

# 不同耕作措施对旱地农田土壤物理特性的影响

刘爽, 何文清, 严昌荣, 刘勤

(中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所, 农业部旱作节水农业重点开放实验室, 北京 100081)

**摘要:**通过在山西寿阳地区设置的田间试验, 分析比较秸秆还田、免耕覆盖、浅旋耕和常规耕作等 4 种耕作措施不同时期土壤紧实度、容重、入渗速率、土壤含水量以及土壤温度的变化情况, 以了解各耕作措施对旱地农田土壤物理特性的影响程度。结果表明, 秸秆还田措施除引起旱地农田土壤入渗速率显著降低外, 其他物理特性与常规耕作基本一致; 免耕覆盖措施对旱地农田土壤物理特性的影响最大, 可导致 0~10 cm 表层土壤紧实度和容重显著增加, 土壤入渗速率在播前显著降低, 但随着生育期推进与其他处理间差异逐渐减小, 蓄水保墒效果显著, 同时会引起土壤温度显著降低, 播前较常规耕作平均降低 2.0℃; 浅旋耕措施则在改善表层土壤紧实度, 增加土壤入渗速率方面较秸秆还田和免耕覆盖措施要好, 土壤含水量显著高于其他处理, 较常规耕作措施平均能提高 10%, 但同时会引起 40~60 cm 土层土壤容重增加。

**关键词:** 土壤物理特性; 耕作措施; 旱地

**中图分类号:** S152.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2010)02-0065-06

随着我国农业水资源紧缺问题的日益严峻, 以提高土壤库容和增加土壤蓄水保墒能力为主要目的免耕覆盖、秸秆还田、浅旋耕等多种耕作措施得到了广泛运用<sup>[1-3]</sup>。针对不同耕作措施对旱地农业生产带来的影响, 许多学者主要从农田水分、作物产量等方面开展了非常深入的研究<sup>[4-8]</sup>。而在长期采用不同耕作措施后, 旱地农田土壤特性发生了一系列的改变, 对其开展相关研究将为揭示不同耕作技术的作用机理以及有效运用提供科学依据。

前人一些研究表明, 采用免耕覆盖、秸秆还田等耕作措施后使得表层土壤容重增大, 土壤紧实度增强, 进而导致土壤入渗速率降低<sup>[9-11]</sup>。也有试验结果表明这些耕作措施能改良土壤特性, 增强土壤入渗性能<sup>[12-16]</sup>。部分研究结果为大家所共识, 但也有部分研究结果存在一些差异甚至矛盾, 如免耕措施下表层土壤入渗速率显著降低, 而土壤含水量又得到提高等问题。此外, 针对作物不同生育时期旱地农田土壤物理特性的连续监测和比较分析还很少。为此, 本试验依托国家旱农试验基地自 2003 年 4 月开始的保护性耕作长期定位试验, 对长期采用不同耕作措施后土壤的紧实度、容重、入渗速率、含水量以及温度等物理特性进行了研究, 旨在为旱地农业耕作技术的有效运用提供科学依据。

## 1 资料与方法

### 1.1 试验地概况

试验地点位于山西省寿阳县宗艾镇, 地理位置为北纬 37°51', 东经 113°05', 海拔 1 130 m。属中纬度暖温带半湿润偏旱大陆性季风气候, 年平均温度 7.4℃, 年降雨量 474 mm, 年蒸发量 1 714 mm, 干燥度在 1.3~1.49 之间。土壤为褐土, 轻壤, 土层深厚, 耕层土壤有机质含量为 2.57 g/kg, 全 N 1.04 g/kg, 全 P 0.79 g/kg, 碱解氮 106.4 mg/kg, 有效磷 4.97 mg/kg, 有效钾 117.2 mg/kg, pH 为 8.4。

### 1.2 试验设计

试验共设 4 个处理, 分别为秸秆还田, 免耕覆盖, 浅旋耕和常规耕作, 具体见表 1。每个处理 3 次重复, 小区面积为 10 m × 6 m = 60 m<sup>2</sup>。一年一熟, 种植作物为春玉米, 品种为强盛 31 号。2008 年 4 月 25 日播种, 10 月 10 日收获。

### 1.3 测定指标和方法

**1.3.1 土壤紧实度测定** 采用美国生产的 6101FS 数字式土壤紧实度仪进行测定, 测定深度为 45 cm, 每 2.5 cm 记录 1 次, 每个小区 3 次重复。播前测定 1 次, 播种后每月测定 1 次, 直至作物收获。

收稿日期: 2009-08-31

基金项目: “十一五”国家 863 课题“山西半干旱区现代节水农业技术集成基地”(2006AA100220); 国家科技支撑计划课题“农田水分生产潜力及适度开发研究”(2006BAD29B01); Challenge Program on Water & Food “Conservation agriculture for the dry-land areas of the Yellow River Basin”; 国家基础性工作专项“中国农业气候资源数字化图集编制”项目

作者简介: 刘爽(1980—), 男, 湖北荆门人, 研究员, 主要从事旱作节水农业和农田生态环境研究。E-mail: lscat@ieda.org.cn。

通讯作者: 严昌荣, 研究员, 主要从事旱作节水农业研究。E-mail: yancr@ieda.org.cn。

表 1 试验处理描述

Table 1 Description of different treatments

代码 Code	处理 Treatment	具体措施 Description of treatments
ASRT	秸秆还田 All straw-returning tillage	秋季收获后,利用机械将全部秸秆直接翻耕到 0~20 cm 的土壤中,第二年春天机械浅耙镇压后人工播种。 All the previous corn straws were returned to field and deep plowed into top 20 cm soil layer by tractor. Harrowing and seeding in the next spring.
NTSM	免耕覆盖 No-till with straw mulching	秋季收获后,将全部秸秆直接覆盖在农田表面,第二年春天人工免耕播种。 All previous corn straws were put down and mulched in the field. Direct seeding and fertilizer application were performed by hand in the next spring.
SRT	浅旋耕 Shallow rotary treatment	秋季收获后,将全部秸秆直接覆盖在农田表面,第二年春天机械浅旋耕(5 cm)后人工进行播种。 All previous corn straws were put down and mulched in the field. The straws were rotary ploughed into 5 cm-layer in next spring.
CT	常规耕作 Conventional tillage	秋季收获后,将全部秸秆移出,然后在冬前进行机械深翻,深度为 20 cm 左右,第二年春天机械浅耙镇压后人工进行播种。 All previous corn straws were removed out for fodder. The soil was ploughed by tractor at the 20 cm depth. Seeding and fertilizer application were performed by hand in the next spring.

1.3.2 土壤容重测定 采用环刀法测定,测定深度分为 0~10 cm、10~20 cm、20~40 cm、40~60 cm,每个小区 3 次重复。共测定 4 次,播前 1 次,生育期间 2 次(拔节期、开花期),收获期测定 1 次。

1.3.3 土壤入渗速率测定 采用便携式渗透计进行测定,渗透计圆盘底面积为 15.5 cm<sup>2</sup>,每次测量吸力率均控制在 2 cm,记录时间间隔为 30 秒,总计 10 分钟,每个小区 3 次重复。播前测定 1 次,播种后每月测定 1 次,直至作物收获。

1.3.4 土壤含水量测定 采用梅花点取样,取样深度 200 cm(0~100 cm 为每 10 cm 取样 1 次,100~200 cm 为每 20 cm 取样 1 次),用烘干法测定土壤含水量,每个小区 3 次重复。在作物生育期间每 15 d 测定 1 次

1.3.5 土壤温度测定 每个小区 3 个点埋设热敏电阻温度探头,层次为 0~5 cm、5~10 cm、10~20 cm、20~40 cm、40~60 cm,出苗前每天测定,出苗后每隔 1 d 测定 1 次,到 6 月份每隔 3 d 测定 1 次,7 月

份每隔 7 d 测定 1 次,每次测定在早 8:00~10:00 和午后 15:00~17:00 进行。

## 2 结果分析

### 2.1 不同耕作措施对土壤紧实度的影响

土壤的紧实度是反映土壤物理性质的一个重要指标,土壤紧实度受到多种因素的影响,尤其是耕作措施。图 1 为 2008 年不同时期各耕作措施下土壤紧实度情况,测定结果显示连续采用不同耕作措施后,不同层次和不同时期土壤紧实度存在较大差异。在播前,0~15 cm 表层土壤紧实度以免耕覆盖处理最高,平均达 1 218.3 kPa,秸秆还田、浅旋耕和常规耕作措施分别仅为 63.4、91.9 和 46.8 kPa;随着土层深度增加,土壤紧实度逐渐增加,在 15~30 cm 土层,4 种处理紧实度均较表层土壤明显增高,处理间存在较大差异,其中浅旋耕处理最高,为 1 442.1 kPa;30~45 cm 深层土壤则是常规耕作最高,为 1 711.3 kPa。

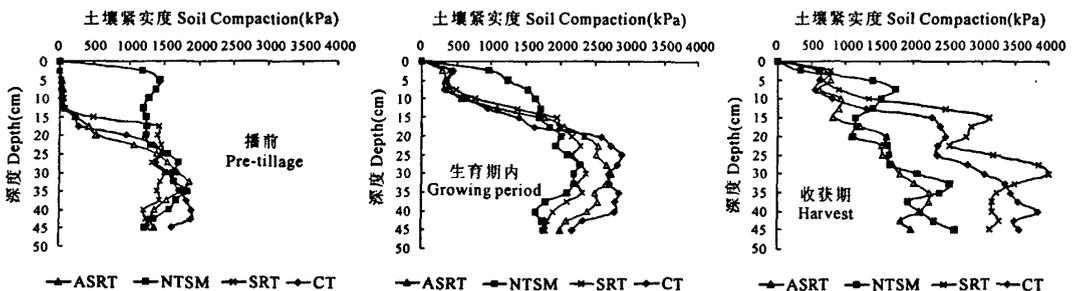


图 1 不同耕作措施对土壤紧实度的影响

Fig.1 The soil compaction in different tillage treatments

玉米生育期内,0~15 cm 表层土壤紧实度依次为免耕覆盖 > 浅旋耕 > 秸秆还田 > 常规耕作;15~

30 cm 和 30~45 cm 土层土壤紧实度大小均表现为常规耕作 > 秸秆还田 > 浅旋耕 > 免耕覆盖,可见免耕覆盖措施对土壤紧实度的影响主要表现在表层,对深层的土壤结构是具有一定的改善作用,常规耕作措施主要是表层土壤的疏松操作较多,故表层土壤紧实度较小,深层土壤紧实度由于压实而增高。

玉米收获时 0~15 cm 表层土壤紧实度仍以免耕覆盖处理最高,但处理间差异不显著;15~30 cm 和 30~45 cm 深层土壤紧实度表现为浅旋耕 > 常规耕作 > 免耕覆盖 > 秸秆还田。说明免耕覆盖处理对紧实度的影响主要集中在 0~15 cm 表层土壤,且各时期均表现为最高;15~30 cm 和 30~45 cm 深层土壤中则是浅旋耕和常规处理要高于其它处理。分析其原因,主要是由于浅旋耕和常规耕作方式由于机械的压实容易形成犁底层,导致下层土壤紧实度增加。

此外,通过计算各处理的层次变异性还发现,免耕覆盖处理在播前的层次间变异性显著小于其他处理,变异系数仅为 17%,而其他 3 种处理均达到了 70% 以上。生育期内各处理层次变异性逐渐减小,到收获期时 4 种处理的层次间变异性基本趋于一致,

均在 30%~40% 之间,说明各耕作措施土壤紧实度随着作物生育期推进层次差异性有逐渐减小的趋势。

## 2.2 不同耕作措施对土壤容重的影响

表 2 是 2008 年各耕作措施在不同时期的土壤容重分析结果。可以看出,播前 0~10 cm 表层土壤容重依次为免耕覆盖 > 浅旋耕 > 秸秆还田 > 常规耕作,与土壤紧实度表现相一致;玉米生育期内免耕覆盖措施下 0~40 cm 土层土壤容重均表现为最高。40~60 cm 土层则是浅旋耕处理表现为最高,为 1.35 g/cm<sup>3</sup>,说明机械旋耕对 40~60 cm 土层的影响较大,容易导致该层土壤被压实,容重显著增加;玉米收获期时处理间差异主要集中在 0~20 cm 表层土壤,免耕覆盖措施在 0~10 cm 表层中仍表现为最高。

从整体来看,耕作措施对土壤容重的影响主要集中在 0~10 cm 表层土壤,各时期免耕覆盖处理一直高于其它处理,除浅旋耕处理外,深层土壤各处理间无显著差异,收获期较生育期内各处理土壤容重有所降低。这与孙利军<sup>[14]</sup>等在黄土高原的研究以及 Sakine Ozpinar<sup>[15]</sup>等在土耳其的试验结果相一致。

表 2 不同耕作措施对土壤容重的影响(g/cm<sup>3</sup>)

Table 2 The soil bulk density in different tillage treatments

土壤深度(cm) Depth	播前 Pre-tillage				生育期内 Growing period				收获期 Harvest			
	ASRT	NTSM	SRT	CT	ASRT	NTSM	SRT	CT	ASRT	NTSM	SRT	CT
0~10	1.22a	1.33a	1.23a	1.19a	1.13b	1.33a	1.17b	1.13b	1.13ab	1.24a	1.18ab	1.07b
10~20	1.14a	1.27a	1.12a	1.23a	1.29a	1.32a	1.32a	1.26a	1.18bc	1.25ab	1.15c	1.32a
20~40	1.16a	1.24a	1.18a	1.30a	1.39ab	1.43a	1.35b	1.32b	1.28a	1.25a	1.29a	1.29a
40~60	1.30a	1.36a	1.34a	1.31a	1.28b	1.28b	1.35a	1.32ab	1.36a	1.30a	1.32a	1.27a
平均值 Average	1.21	1.30	1.22	1.26	1.27	1.34	1.30	1.26	1.24	1.26	1.23	1.24

注:同一行上的不同小写字母表示同一层次不同处理在 5% 水平上的显著差异(LSD),下同。

Note: Different letters in the same row mean significant difference at 5% level of probability (LSD), and they are the same as the following.

## 2.3 不同耕作措施对土壤入渗速率的影响

土壤入渗速率是描述土壤入渗快慢极为重要的土壤物理特征参数之一,其受表层土壤紧实度、容重的影响较大。表 3 为各时期不同耕作措施下土壤水分入渗速率情况,可以看出,播前 4 种耕作措施土壤入渗速率存在显著差异,依次为常规耕作 > 浅旋耕 = 秸秆还田 > 免耕覆盖,其中免耕覆盖措施土壤入渗速率为 0.0055 mm/s,仅为常规耕作的 1/3。结合对土壤紧实度和容重分析可以发现,播前免耕覆盖措施表层土壤紧实度和容重的增加,会导致表层土壤结皮,阻碍了水分的入渗,显著降低土壤入渗速率,而常规措施在播前对土壤表层的疏松,极大地增加了土壤入渗速率,但分析深层土壤紧实度和容重

发现,常规耕作措施尽管表层土壤入渗较好,但深层土壤紧实度较高,土壤蓄水性能并不高。

在降雨集中的玉米生长中后期(7、8、9 月份),土壤入渗速率的快慢直接影响到土壤的蓄水,进而会严重影响玉米的生长发育,因此玉米生育期内土壤入渗速率的表现十分关键。玉米生育期内 4 种处理间差异逐渐减小,免耕覆盖措施下土壤入渗速率提高到 0.0087 mm/s,与常规耕作间差异不显著,由此可见,在土壤接纳雨水的的关键时期,免耕覆盖措施对土壤入渗速率的影响较小。

玉米收获期时秸秆还田措施土壤水分入渗速率仅为 0.0043 mm/s,显著低于常规耕作,秸秆还田措施在增加土壤中有机的含量的同时也改变了土壤

的物理结构, 秸秆隔层阻碍了土壤重力水入渗, 降低了土壤重力水由土壤上层向下层入渗的速率; 免耕覆盖和浅旋耕也低于常规耕作, 但差异不显著。

表 3 不同耕作措施不同时期土壤入渗速率(mm/s)

Table 3 Effects of different tillage treatments on soil infiltration rate

处理 Treatment	播前 Pre-tillage	生育期内 Growing period		收获期 Harvest
	Apr. 24	July 12	Aug. 9	Sep. 12
ASRT	0.0103b	0.0103a	0.0070b	0.0043b
NTSM	0.0055c	0.0063a	0.0087ab	0.0050ab
SRT	0.0103b	0.0123a	0.0093ab	0.0070ab
CT	0.0170a	0.0130a	0.0103a	0.0103a

### 2.4 不同耕作措施下土壤的水分状况分析

图 2 为 2008 年各处理在不同时期的土壤含水量状况。可以看出, 一般播前表层土壤比下层干, 不同耕作措施对玉米播前土壤含水量的影响主要在 0 ~ 10 cm 土层, 免耕覆盖措施能明显提高表层土壤水分含量, 较常规措施平均提高 18%, 这为苗期玉米出苗提供了较好的水分保障。生育期内各时期土壤含水量差异很大, 但均表现为浅旋耕 > 免耕覆盖 > 秸秆还田 > 常规耕作, 浅旋耕措施较其他措施能够明显改善土壤紧实度, 增加土壤入渗速率, 因此能使土壤保持较高的含水量, 其较常规耕作措施平均能提高 10%。

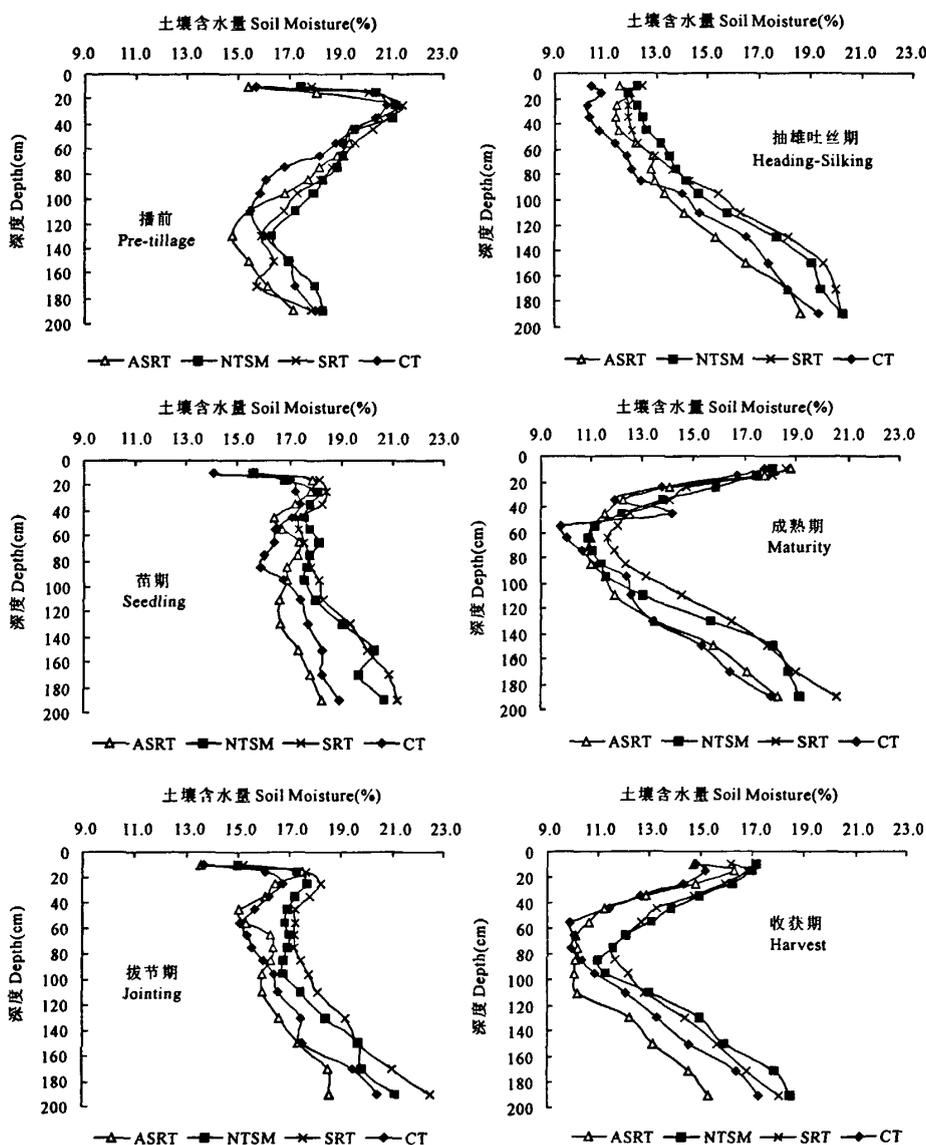


图 2 不同耕作措施下土壤含水量变化情况

Fig.2 The soil moisture in different tillage treatments

苗期和抽雄吐丝期 20~80 cm 土层各处理土壤水分下降最为明显,其中抽雄吐丝期各处理土壤含水量降低幅度达到 31%~38%,说明该时期为玉米需水的关键时期。成熟期至收获期时,各处理土壤水分开始逐步恢复,其中免耕覆盖和浅旋耕措施较其它处理表层土壤水分恢复的要快。80~200 cm 深层土壤含水量相对于上层变化较小,免耕覆盖和浅旋耕措施下深层土壤含水量高于其他两个处理。

2.5 不同耕作措施对土壤温度的影响

土壤温度直接影响着土壤中水、气的保持和运动,尤其是春季土壤温度直接影响着作物种子的出苗生长<sup>[17,18]</sup>。本试验对 2008 年整个生育期不同耕作措施下各层土壤温度进行了观测,从图 3 可见,播前不同耕作措施对土壤温度的影响主要集中在 0~

10 cm 表层土壤,免耕覆盖措施较常规耕作处理要显著偏低,平均低 2.0℃,引起这种现象的主要原因是免耕覆盖处理下地表秸秆覆盖和无土壤扰动,保持了土壤水分,增加了土壤的热容重,当春季气温回升时,免耕覆盖措施下土壤温度回升缓慢,将不利于玉米出苗;10~40 cm 土层免耕覆盖措施仍表现为最低,但处理间差异不显著。生育期内,各处理土壤温度随气温的回升逐渐增大,常规耕作增幅最为明显。收获期时各处理土壤温度逐渐降低,处理间差异也逐渐减小。总的来看,4 种处理各时期土壤温度均表现为常规耕作 > 秸秆还田 > 浅旋耕 > 免耕覆盖。耕作措施对土壤温度的主要影响表现在播前和生育前期的 0~10 cm 表层土壤,玉米生育中后期处理间土壤温度差异逐渐减小。

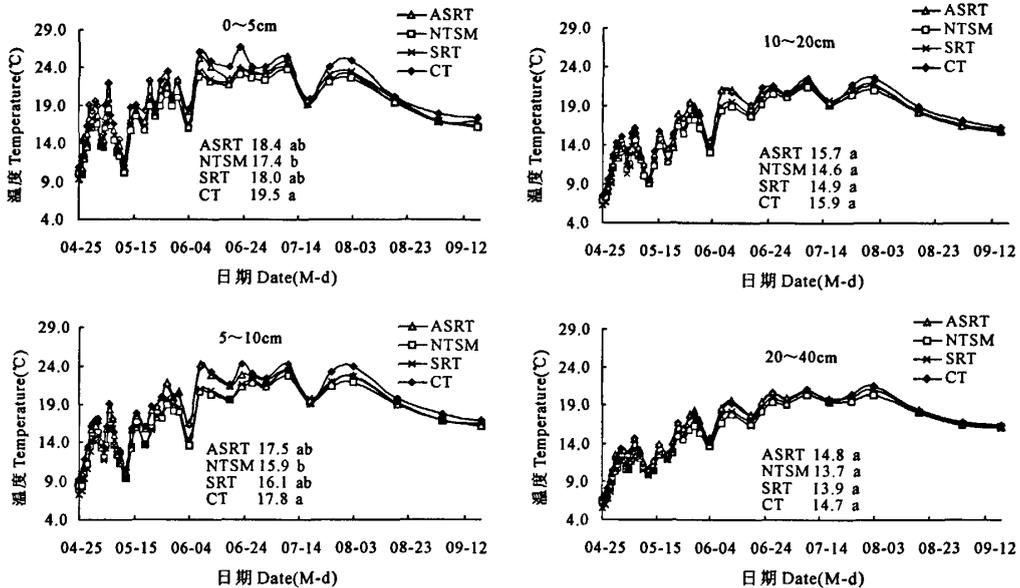


图 3 不同耕作措施下土壤温度变化  
Fig.3 The soil temperature in different tillage treatments

3 结论与讨论

1) 秸秆还田措施下旱地农田土壤物理特性与常规耕作相比较,除土壤入渗速率明显降低外,土壤紧实度、容重和土壤温度等物理特性与常规耕作较为一致,其土壤入渗速率的降低主要是因为秸秆隔层阻碍了土壤重力水入渗,降低了土壤重力水由土壤上层向下层入渗的速率,进而影响了土壤的蓄水保墒性能。

2) 免耕覆盖措施下旱地农田土壤物理特性较常规耕作相比变异性最大,其主要引起 0~10 cm 表层土壤紧实度和容重的显著增加,降低了土壤入渗

速率,但其影响主要表现在玉米生育前期,随着玉米生育期推进该影响明显减小,在降雨(7,8,9 月份)集中期与常规处理间并无显著差异,其蓄水能力较常规并未降低,反而其蒸发较常规措施要小,因此免耕覆盖措施能保持较高的土壤含水量。此外,免耕覆盖措施还引起土壤温度的显著降低,本试验中,播前免耕覆盖与常规措施相比,导致 0~10 cm 表层土壤平均降低 2.0℃,当春季气温回升时,土壤温度过低将会延迟玉米出苗。

3) 浅旋耕措施在改善表层土壤紧实度,增加土壤入渗速率方面较秸秆还田和免耕覆盖措施要好,使土壤一直维持较高的含水量,本试验中,浅旋耕措

施蓄水保墒效果为最佳,土壤含水量在整个生育期内较常规耕作措施平均能提高 10%。但浅旋耕措施同时会导致深层土壤紧实度和容重的显著增加,形成犁底层,多年浅旋耕措施后,应配合深松、深翻等措施打破犁底层。

#### 参 考 文 献:

- [1] 张海林,高旺盛,陈 卓,等.保护性耕作研究现状、发展趋势及对策[J].中国农业大学学报,2005,10(1):16—20.
- [2] 蔡典雄,王小彬,高绪科.关于持续性保持耕作体系的探讨[J].土壤学进展,1993,(1):2—8.
- [3] 蔡典雄,王小彬,张志田,等.寿阳旱农试区保护性耕作体系研究[J].干旱地区农业研究,1998,16(3):41—46.
- [4] 严昌荣,居 辉,彭世琪,等.中国北方旱农地区农田水分动态变化特征[J].农业工程学报,2002,18(3):11—14.
- [5] 刘 爽,武雪萍,吴会军,等.休闲期不同耕作方式对洛阳冬小麦农田土壤水分的影响[J].中国农业气象,2007,28(3):292—295.
- [6] Wang Xiao-Bin, Cai Dian-Xiong, W.B.Hoogmoed, et al. Potential Effect of Conservation Tillage on Sustainable Land Use: A Review of Global Long-Term Studies[J]. Pedosphere, 2006, 16(5): 587—595.
- [7] Wang Xiao-Bin, Cai Dian-Xiong, W.B.Hoogmoed, et al. Developments in Conservation Tillage in Rainfed Regions of North China[J]. Soil & Tillage Research, 2007, 93(2): 239—250.
- [8] 王小彬,蔡典雄.旱作农田保护性耕作—液膜—施肥综合技术研究[J].农业工程学报,2005,21(6):22—25.
- [9] 张国红,张振贤,黄延楠,等.土壤紧实程度对其某些相关理化性状和土壤酶活性的影响[J].土壤通报,2006,37(6):1094—1097.
- [10] 罗珠珠,黄高宝,张国盛.保护性耕作对黄土高原旱地土壤容重和水分入渗的影响[J].干旱地区农业研究,2005,23(4):7—11.
- [11] 贺明荣,王振林.土壤紧实度变化对小麦籽粒产量和品质的影响[J].西北植物学报,2004,24(4):649—654.
- [12] 辛 平,黄高宝,张国成,等.耕作方式对表层土壤饱和导水率及紧实度的影响[J].甘肃农业大学学报,2005,40(2):203—207.
- [13] 周 虎,吕贻忠,杨志臣,等.保护性耕作对华北平原土壤团聚体特征的影响[J].中国农业科学,2007,40(9):1973—1979.
- [14] 孙利军,张仁陟,黄高宝.保护性耕作对黄土高原旱地地表土壤理化性状的影响[J].干旱地区农业研究,2007,25(6):207—211.
- [15] Sakine Ozpinar, Anil Cay. Effect of different tillage systems on the quality and crop productivity of a clay-loam soil in semi-arid north-western Turkey[J]. Soil & Tillage Research, 2006, 88: 95—106.
- [16] 丁昆仑, M.J. Hann. 耕作措施对土壤特性及作物产量的影响[J].农业工程学报,2000,16(3):28—31.
- [17] 李玲玲,黄高宝,张仁陟,等.不同保护性耕作措施对旱作农田土壤水分的影响[J].生态学报,2005,25(9):2326—2332.
- [18] 马春梅,纪春武,唐远征,等.保护性耕作土壤肥力动态变化的研究—秸秆覆盖对土壤温度的影响[J].农机化研究,2006,4(4):137—139.

## Effects of different tillage managements on soil physical properties in dryland

LIU Shuang, HE Wen-qing, YAN Chang-rong, LIU Qin

(Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture CAAS,

Key Laboratory of Dryland Farming and Water-saving Agriculture MOA, Beijing 100081, China)

**Abstract:** In this study, the effects of conventional tillage and three conservation tillage managements on soil compaction, soil bulk density and the soil infiltration rate were investigated in different growth stages of maize in Shouyang Dryland Farming Experimental Station. The treatments included all-straw-returning tillage (ASRT), no-till with straw mulching (NTSM), shallow rotary treatment (SRT) and conventional tillage (CT). The results show that the all-straw-returning tillage treatment results in a significant reduction in soil infiltration rate, and it has no significant effect on other soil physical properties compared with the conventional tillage. The treatment of no-till with straw mulching has a great impact on soil physical properties, which can lead to an increase in soil compaction and soil bulk density in the layer of 0~10 cm, a reduction in soil infiltration rate before sowing of maize, and a 2℃ decrease in soil temperature compared with the conventional tillage. The shallow rotary treatment has a greater improvement in the soil compaction in the top layer and soil infiltration rate than the all-straw-returning tillage and no-till with straw mulching treatments and it can improve the soil water content by 10% compared to the conventional tillage. Also the shallow rotary treatment increases the soil bulk density in the layer of 40~60 cm.

**Keywords:** soil physical properties; tillage treatment; dryland