J]. Agronomy Journal, 1996,88:141—148.
- [6] Azooz R H, Arshas M A, Franzluebbers A J. Pore size distribution and hydraulic conductivity affected by tillage in northwestern Canada [J]. Soil Sci. Soc. Am. J., 1996,60:1197—1201.
- [7] McGarry D, Bridge B J, Radford B J. Contrasting soil physical properties after zero and traditional tillage of an alluvial soil in the semi-arid subtropics[J]. Soil and Tillage Research, 2000, 53(2):105—115.
- [8] Paul W Unger. Soil bulk density, penetration resistance, and hydraulic conductivity under controlled traffic conditions[J]. Soil and Tillage Research, 1996,37(1): 67—75.
- [9] Ferreras L A, Costa J L, Garcia F O, et al. Effect of no-tillage on some soil physical properties of a structural degraded Petrocalcic Paleudoll of the southern "Pampa" of Argentina[J]. Soil and Tillage Research, 2000, 54 (1—2):31—39.
- [10] Logan T J, Lal R, Dick W A. Tillage systems and soil properties in North America [J]. Soil and Tillage Research, 1991, 20(2—4): 241—270.
- [11] Yin X H, Vyn T J. Soybean responses to potassium placement and tillage alternatives following no-till [J]. Agronomy Journal, 2002,94:1367—1374.
- [12] Ranjan Bhattacharya, Ved Prakash, Kundu S, et al. Effect of tillage and crop rotations on pore size distribution and soil hydraulic conductivity in sandy clay loam soil of the Indian Himalayas[J]. Soil and Tillage Research, 2006,86(2):129—140.
- [13] 赵西宁,吴发启. 土壤水分入渗的研究进展和评述[J]. 西北林学院学报,2004,19(1):42—45.
- [14] 张海林,秦耀东,朱文珊. 耕作措施对土壤物理性状的影响[J]. 土壤,2003,35(2):140—144.
- [15] 夏江宝,杨吉华,李红云. 不同外界条件下土壤入渗性能的研究[J]. 水土保持研究, 2004,11(2):115—117.
- [16] 蒙宽宏,姚余君,柴亚凡,等. 环境因子对土壤水分渗透特征的影响[J]. 防护林科技, 2006(3):25—27.