

## 保护性耕作对黑土农田土壤水热及作物产量的影响

刘爽<sup>1,2</sup>, 张兴义<sup>1</sup>

(1. 中国科学院 东北地理与农业生态研究所 黑土区农业生态院重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150081; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100049)

**摘要:** 保护性耕作措施是干旱区农田提高作物产量的有效耕作技术, 为研究其在冷凉区域的适用性, 于2004~2009年, 以中国科学院海伦农业生态试验站黑土农田为研究对象, 开展了免耕秸秆覆盖、少耕和传统旋耕3种耕作措施长期定位对比研究。结果表明: 在大豆玉米轮作制度下, 实施免耕秸秆覆盖和少耕的保护性耕作方式, 连续3 a免耕大豆产量均表现为增产, 平均增产10%, 少耕大豆表现为2 a增产, 平均增产3.7%, 而2006年略减产4.6%, 在2004和2008年保护性耕作措施下作物产量和传统耕作相比, 都达到显著性差异水平( $P < 0.05$ )。免耕玉米明显减产, 3 a平均减产28%, 少耕玉米表现为2 a减产, 平均减产7%, 连续3 a免耕玉米产量与少耕和传统耕作相比差异显著( $P < 0.05$ )。此外, 免耕可显著提高表层土壤含水量, 且垄沟土壤含水量总体高于垄台。分析3 a播种期表层土壤温度, 总体表现为免耕 < 少耕 < 传统耕作, 平均免耕较少耕和传统耕作分别低约1.6℃和2.8℃, NT春季土壤的低温效应对玉米出苗及前期生长影响较大, 对大豆影响不明显。

**关键词:** 保护性耕作; 土壤水分; 土壤温度; 产量

**中图分类号:** S565.1

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-9841(2011)01-0056-06

## Effect of Conservation Tillage on Soil Temperature, Water Content and Yield in Arable Black Soil

LIU Shuang<sup>1,2</sup>, ZHANG Xing-yi<sup>1</sup>

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

**Abstract:** Conservation tillage is an effective technique for increasing crop yield in arid areas. The objective of this field experiment was to compare the effects of three different tillage systems (no tillage, reduced tillage and conventional tillage) on soil temperature, soil water content and crop yield in arable black soil region of Hailun County, Heilongjiang province from 2004 to 2009. The result showed that no-tillage with mulch (NT) and reduced tillage (RT) under soybean and corn rotation system, the soybean yield in NT and RT averagely increased by 10% and 3.7% in 2004 and 2008, respectively; decreased by 4.6% in 2006, and increased by 3.7% during three years. The yields were significantly different between NT, RT and CT ( $P < 0.05$ ) in 2004 and 2008. Moreover, the corn grain yields reduced under NT and RT, separately. The yield under NT was significantly different ( $P < 0.05$ ) compared with other tillage systems. Furthermore, NT could increase soil water content in the topsoil of 0~15 cm and the soil water content in the furrow were higher than ridge. During the sowing period the soil surface temperature was increased in the order of NT < RT < CT during three years and the NT soil temperature was 1.62℃ and 2.76℃ lower than that of RT and CT, respectively. The lower soil temperature under NT had no obvious effect on soybean emergence; however, it had evidently impact on corn emergence and the growth in early periods.

**Key words:** Conservational tillage; Soil water content; Soil temperature; Yield

东北黑土区是我国重要的粮食产区, 该区为我国最北部农区, 地处寒温带, 属于典型雨养农业区, 春季多风少雨, 十年九春旱, 春季土壤水分的缺乏成为这一地区农业生产发展的主要制约因素, 黑土农田水分调控已成为农田管理的重要措施<sup>[1-2]</sup>, 但多年不变的传统耕作方式, 导致耕层变浅, 土壤板

结, 风蚀水蚀比较严重<sup>[3]</sup>, 不利于该区水土保持和农业的可持续发展。已有研究表明实施保护性耕作, 能够改善土壤的理化性质, 减少地表径流损失和土壤表面水分的无效蒸发, 提高农田有效水分利用率, 降低生产成本, 对耕地具有良好的保育作用, 适宜的保护性耕作措施可以使农作物显著增产, 但

收稿日期: 2010-08-30

基金项目: 国家高技术研究发展计划(2008AA10Z212)资助项目; 黑龙江省杰出青年基金(JC200718)资助项目。

第一作者简介: 刘爽(1983-), 女, 在读博士, 主要从事土壤生态过程研究。E-mail: liushuang08@mails.gucas.ac.cn。

通讯作者: 张兴义(1966-), 男, 研究员, 博士生导师, 主要从事黑土生态研究。E-mail: xyzhang1966@yahoo.com.cn。

多是短期的大田试验结果,其长期效应尚不明确<sup>[4-6]</sup>。该研究通过所建立的保护性耕作长期定位田间试验,分析连续 6 a 的作物产量、土壤水分和温度的差异,旨在通过东北寒温带保护性耕作长期效应研究,探索北方寒区实施保护性耕作措施的可行性,为建立北方寒地旱作区黑土农田合理耕作制度及耕作技术改进提供理论基础和技术支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验地设于黑龙江省海伦市中国科学院海伦农业生态试验站,位于东北典型黑土带中部,北纬 47°26′,东经 126°38′,海拔高度为 240 m,属寒温带大陆性季风气候区。冬季寒冷干燥,夏季高温多雨,雨热同季。年均气温 1.5℃,极端最高温度为 37℃,极端最低温度为 -39.5℃,多年平均降水量 530 mm,70% 集中在 7~9 月份。年均有效积温 2 450℃,年均日照时数为 2 600~2 800 h,无霜期为 125 d,地下水水位埋深 20~40 m。土壤类型为中厚层黑土,是在第四纪形成的黄土状母质上发育起来的地带性土壤,土壤质地比较粘稠,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,储水库容较大<sup>[2]</sup>。

### 1.2 试验设计

土壤耕作长期定位田间试验,始于 2003 年 10 月,试验设免耕秸秆覆盖、少耕和传统旋耕 3 种耕作处理,3 次重复,随机区组排列,大豆和玉米轮作,小区规格为 40.0 m×8.4 m=336 m<sup>2</sup>,2004 年种植大豆,2005 年种植玉米,其中少耕和旋耕采取垄作方式,免耕采取平作方式。各处理田间作业:(1)免耕秸秆覆盖(NT):2004 年秋后大豆秸秆粉碎全部覆盖地表,覆盖量为 4670 kg·hm<sup>-2</sup>,2005 年春季免耕播种,之后药剂除草,不进行任何中耕作业,秋后玉米籽实取走,秸秆粉碎全部覆盖地表。(2)少耕(RT):2004 年秋后大豆留茬原垄越冬,2005 年春季耙茬播种,夏季结合中耕管理实施苗期垄沟深松,二铲二趟,秋季玉米收获后,地上部秸秆籽实取走,留茬原垄越冬。(3)传统旋耕(CT):2004 年秋后大豆地上部秸秆籽实取走之后旋松起垄,作为对照。以上 3 种耕作处理的其它田间管理措施均相同。

试验自 2004 年至 2009 年,连续观测表层土壤体积含水量、作物不同生长期土壤表层温度,结合降水、气温,分析东北农田黑土不同耕作措施下土壤水分的动态变化规律以及作物不同生长期土壤表层温度状况,并进行产量的测定,分析比较不同耕作措施下作物产量差异及其影响因素。

### 1.3 测定指标与方法

#### 1.3.1 土壤容重 采用环刀法测定 3 种耕作措施

下垄台和垄沟处 0~15 cm 土层深度平均土壤容重。

1.3.2 土壤水分 2004 年至 2008 年土壤水分采用经典烘干法,分别测定垄台和垄沟处 0~5 cm、5~10 cm 和 10~15 cm 土层深度的平均土壤质量含水量,平均后得到 0~15 cm 土层的平均土壤质量含水量,乘上 0~15 cm 土层平均土壤容重得到 0~15 cm 土层平均土壤体积含水量。2009 年平均土壤体积含水量,采用 TDR(Trase,美国)测定。

1.3.3 土壤温度 2004 年至 2008 年利用曲管地温表测定作物不同生长期 10 cm 土层深度处土壤温度,2009 年作物不同生长期 10 cm 土层深度处土壤温度采用铜-康铜热电偶测定,用 CR10X 型数据采集仪自动记录。

1.3.4 作物产量 玉米每种处理选取 3 个 5 m<sup>2</sup> 小区测产,同时取 10 样穗考种;大豆每处理选取 3 个 2 m<sup>2</sup> 小区测产,同时取 10 样株考种。

气象数据由中国科学院海伦生态试验站的气象站提供,其中 2004 年至 2009 年降雨情况见表 1。

表 1 2004~2009 年总降雨量以及  
作物生长季降雨情况

Table.1 Rainfall in growth periods and total  
rainfall of every year from 2004 to 2009

年份 Year	降雨量 Rainfall/mm		
	总降雨量 Total rainfall	5 月 May	6 月~8 月 June to July
2004	309.3	24.9	189.1
2005	569.2	51.2	289.6
2006	506.0	9.4	415.0
2007	392.0	124.6	177.0
2008	489.8	55.0	324.6
2009	477.9	12.6	424.7

### 1.4 数据分析

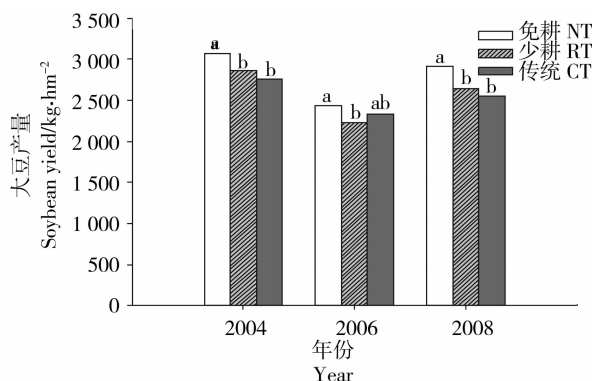
采用 Excel 2003 和 SPSS 16.0 软件进行统计分析, SigmaPlot 10.0 完成绘图。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同耕作方式下的作物产量

2.1.1 大豆产量 研究结果表明(图 1),3 a 少耕与传统耕作大豆产量都未达到显著性差异水平( $P>0.05$ ),而免耕与传统耕作 2004 和 2008 年产量差异显著( $P<0.05$ ),3 a 都表现为免耕产量最高,平均增产 10%。少耕表现为 2 a 增产,平均增产 3.7%,1 a 略减产 4.6%,3 a 平均增产 1.2%。2006 年保护性耕作与传统耕作大豆产量未达到显著性差异水平( $P>0.05$ ),免耕只增产 4.4%,这主要是由于降雨分布不均所致。2006 年 5 月份总降雨仅为 9.4 mm,而 6~8 月份降雨总量达 415 mm(表 1),春旱影响作物出苗,中期降雨多,滞涝并低温寡

照,影响作物营养生长和籽实的形成,免耕春季保水作用好,而少耕夏季多蓄水对大豆产量的形成起了反作用。综上分析,可见在正常降雨分配年份,免耕可使大豆产量显著提高,主要是秸秆覆盖提高耕层土壤水分,缓解了春旱的不利影响,促进大豆生长。此外,就某一耕作措施 3 a 的产量波动而言,免耕、少耕和传统耕作最高产量和最低产量差值分别为 630、630 和 426  $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,表明在寒温带保护性耕作大豆产量受年际气候差异的影响较传统耕作大。



Different letters above columns indicated a significant difference at  $P < 0.05$  according to  $F$ -test ( $\alpha = 0.05$ )

图 1 不同耕作措施下 2004、2006 和 2008 年大豆年产量

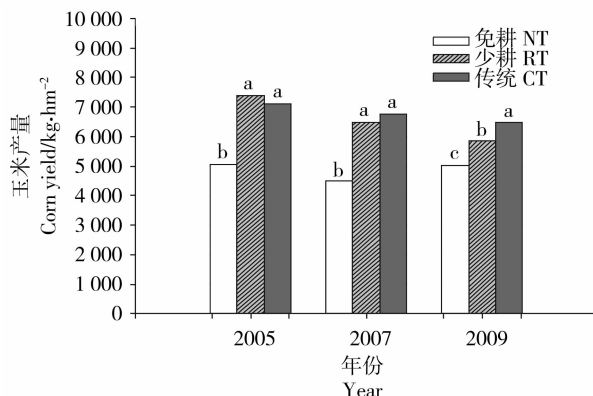
Fig.1 Soybean yield of NT, RT, and CT tillage systems in 2004, 2006 and 2008

2.1.2 玉米产量 秸秆全额覆盖下的免耕玉米显著减产,3 a 平均减产 28%,年际波动幅度为 -23% ~ -33% (图 2)。3 a 免耕与其它 2 种耕作方式产量都达到显著性差异水平 ( $P < 0.05$ )。少耕表现为 2 a 减产,平均减产 7%,2007 和 2009 年玉米产量都表现为传统耕作 > 少耕 > 免耕。2009 年是降雨分布较特殊的年份,春季玉米播种及出苗期降水较少,5 月份仅降雨 12.6 mm (表 1),导致春旱严重,影响玉米春季出苗和前期生长。之后在玉米生长的几个关键时期如拔节期、灌浆期等,降水较多且集中,6 月份至 8 月份降雨总量达 424.7 mm,是 5 月份总降雨量的 35 倍,占全年总降雨量的 89%,导致严重滞涝。玉米的前茬为大豆,大豆秸秆产量较低、覆盖量小、保水效果较玉米秸秆差可能是导致玉米减产的原因之一。

3 种耕作措施 3 a 的产量波动,免耕、少耕和传统耕作最高产量和最低产量差值分别为 569、1 535 和 618  $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,说明在寒温带保护性耕作少耕玉米产量受年际气候差异的影响较大。

## 2.2 不同耕作措施下土壤表层水分动态

2.2.1 大豆生长季表层平均土壤体积分含水量的变化 图 3 为大豆播种后至收获前 0 ~ 15 cm 土层平



Different letters above columns indicated a significant difference at  $P < 0.05$  according to  $F$ -test ( $\alpha = 0.05$ )

图 2 不同耕作措施下 2005、2007 和 2009 年玉米年产量

Fig.2 Soybean yield of NT, RT, and CT tillage systems in 2005, 2007 and 2009

均土壤体积分含水量动态变化情况。可以看出,3 种耕作措施平均土壤体积分含水量总体变化趋势一致,2004 年从播种至播种后 62 d,垄台土壤体积分含水量逐渐减低,之后快速上升,总体波动较大。免耕土壤体积分含水量前期较高,之后大幅下降,直到 72 d 时,3 种耕作措施下免耕土壤体积分含水量再次达到最高 (图 3 a),三者之间差异显著 ( $P < 0.05$ )。收获期 3 种耕作措施土壤体积分含水量未达到显著性差异水平 ( $P > 0.05$ )。

图 3c 和 d 显示,免耕垄台土壤含水量明显高于其它 2 种耕作方式,其中免耕最高土壤体积分含水量较少耕和传统耕作高 14 个百分点,这主要是由于免耕秸秆覆盖地表,降低了地表土壤水分的蒸发。2006 年,从播种至 81 d 少耕和传统耕作土壤含水量差异较小,之后少耕垄沟和垄台土壤含水量明显上升且高于传统耕作,这主要是少耕实施了苗期垄沟深松,雨季降水渗入垄沟较多,形成“地下水库”,发生水平侧渗使得相应垄台土壤水分也增多。

2.2.2 玉米生长季表层平均土壤体积分含水量的变化 2005 年各耕作处理土壤体积分含水量都是在播种初期和收获期达到显著性差异水平 ( $P < 0.05$ ),免耕垄台土壤含水量只有在播种期和收获期时明显高于其它耕作方式,其它阶段少耕含水量较高,而垄沟在后期少耕土壤含水量上升主要是由于春季的垄沟深松导致水分大量入渗 (表 2)。2007 年垄台 3 种耕作措施下除个别日期外免耕土壤含水量较高,可见在降雨较少的年份免耕对提高作物生育期土壤体积分含水量作用明显。2009 年垄台总体上免耕土壤含水量较高而传统耕作最低,免耕播种期土壤含水量较少耕和传统耕作分别高 12 和 8 个

百分点,而垄沟少耕土壤含水量在 35 d 开始大幅度上升,主要是由于 2009 年降雨主要集中在 6 月份,苗期垄沟深松,使得渗入土壤中的雨水明显多于传

统耕作,免耕由于有秸秆覆盖降低了地表水分蒸发量,土体储水量也高于传统耕作。

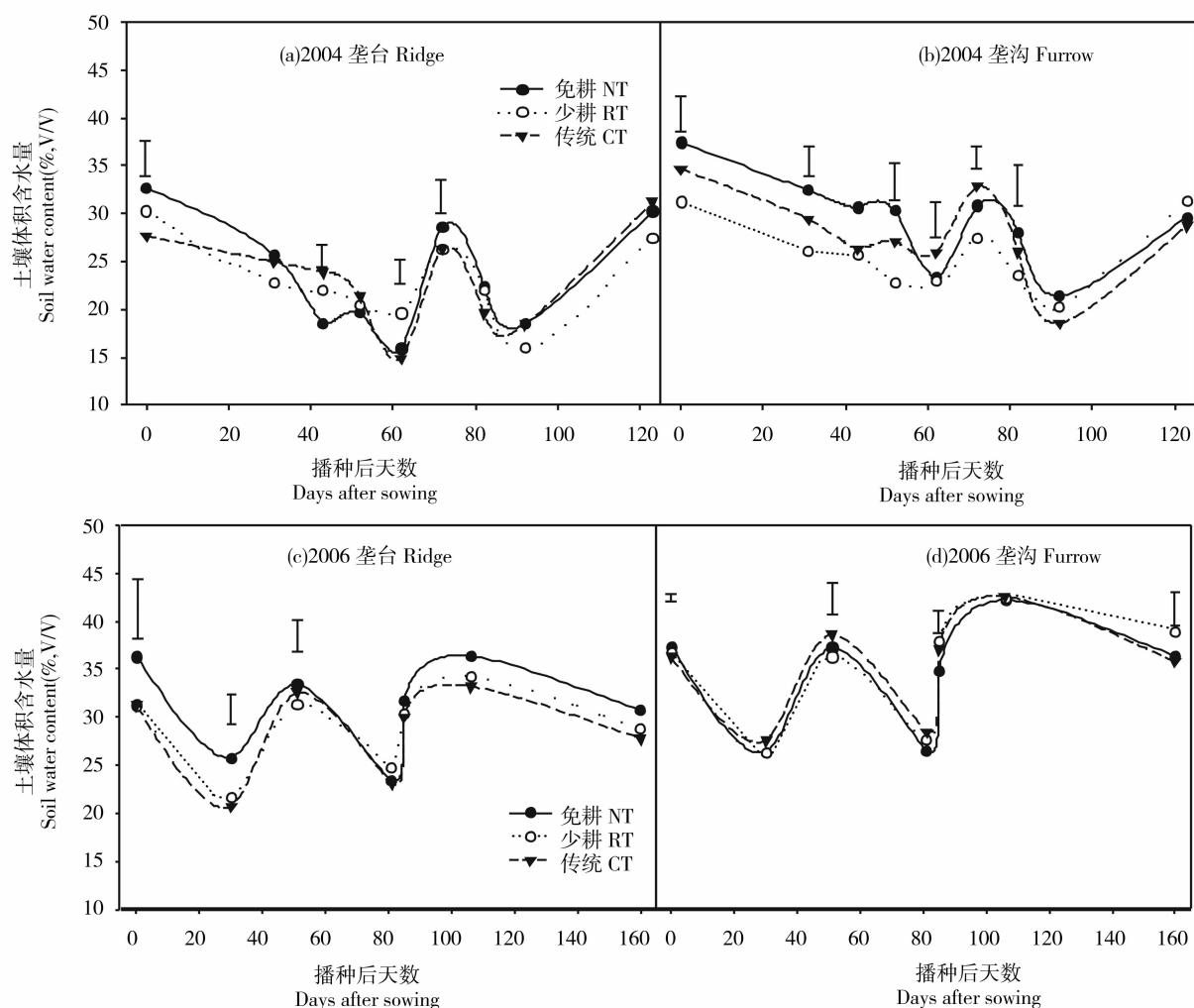


图 3 不同耕作措施垄台和垄沟 0 ~ 15 cm 土层平均土壤体积含水量(2004,2006 年)

Fig. 3 Soil water content in the topsoil of 0 ~ 15 cm under different tillage systems at ridge and furrow in 2004 and 2006 ( Vertical bars represent LSD 0.05 at each sampling date)

表 2 不同耕作措施垄台和垄沟 0 ~ 15 cm 土层平均土壤体积含水量(2005,2007 和 2009 年)

Table 2 Soil water content in the topsoil of 0 ~ 15 cm under different tillage systems at ridge and furrow in 2005, 2007 and 2009

年份 Year	耕作措施 Tillage	土壤体积含水量 Soil volumetric water content/%											
		日期 Date;0 d		15 d		35 d		45 d		65 d		150 d	
		垄台 Ridge	垄沟 Furrow	垄台 Ridge	垄沟 Furrow	垄台 Ridge	垄沟 Furrow	垄台 Ridge	垄沟 Furrow	垄台 Ridge	垄沟 Furrow	垄台 Ridge	垄沟 Furrow
2005	NT	31.1 a	34.2 a	29.6 a	33.3 a	25.9 a	29.3 a	32.2 a	36.5 a	18.6 a	22.7 a	42.7 a	36.3 a
	RT	29.5 a	30.0 b	30.4 a	32.1 a	27.6 a	29.7 a	34.5 a	31.5 a	18.1 a	23.1 a	35.7 b	34.0 ab
	CT	28.3 ab	31.7 b	29.1 a	32.3 a	24.5 a	27.4 a	31.0 a	34.4 a	16.6 a	24.8 a	36.9 b	34.9 a
2007	NT	30.8 a	32.9 a	33.6 a	31.2 a	33.2 a	32.5 a	27.0 a	26.0 b	25.3 a	26.6 a	24.2 a	25.8 a
	RT	27.0 b	26.1 b	29.4 b	28.5 ab	30.4 a	31.4 a	29.2 a	33.9 a	23.2 b	25.6 a	20.1 b	20.8 b
	CT	23.8 c	27.4 b	26.4 c	29.6 a	27.1 a	28.7 ab	26.7 ab	33.1 a	21.0 c	24.8 a	17.1 b	20.7 b
2009	NT	28.1 a	25.9 a	33.0 a	32.5 a	36.5 a	32.1 b	36.0 a	32.0 a	30.9 b	40.2 a	29.3 a	23.5 a
	RT	15.8 c	23.4 b	24.4 b	24.8 b	33.1 b	33.7 a	31.7 a	32.8 a	37.6 a	40.8 a	25.9 b	22.7 a
	CT	19.7 b	21.0 c	22.0 b	21.5 b	37.6 a	33.2 a	34.8 a	28.7 a	32.9 a	36.3 a	25.2 b	20.2 a

表中不同字母表示在 0.05 水平上显著。

Means between treatments followed by different letters indicated a significant difference at  $P < 0.05$ .

## 2.4 不同耕作措施下土壤表层温度动态

2.4.1 大豆生长季表层土壤温度的变化 在 2006 年大豆播种期,免耕土壤温度最低,上午 9 时少耕和传统耕作土壤温度分别较免耕高 1.98℃ 和 1.6℃。在出苗期即 5 月 17 日,下午 14 时免耕土壤温度为 11.4℃,分别较少耕和传统耕作低 1.8℃ 和 1.7℃。免耕土壤温度略低于大豆出苗所需稳定的

温度条件,对免耕大豆出苗及前期生长造成不利影响,然而少耕和传统耕作已经达到出苗所需温度(表 3)。从开花期至鼓粒期,免耕和少耕土壤温度逐渐上升,例如在结荚期 7 月 25 日下午 14 时免耕和少耕土壤温度分别较传统耕作高 1.3℃ 和 2.1℃。而鼓粒期 3 种耕作措施下土壤温度差异较小,免耕土壤温度不会严重影响大豆的正常生长发育。

表 3 不同耕作措施垄台和垄沟 10 cm 土层深度处土壤温度(2006 年)

Table 3 Soil temperature in the topsoil of 10 cm under different tillage systems at ridge and furrow in 2006

耕作措施 Tillage	土壤温度 Soil temperature/℃									
	播种期 Sowing (5 月 1 日)		出苗期 Seedling (5 月 17 日)		开花期 Blooming (6 月 21 日)		结荚期 Podding (7 月 25 日)		鼓粒期 Seed filling (8 月 14 日)	
	9 h	14 h	9 h	14 h	9 h	14 h	9 h	14 h	9 h	14 h
NT	2.35	5.88	13.13	11.40	15.23	17.20	16.65	19.93	17.68	19.05
RT	4.33	7.83	14.88	13.20	15.13	17.68	16.49	20.71	16.60	18.30
CT	3.95	7.60	14.61	13.06	16.00	17.35	15.46	18.65	16.33	19.58

2.4.2 玉米生长季表层土壤温度的变化 3 个试验年份玉米不同生长期 10 cm 土层深度处平均土壤温度的测定结果见(表 4)。播种期土壤温度均表现为免耕 < 少耕 < 传统耕作,平均土壤温度免耕较少耕和传统耕作分别低 1.62℃ 和 2.76℃。从玉米播种至拔节,免耕表层土壤温度都较低,降低了玉米出苗率。除在 2005 年播种期和 2007 年拔节期外,少耕土壤温度均最高。2009 年出苗期,少耕土壤温度分别较免耕和传统耕作高 4.6℃ 和 4.5℃,这说明少耕有利于作物的出苗和拔节期的生长。而在抽雄期免耕土壤温度相对较高,例如在 2005 年免耕土壤温度分别较少耕和传统耕作高 1.9℃ 和 1.5℃,2007 年分别高出 1.5℃ 和 2.3℃,说明免耕虽然在玉米生长前期温度较低,但在生长后期温度却较高,这可能是由于免耕条件下玉米生长较弱,覆盖度低于传统耕作,到达地表太阳辐射较多所致。

表 4 不同耕作措施玉米生长期土壤表层温度  
(2005、2007 和 2009)

Table 4 Soil temperature in the topsoil of 10 cm under different tillage systems in 2005, 2007 and 2009

年份 Year	耕作 措施 Tillage	土壤温度 Soil temperature/℃			
		播种期 Sowing	出苗期 Seedling	拔节期 Jointing	抽雄期 Tasseling
		stage	stage	stage	stage
2005	NT	5.68	14.51	15.35	25.40
	RT	5.71	14.66	15.80	23.46
	CT	6.91	14.10	15.76	23.91
2007	NT	6.66	14.07	16.45	19.08
	RT	11.48	14.89	19.29	17.54
	CT	11.38	14.46	21.83	16.80
2009	NT	8.69	12.04	14.05	19.93
	RT	8.70	12.09	14.23	19.80
	CT	11.03	16.60	16.62	20.94

## 3 结论与讨论

与传统耕作方式 CT 相比,免耕大豆产量 3 a 内均表现为增产,平均增产 10%;少耕大豆 2 a 增产,1 a 略减产。免耕玉米明显减产,3 a 平均减产 28%,少耕玉米 2 a 减产,1 a 增产,平均减产 7%。可见在东北黑土区大豆更适宜免耕这种耕作方式,而玉米实施免耕少耕的保护性耕作措施则严重减产,不适于在该区推广。这主要是由于免耕大豆播种和出苗期土壤温度都较低<sup>[7-8]</sup>,而开花至结荚期 3 种耕作措施土壤温度差异趋小,免耕甚至略高于少耕和传统耕作,这主要是由于在播种期和出苗期免耕有秸秆覆盖于地表,增大地表反射辐射,从而接受太阳净辐射减少,而在开花期和结荚期大豆生长到一定高度使地表覆盖度增加从而降低了 3 种耕作措施之间的差异。免耕玉米播种期土壤温度较低,影响玉米出苗,但在生长后期温度却较高<sup>[9-11]</sup>,这可能是由于免耕条件下玉米生长较弱,覆盖度低于传统耕作,到达地表太阳辐射较多所致。这也表明大豆生长受前期作物出苗及生长状况影响较小,大豆的耐受性较强。

此外,降雨总量以及降雨分配是影响大豆和玉米产量的主要因素,大豆免耕不仅可增强抵抗春旱和滞涝的能力,还因大豆播种后出苗时间相对玉米较长,可减小免耕秸秆覆盖造成的春季低温效应对大豆出苗的不利影响,而玉米在特殊的灾害天气,如干旱、滞涝等状况下免耕仍能使玉米产量有一定提升,但免耕土壤春季低温效应影响玉米出苗及前期的生长,导致最终玉米减产。

3 种耕作方式下土壤表层 0 ~ 15 cm 土层深度

平均土壤体积含水量总体变化趋势一致,由于免耕秸秆覆盖地表降低土壤表面水分的蒸发,可显著增加土壤含水量<sup>[12-13]</sup>;降雨较少的年份免耕对提高作物生育期土壤体积含水量作用明显<sup>[14]</sup>,少耕由于实施了苗期垄沟深松,增加了降水入渗量,可提高生长期表层土壤含水量。

总之,在东北黑土区,大豆适于实施免耕,既有利保育农田,又有利于降耗增产,从而提高农民收益。而玉米免耕,虽有利于农田保育,但由于减产严重,不能被农民接受。保护性耕作方式对于玉米大豆产量的更长期效应还有待于进一步研究。

## 参考文献

- [1] 刘武仁,郑金玉,罗洋,等.东北黑土区玉米保护性耕作技术模式研究[J].玉米科学,2007,15(6):86-88. (Liu W R,Zheng J Y,Luo Y,et al. Study on technique model of conservative tillage in maize in north-east of China[J]. Journal of Maize Sciences, 2007, 15(6):86-88. )
- [2] 孟凯,张兴义,隋跃宇,等.黑龙江海伦农田黑土水分特征[J].土壤通报,2003,34(1):11-14. (Meng K,Zhang X Y,Sui Y Y,et al. Black soil water characteristic in Hailun, Heilongjiang[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2003,34(1):11-14. )
- [3] 于同艳,张兴义.耕作措施对黑土农田耕层水分的影响[J].西南大学学报,2007,29:121-124. (Yu T Y,Zhang X Y. Effects of different soil tillage systems on black farmland soil water in the black farmland[J]. Journal of Southwest University (Natural Science Edition), 2007,29:121-124. )
- [4] 金亚征,谢瑞芝,冯聚凯,等.保护性耕作方式下华北平原夏玉米产量效应的研究[J].玉米科学,2008,16(4):143-146. (Jin Y Z,Xie R Z,Feng J K,et al. Research on the effect of summer maize yield under conservation tillage pattern in north China plain[J]. Journal of Maize Sciences, 2008,16(4):143-146. )
- [5] Dahiya R,Ingwersen J,Streck T. The effect of mulching and tillage on the water and temperature regimes of a loess soil: Experimental findings and modeling[J]. Soil & Tillage Research, 2007,96:52-63.
- [6] 智建奇,贾志森,郑联寿,等.不同保护性耕作方式对旱地玉米的增产效应[J].玉米科学,2006,14(2):112-114. (Zhi J Q,Jia Z S,Zheng L S,et al. Effect of conservation tillages on the yield of corn in dry land[J]. Journal of Maize Science, 2006,14(2):112-114. )
- [7] Fabrizio K P, García F O, Picone J I. Soil water dynamics, physical properties and corn and wheat responses to minimum and no-tillage systems in the southern Pampas of Argentina[J]. Soil & Tillage Research, 2005,81:57-69.
- [8] 林蔚刚,吴俊江,刘丽君,等.保护性耕作对土壤部分物理特性及大豆产量的影响[J].大豆科学,2010,29(2):238-243. (Lin W G,Wu J J,Liu L J,et al. Impact of conservation tillage on some soil physical properties and soybean yields (*Glycine max* L. Merrill)[J]. Soybean Science, 2010,29(2):238-243. )
- [9] 张宇,刘恩才,于海秋,等.保护性耕作对土壤水温和春玉米产量形成的影响[J].安徽农业科学,2007,35(2):388-389. (Zhang Y,Liu E C,Yu H Q,et al. Effect of conservation tillage on soil temperature and moisture and yield formation of spring maize[J]. Journal of Anhui Agricultural Science, 2007,35(2):388-389. )
- [10] 雷金银,吴发启,王健,等.保护性耕作对土壤物理特性及玉米产量的影响[J].农业工程学报,2008,24(10):40-45. (Lei J Y,Wu F Q,Wang J,et al. Effects of conservation tillage on soil physical properties and corn yield[J]. Transactions of the CSAE, 2008,24(10):40-45. )
- [11] Sarkar S, Paramanick M, Goswami S B. Soil temperature, water use and yield of yellow sarson (*Brassica napus* L. var. glauca) in relation to tillage intensity and mulch management under rainfed lowland ecosystem in eastern India[J]. Soil & Tillage Research, 2007,93:94-101.
- [12] 黄高宝,郭清毅,张仁陟,等.保护性耕作条件下旱地农田麦豆双序列轮作体系的水分动态及产量效应[J].生态学报,2006,26(4):1176-1185. (Huang G B,Guo Q Y,Zhang R Z,et al. Effects of conservation tillage on soil moisture and crop yield in a phased rotation system with spring wheat and field pea in dry land[J]. Acta Ecologica Sinica, 2006,26(4):1176-1185. )
- [13] 李玲玲,黄高宝,张仁陟,等.不同保护性耕作措施对旱地农田土壤水分的影响[J].生态学报,2005,25(9):2326-2332. (Li L,Huang G B,Zhang R Z. Effects of conservation tillage on soil water regimes in rainfed areas[J]. Acta Ecologica Sinica, 2005,25(9):2326-2332. )
- [14] 杜建涛,何文清,Vinay Nangia,等.北方旱区保护性耕作对农田土壤水分的影响[J].农业工程学报,2008,24(11):25-29. (Du J T,He W Q,Vinay Nangia,et al. Effects of conservation tillage on soil water content in northern arid regions of China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2008,24(11):25-29. )