

冷凉区旱地玉米保护性耕作土壤环境及产量效应研究

张冬梅, 姜春霞, 张伟, 王晓娟, 刘化涛, 杨柯, 闫六英, 刘恩科, 翟广谦

(山西省农业科学院旱地农业研究中心, 太原 030031)

摘要: 针对冷凉区旱地玉米生产中存在的干旱缺水、低温冷凉、土壤肥力下降等问题, 于2011—2016年采用裂区设计, 在山西省旱作节水农业—阳曲县河村示范基地, 设置了6种不同耕作覆盖处理, 研究旱地玉米保护性耕作的土壤环境及产量效应。结果表明: (1) 免耕+二元覆盖、条耕+二元覆盖分别较常规旋耕+地膜覆盖平均增加0—200 cm土壤贮水量20.8, 32.1 mm; 免耕+秸秆半覆盖、条耕+秸秆半覆盖分别较常规旋耕+露地种植平均增加0—200 cm土壤贮水量24.3, 16.3 mm。 (2) 不同耕作处理土壤紧实度差异主要在15 cm内, 条耕平均为常规旋耕的2.6倍, 免耕第1年土壤紧实度最高, 为常规耕作的4.6倍, 以后逐年下降。 (3) 免耕+二元覆盖、条耕+二元覆盖分别较常规旋耕+地膜覆盖日平均地温降低0.2, 0.1 °C (5 cm) 和0.8, 0.3 °C (10 cm); 免耕+秸秆半覆盖、条耕+秸秆半覆盖分别较常规旋耕+露地种植日平均地温降低0.7, 0.4 °C (5 cm) 和1.5, 1.0 °C (10 cm)。 (4) 保护性耕作3年后, 免耕和条耕平均较常规旋耕增加0—20 cm土壤有机质含量1.5 g/kg (覆膜) 和1.2 g/kg (不覆膜); 保护性耕作5年后, 土壤培肥效应更加明显。 (5) 免耕+二元覆盖、条耕+二元覆盖分别较常规旋耕+地膜覆盖平均增产4.4%和6.9%, 且条耕+二元覆盖经济产量显著大于常规旋耕+地膜覆盖; 免耕+秸秆半覆盖、条耕+秸秆半覆盖、常规旋耕+露地种植平均产量之间没有显著差异。目前来说, 适宜该区域的蓄水保墒、培肥土壤、稳产高产的保护性耕作措施为条耕+二元覆盖。

关键词: 冷凉区; 旱地玉米; 保护性耕作; 土壤环境; 产量

中图分类号: S157.4; S513

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2018)06-0222-07

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcxb.2018.06.032

Effects of Different Conservation Tillages on Soil Environment and Yield of Dryland Maize in Cold Climate Areas

ZHANG Dongmei, JIANG Chunxia, ZHANG Wei, WANG Xiaojuan,

LIU Huatao, YANG Ke, YAN Liuying, LIU Enke, ZHAI Guangqian

(Dryland Agriculture Research Center, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Taiyuan 030031)

Abstract: In order to solve the problems during dryland maize production in cold climate areas, such as drought and water shortage, low temperature, soil fertility decline and so on, a field experiment was conducted with split plot design in the demonstration base of dryland water-saving agriculture in He village of Yangqu county, Shanxi Province in 2011—2016. The effects of conservation tillage on soil environment and yield of dryland maize were studied with six different tillage mulching treatments. The results showed that: (1) Compared with conventional rotary tillage and plastic film mulching (CTP), no-tillage, straw and plastic film mulching (NTSP) and strip-tillage, straw and plastic film mulching (STSP) increased soil water storage by 20.8 mm and 32.1 mm respectively in 0—200 cm. Compared with conventional rotary tillage and bare land (CTO), no-tillage, semi straw mulching (NTSS) and strip-tillage, semi straw mulching (STSS) increased soil water storage by 24.3 mm and 16.3 mm respectively in 0—200 cm. (2) The difference of soil densities among different treatments mainly occurred within 15 cm, with 2.6 times under strip-tillage as much as the conventional rotary tillage. In the first year of no tillage, soil density was the highest, 4.6 times of that conventional tillage, and then decreased year after year. (3) Compared with CTP, the daily average soil temperature under NTSP and STSP decreased by 0.2 °C and 0.1 °C (5 cm), 0.8 °C and 0.3 °C (10 cm). Compared with CTO, the daily average soil temperature under NTSS and STSS decreased 0.7 °C and 0.4 °C (5 cm), 1.5 °C and 1.0 °C (10 cm). (4) After 3 years of conservation tillage, no tillage and strip-tillage

收稿日期: 2018-05-29

资助项目: 国家重点研发计划项目(2016YFD0300305); 山西省农科院院攻关项目“蓄水保墒土壤耕作技术研究”(YCX2017D2401); 山西省科技攻关计划项目(201703D221001-5); 国家公益性行业(农业)科研专项(201503124)

第一作者: 张冬梅(1974—), 女, 硕士, 副研究员, 主要从事旱作栽培技术研究。E-mail: 13803401159@163.com

increased soil organic matter contents in 0—20 cm by 1.5 g/kg (film mulching) and 1.2 g/kg (no film mulching) averagely compared with conventional rotary tillage. And after 5 years, the effect of fertilizing soil was more obvious. (5) The economic yields under NTSP and STSP increased by 4.4% and 6.9%, respectively, compared with CTP, and the economic yield of STSP was significantly higher than that of CTP. There was no significant difference in average yield between NTSS, STSS and CTO. Generally, STSP is the appropriate conservation tillage for the area to store water and preserve soil moisture, to fertilize the soil, and to maintain stable and high yield.

Keywords: cold climate area; dryland maize; conservation tillage; soil environment; yield

山西省属半干旱半湿润大陆性季风气候,十年九旱,常年春旱,年均降水为 370~560 mm,70%的降水主要集中在 7—9 月,降水总量偏少加上降水分布不均,导致春旱接连夏旱、秋旱,加上多年土壤浅旋耕和焚烧作物秸秆,不仅污染环境,浪费资源,还造成土壤紧实、耕层变浅、土壤肥力降低,严重影响了该区粮食持续稳产和高产。玉米是该区域第一大粮食作物,总产量占山西省粮食总产的 70%以上,在山西省粮食生产和国民经济中占有举足轻重的位置。此外,低温还是冷凉区旱地玉米生产中的主要限制因子,地膜覆盖是该区域主要栽培技术措施^[1-2]。研究^[3-6]表明,保护性耕作措施能够提高土壤肥力、增加土壤水分、提高作物产量及水分利用率,减轻土壤风蚀水蚀,从而促进农业可持续发展。而一些学者认为保护性耕作会降低土壤温度,增加土壤容重,不利用农业生产^[7]。因此,为了探讨保护性耕作在该区域的适应性,开展了冷凉区旱地玉米保护性耕作的土壤环境及产量效应研究。前人研究多侧重单一的耕作方式或覆盖处理方式,且研究周期相对较短,极少探讨保护性耕作与当地主要栽培技术措施——地膜覆盖交互对较长周期内土壤环境及玉米产量效应的影响。为此,本研究于 2011—2016 年在山西省旱作节水农

业—阳曲县河村示范基地,通过长期定位试验,采用免耕、少耕和常规旋耕与秸秆覆盖和地膜覆盖相结合的模式,研究其对冷凉区旱地玉米土壤水分、土壤温度、土壤硬度、土壤有机质和玉米产量等的影响,以期明确提出适合该区域的蓄水保墒、培肥地力、稳产高效保护性耕作措施,为冷凉区旱地玉米可持续增产提供理论和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于 2011—2016 年在山西省旱作节水农业—阳曲县河村示范基地进行,为长期定位试验。该区位于山西省中部,属典型的半干旱区,海拔 1 270 m,无霜期 120 d,年平均降水量 450 mm,年均蒸发量 1 995 mm,年平均气温 6~7 ℃,昼夜温差大,≥10 ℃活动积温约 2 600 ℃,属玉米早熟区。干旱缺水和低温冷凉是该区农业生产的主要限制因子。土壤为黄土质淡褐土性土,2010 年秋收后耕层土壤有机质含量为 11.1 g/kg,全氮、全磷、全钾含量分别为 1.13, 0.79, 22.3 g/kg,有效氮、磷、钾含量分别为 73.3, 6.1, 148.3 mg/kg,属中等肥力。2011—2016 年及多年平均玉米生育期 5—9 月降水及 0—200 cm 底墒情况见表 1。

表 1 多年平均降水(1960—2005 年)、2011—2016 年降水及 0—200 cm 底墒情况 单位:mm

项目	年份	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	5—9 月	降水年型	底墒(0—2 m 土壤贮水量)
降水量	2011	44.3	65.2	154.5	88.0	93.1	445.1	丰水年	365.1(一般)
	2012	23.2	79.9	175.4	42.1	72.4	393.0	平水年	408.0(很好)
	2013	28.5	99.3	177.9	33.8	105.5	445.0	丰水年	385.7(好)
	2014	40.0	32.4	79.8	47.8	78.4	278.4	干旱年	393.9(较好)
	2015	49.1	44.1	90.0	129.6	104.0	416.8	偏丰年	333.8(差)
	2016	19.1	47.2	241.0	44.4	28.6	380.3	平水年	386.4(好)
	多年平均	33.2	57.0	102.9	103.7	62.2	359.0	—	—
较多年平均多	2011	11.1	8.2	51.6	-15.7	30.9	86.1	生育期基本未受旱	
	2012	-10.0	22.9	72.5	-61.6	10.2	34.0	灌浆期受旱	
	2013	-4.7	42.3	75.0	-69.9	43.3	86.0	灌浆期受旱	
	2014	6.8	-24.6	-23.1	-55.9	16.2	-80.6	拔节抽雄灌浆期受旱	
	2015	15.9	-12.9	-12.9	25.9	41.8	57.8	拔节抽雄期受旱	
	2016	-14.4	-9.8	138.1	-59.3	-33.6	-21.3	灌浆期受旱	

1.2 试验方法

1.2.1 试验设计 试验采用裂区设计,主区为耕作处理,3 个水平,分别为免耕、条带耕作(以下简称条

耕)和常规旋耕;裂区为覆膜和不覆膜 2 个水平。试验共设 6 个处理组合(表 2),3 次重复,共 18 个小区,小区面积为 4.8 m×13.0 m。

表 2 试验设计

主区处理	裂区处理	处理组合	田间作业程序
免耕	覆膜	免耕+二元覆盖	秋收后移除地膜、留茬 30 cm 秸秆整秆全覆盖→春播前播种带秸秆移到非播种带、播种带免耕并地膜覆盖、非播种带秸秆覆盖→膜侧点播。翌年播种带和非播种带交替
	不覆膜	免耕+秸秆半覆盖	秋收后留茬 30 cm 秸秆整秆全覆盖→春播前播种带秸秆移至非播种带→播种带免耕点播。翌年播种带和非播种带交替
条耕	覆膜	条耕+二元覆盖	秋收后移除地膜、留茬 30 cm 秸秆整秆全覆盖→春播前播种带秸秆移到非播种带,播种带常规旋耕并地膜覆盖、非播种带秸秆覆盖→膜侧点播。翌年播种带和非播种带交替
	不覆膜	条耕+秸秆半覆盖	秋收后留茬 30 cm 秸秆整秆全覆盖→春播前播种带秸秆移至非播种带→播种带常规旋耕后点播。翌年播种带和非播种带交替
常规旋耕	覆膜	常规旋耕+地膜覆盖	秋收后秸秆移出试验小区→春播前移除地膜、小区全面常规旋耕并地膜半覆盖→膜侧点播
	不覆膜	常规旋耕+露地种植	秋收后秸秆移出试验小区→春播前试验小区全面常规旋耕→点播

各试验处理的小区位置和面积固定,连年进行相应的土壤耕作、秸秆覆盖和覆膜处理。播种带和非播种带各 60 cm。膜宽 80 cm,微垄覆膜,起垄高度为 5~8 cm,垄侧膜下播种。播种行距为 50 cm×70 cm。所有处理同期点播器播种,每穴两粒种子。

为合理应用热量资源,覆膜处理供试品种为 kx9384(需积温 2 400 ℃),不覆膜处理供试品种为德美亚 1 号(需积温 2 100 ℃)。种植密度为 75 000 株/hm²,2011—2016 年播期分别为 4 月 28 日、4 月 29 日、4 月 26 日、4 月 23 日、4 月 23 日、4 月 27 日,每年在早霜后择期收获,早霜期约为 9 月下旬至 10 月上旬。

所有处理采用播种施肥器同时进行播种和施肥,肥料种类为硝酸磷肥(N-P₂O₅-K₂O:26.5-11.5-0),施用量为 900 kg/hm²,一次性全部底施。6 年试验全部在自然降水条件下进行,无补充灌溉,按照常规措施进行田间管理。

1.2.2 降水量 气象站自动记录试验年份生育期内每次降水量,同时查阅该区多年平均降水。

1.2.3 土壤水分 每小区中部各埋设一根中子管,深度 200 cm。分别于播期和收获期,用 CPN-503 中子仪(20—200 cm)和 6050 X1 Trase 系统(0—20 cm)测定土壤含水量,中子仪每层 20 cm。土壤水分贮存量 $H=v\times h$ 。式中: v 为土壤体积含水量(%); h 为土层厚度(mm);烘干法测定 0—10 cm 土壤含水量,具体日期为:2011 年 4 月 29 日、5 月 24 日;2012 年 5 月 2 日、5 月 7 日、5 月 18 日、5 月 30 日;2013 年 5 月 10 日、5 月 16 日、5 月 22 日、5 月 27 日。

1.2.3 土壤温度 在地温较低的玉米苗期用 U 盘式土壤温度记录仪测定土壤温度变化较大的 5、10 cm 土壤温度,测定位置为每个处理播种行,观测时间

为 5 月份,每小时记录 1 个数据。

1.2.4 土壤有机质 分别于 2013 年 10 月 2 日和 2015 年 9 月 23 日采集 0—20 cm 土样,采用重铬酸钾外加热法测定土壤有机质含量。

1.2.5 土壤紧实度 分别于 2011、2013、2016 年于玉米苗期利用 SC-900 土壤紧实度仪(Spectrum Technologies Ins,USA)进行测定。土壤紧实度仪放在播种行,垂直向下按压,随着土壤深度的变化紧实度仪自动计数,每 2.5 cm 记录 1 次,测定深度为 0—45 cm。

1.2.6 产量 按小区实际测定各处理经济产量(折算成籽粒含水量为 14%)。

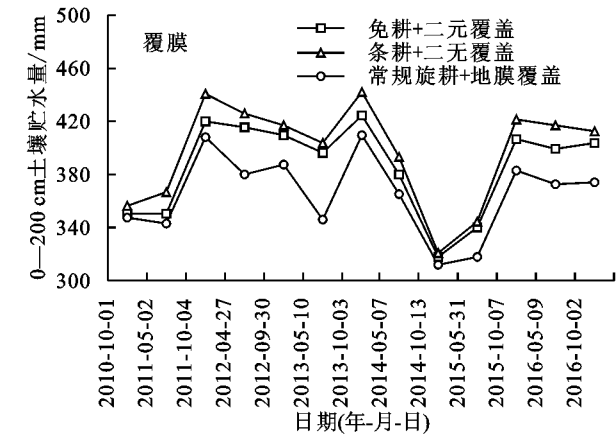
1.2.7 统计方法 用 Excel 软件进行试验数据处理,用 DPS 统计软件,进行试验数据的方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同处理对 0—200 cm 土壤贮水量的影响

从图 1 可以看出,6 个试验周年期内,免耕和条耕蓄水保墒效应明显,且随着年份的增加,蓄水保墒叠加效应越来越明显。除 2010 年 10 月 1 日基础 0—200 cm 土壤贮水量外,不论是覆膜处理还是不覆膜处理,免耕和条耕都大于常规旋耕处理。覆膜处理中,6 个周年期内,免耕+二元覆盖、条耕+二元覆盖分别较常规旋耕+地膜覆盖平均增加 0—200 cm 土壤贮水量 20.8、32.1 mm,去除基础贮水量的因素,条耕+二元覆盖较免耕+二元覆盖蓄水效应更为明显;不覆膜处理中,6 个周年期内,免耕+秸秆半覆盖、条耕+秸秆半覆盖分别较常规旋耕+露地种植平均增加 0—200 cm 土壤贮水量 24.3、16.3 mm。由于免耕+秸秆半覆盖 0—200 cm 基础土壤贮水量较条耕+秸秆半覆盖高 7.3 mm,因此免耕+秸秆半覆盖和条耕+秸秆半覆盖蓄水保墒效应没有差异。经

过 6 个周年期的耕作处理后,保护性耕作蓄水保墒叠加效应更明显,2016 年 10 月 2 日测定 0—200 cm 土壤贮水量结果表明,免耕+二元覆盖、条耕+二元覆盖分别较常规旋耕+地膜覆盖平均增加了 0—200



cm 土壤贮水量 30.0,38.4 mm,而免耕+秸秆半覆盖、条耕+秸秆半覆盖分别较常规旋耕+露地种植平均增加了 0—200 cm 土壤贮水量 37.6,31.7 mm,为旱地玉米持续稳产高产奠定了较好的水分基础。

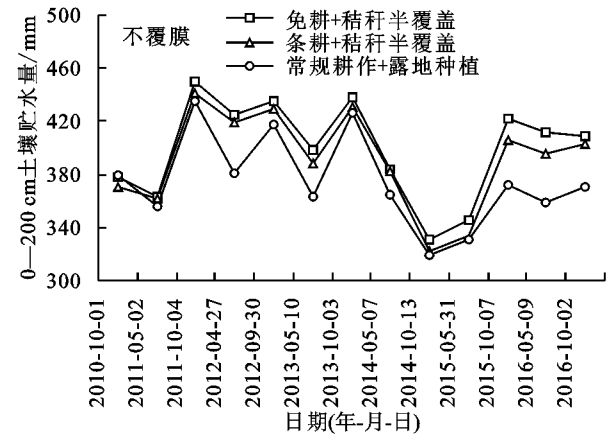


图 1 不同处理 0—200 cm 土壤贮水量变化

2.2 不同处理对苗期 0—10 cm 土壤含水量的影响

由于免耕和条耕处理休闲期秸秆全覆盖的蓄水保墒作用,播后苗前和苗期表层土壤水分得到明显改善(图 2),为旱地玉米抗旱播种出苗保苗创造了很好的土壤水分条件。2011—2013 年不论是覆膜处理还是不覆膜处理 0—10 cm 土壤含水量都以免耕最高,其次为条耕,二者之间没有显著差异,但都极显著大于常规旋耕($P<0.01$)。其中,2011—2013 年免耕+二元覆盖、条耕+二元覆盖分别较常规旋耕+地膜覆盖平均增加了播后苗期 0—10 cm 土壤含水量 3.7,3.0 个百分点;而免耕+秸秆半覆盖、条耕+秸秆半覆盖分别较常规旋耕+露地种植增加了播后苗期 0—10 cm 土壤含水量 4.0,2.7 个百分点。

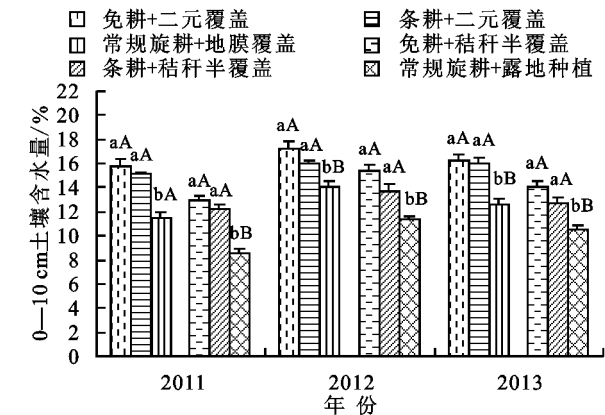


图 2 不同处理播后苗期 0—10 cm 土壤含水量比较

2.3 不同处理对 0—45 cm 土壤紧实度的影响

过于紧实和过于疏松的土壤耕层都对玉米出苗和生长发育不利。对不同耕作处理(不覆膜)苗期播种行土壤紧实度的监测(图 3)结果表明,不同处理犁底层约为 15 cm,犁底层以下不同耕作处理紧实度基

本没有差异,主要差异在 15 cm 以内。其中,条耕+秸秆半覆盖和常规旋耕+露地种植各自在不同年份间没有差异,条耕+秸秆半覆盖土壤紧实度约为常规旋耕+露地处理的 2.6 倍。而免耕+秸秆半覆盖 15 cm 之内土壤紧实度在 2011 年则极显著大于常规旋耕+露地种植和条耕+秸秆半覆盖($P<0.01$),但随着免耕年限的延长,土壤紧实度逐步降低,免耕第 1 年为常规旋耕的 4.6 倍,第 3 年明显降低为常规旋耕的 3.4 倍,第 6 年为常规旋耕的 3.0 倍。一般认为阻止根系伸展的土壤紧实度临界值为 2 000 kPa^[8]。本研究中,不同处理 45 cm 之内最大土壤紧实度均未超过 2 000 kPa,因此对玉米生长发育不会造成明显影响。

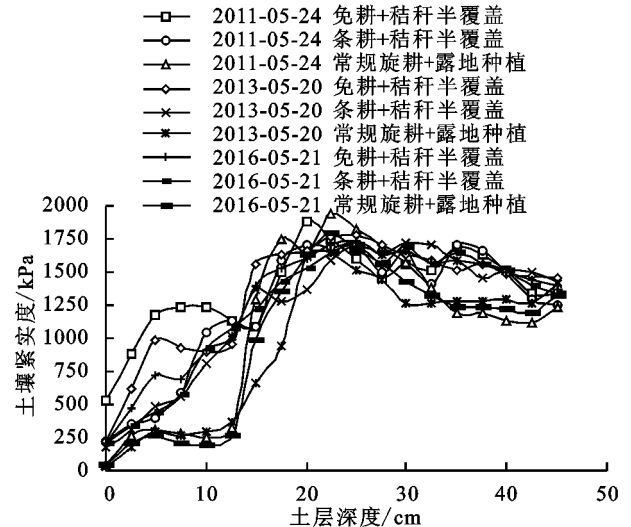


图 3 不同处理土壤紧实度变化

2.4 不同处理对苗期表层土壤温度的影响

土壤温度是作物生长发育的必需条件,但在冷凉区,土壤低温可能成为作物生长发育的限制条件。保护性耕作都有降低地温的作用,以 2011 年不同处理

玉米苗期地温为例(图 4),不论是覆膜还是不覆膜处理,免耕在不同耕作处理中的地温最低,条耕次之,常规旋耕地温最高。其中,免耕+二元覆盖、条耕+二元覆盖分别较常规旋耕+地膜覆盖日平均地温降低了 0.2、0.1 °C(5 cm)和 0.8、0.3 °C(10 cm);免耕+秸秆半覆盖、条耕+秸秆半覆盖分别较常规旋耕+露

地种植日平均地温降低了 0.7、0.4 °C(5 cm)和 1.5、1.0 °C(10 cm)。不同耕作处理在覆膜处理以后,相同层次土壤温度之间的差异明显小于不覆膜处理,表明地膜覆盖可明显减轻由免耕或条带耕作引起的“降温效应”。同时,保护性耕作对表层土壤还可起到提高日最低地温,使土壤温度保持相对稳定的作用。

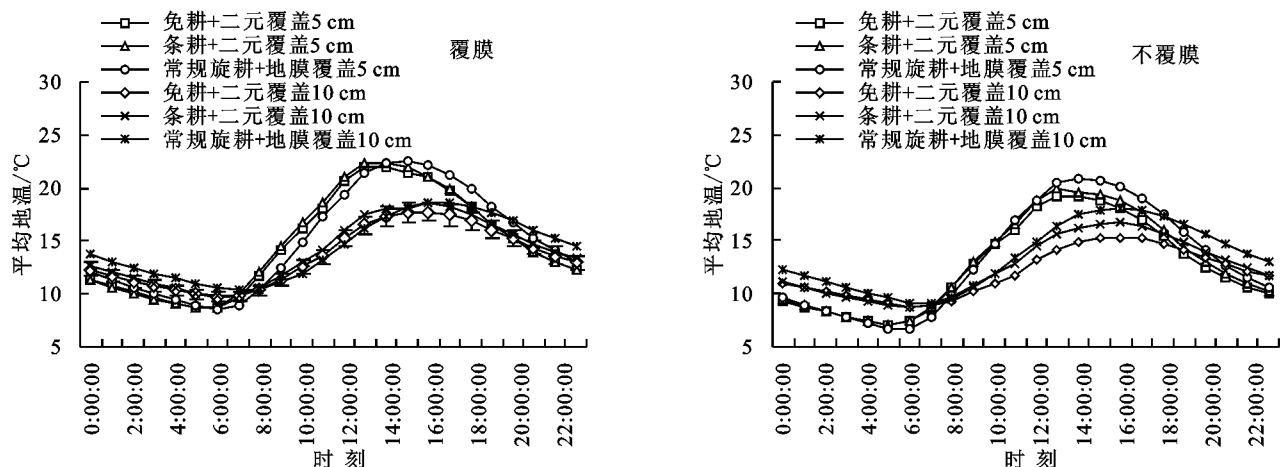


图 4 2011 年不同处理玉米苗期平均地温日变化

2.5 不同处理对 0—20 cm 土壤有机质含量的影响

保护性耕作由于不同的土壤耕作方式以及覆盖条件,因此土壤有机质含量明显不同(图 5)。保护性耕作 3~5 年后,0—20 cm 土壤有机质含量较常规旋耕有显著增加。其中耕作覆盖处理 3 年后,免耕和条耕土壤培肥效应明显,平均较常规旋耕增加了土壤有机质含量 1.5 g/kg(覆膜)和 1.2 g/kg(不覆膜),增幅为 13.5%和 10.5%,且免耕处理有机质含量极显著高于条耕处理($P<0.01$)。保护性耕作 5 年后,土壤培肥效应出现叠加效应,免耕和条耕平均较常规旋耕增加了土壤有机质含量 2.6 g/kg(覆膜)和 2.8 g/kg(不覆膜),增幅为 19.0%和 21.0%。

出不同的产量变化情况(表 3)。保护性耕作有明显的降温作用,但由于和地膜覆膜相结合,弥补了降温的不利影响,因此,免耕+二元覆盖、条耕+二元覆盖在不同年份都表现出增产作用,2011—2016 年分别较常规旋耕+地膜覆盖平均增产 4.4%和 6.9%,其中,条耕+二元覆盖经济平均产量极显著大于常规旋耕+地膜覆盖($P<0.01$)。不覆膜处理中,由于保护性耕作明显的降温作用,不同气候年型表现出不同的增产或减产状况,其中免耕较少耕对产量的形成更为不利,免耕+秸秆半覆盖平均较常规旋耕+露地种植减产 1.8%,条耕+秸秆半覆盖平均较常规旋耕+露地种植增产 3.8%,但三者之间都没有显著差异。其中,2013 年为丰水年,不论是覆膜种植还是不覆膜种植,保护性耕作都表现出显著的增产效应,免耕+二元覆盖、条耕+二元覆盖分别较常规旋耕+地膜覆盖增产 18.3%和 16.3%,免耕+秸秆半覆盖、条耕+秸秆半覆盖分别较常规旋耕+露地种植增产 11.8%和 12.0%,可能由于该年份土壤水分和温度都不是玉米生长的主要限制因子,而保护性耕作有明显的土壤培肥作用,因此都表现出显著的增产效应。所有组合中以条耕+二元覆盖经济产量最高,是冷凉区旱地玉米最为适宜的保护性耕作措施。

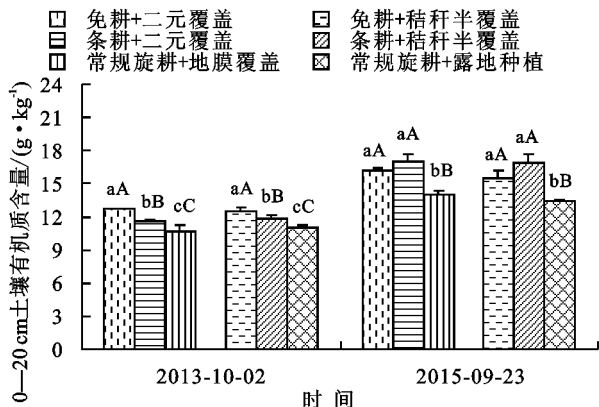


图 5 不同处理 0—20 cm 土壤有机质比较

2.6 不同处理对旱地玉米经济产量的影响

随着试验处理年份的增加,保护性耕作表现出明显的蓄水保墒和土壤培肥效应,但由于冷凉区土壤低温是作物生长发育的限制因素,因此,不同年份表现

3 讨论

本研究中保护性耕作的蓄水保墒作用得到了明显体现,其中,6 个周年期内,免耕+二元覆盖、条耕+二元覆盖分别较常规旋耕+地膜覆盖平均增加 0—200 cm 土壤贮水量 20.8、32.1 mm,免耕+秸秆半覆盖、条耕+

秸秆半覆盖分别较常规旋耕+露地种植平均增加 0—200 cm 土壤贮水量 24.3,16.3 mm,且随着保护性耕作年份的增加,其蓄水保墒叠加效应明显。这与赵如浪等^[9]的研究结果一致,即由于保护性耕作不同的耕作和覆盖处理,都能减少地面径流,提高土壤导水率,增加降水入渗^[9],同时可有效保持土壤水分,减轻土壤水分的无效蒸发^[10]。因此,能够显著提高土壤贮水量和表层土壤含水量^[3,6-7]。

土壤紧实度是影响作物生长和产量形成的土壤结构方面的重要指标,过松或过紧耕层影响土壤养分、水分、通气等的协调和有效性,从而影响作物生长发育^[8]。本研究中,不同耕作覆盖处理土壤紧实度差异主要在 15 cm 内,常规旋耕和条耕土壤紧实度不

同年份没有显著差异,而免耕第 1 年土壤紧实度最高,以后逐年下降。雷金银等^[11]和潘雅文等^[12]得到了相同的结论,即长期免耕非但没有增加土壤容重,反而降低了容量。主要由于免耕、少耕避免了土壤被机具压实的可能,增加了土壤中生物的活动^[13],形成了良好土体结构,使土壤有效毛细管增多,因此土壤容重在一定程度上有所降低。但也有研究^[14]表明,实施免耕多年后,土壤压实程度会越来越严重,从而制约了免耕保护性耕作法的进一步发展。此外,还有研究^[15]报道,不同保护性耕作实施多年土壤容重没有显著差异^[15]。这可能与保护性耕作持续的年限、覆盖量的多寡以及测定位置和测定时期有很大的关系^[11]。

表 3 不同处理对旱地玉米经济产量的影响

年份	免耕、条耕+覆膜						免耕、条耕+不覆膜					
	免耕+二 元覆盖/ (kg·hm ⁻²)	条耕+二 元覆盖/ (kg·hm ⁻²)	常规旋耕+ 地膜覆盖/ (kg·hm ⁻²)	产量平均值/ (kg·hm ⁻²)	覆盖较常 规旋耕+ 地膜覆盖/%	条耕+二元 覆盖较常 规旋耕+ 地膜覆盖/%	免耕+秸秆 半覆盖/ (kg·hm ⁻²)	条耕+秸秆 半覆盖/ (kg·hm ⁻²)	常规旋耕+ 露地种植/ (kg·hm ⁻²)	产量平均值/ (kg·hm ⁻²)	免耕+秸秆 半覆盖较 常规旋耕+ 露地种植/%	条耕+秸秆 半覆盖较 常规旋耕+ 露地种植/%
2011	11557.5aA	11862.0aA	11424.0aA	11614.5aA'	1.2	3.8	8449.5aA	8481.0aA	8056.0bA	8328.8bB'	4.9	5.3
2012	11471.5bB	12156.4aA	11361.0bB	11663.0aA'	1.0	7.0	8277.6bA	9167.8aA	8783.1aA	8742.8bB'	-5.8	4.4
2013	11177.9aA	10997.2aA	9447.2bB	10540.8aA'	18.3	16.4	9018.3aA	9041.1aA	8069.7bB	8709.7bB'	11.8	12.0
2014	10572.0aA	10837.5aA	10411.5aA	10607.0aA'	1.5	4.1	8221.7bB	9279.1aA	8590.7bB	8697.1bB'	-4.3	8.0
2015	10690.5abAB	11190.0aA	10423.5bB	10768.0aA'	2.6	7.4	8941.5bB	9711.0aA	9885.0aA	9512.5bB'	-9.5	-1.8
2016	11955.4aA	12019.5aA	11542.0aA	11839.0aA'	3.6	4.1	7807.7aA	7912.5aA	8240.7aA	7987.0bB'	-5.3	-4.0
平均值	11237.5abAB	11510.4aA	10768.2bB	11172.0aA'	4.4	6.9	8452.7aA	8932.1aA	8663.0aA	8647.8bB'	-1.8	3.8

注:表中同行数字后不同小写字母表示各处理间差异显著($P<0.05$);不同大写字母表示各处理间差异达极显著($P<0.01$)带“'”为平均值之间比较。

本研究结果表明,不同形式保护性耕作有明显的降温效应,对低温是农业生产主要限制因子的冷凉区来讲,是非常不利的^[16-17]。其中免耕+二元覆盖、条耕+二元覆盖分别较常规旋耕+地膜覆盖日平均地温降低 0.2,0.1℃(5 cm)和 0.8,0.3℃(10 cm);免耕+秸秆半覆盖、条耕+秸秆半覆盖分别较常规旋耕+露地种植日平均地温降低 0.7,0.4℃(5 cm)和 1.5,1.0℃(10 cm)。已有研究^[11-12]也显示,免耕容易造成土壤的“降温效应”,对春季土壤温度影响最大,对生育期有限的北方粮食生产造成较大影响^[18-19]。保护性耕作降温的机理研究^[20]认为,传统耕作处理经过翻耕,疏松的土壤结构毛管被切断,热传导慢,蒸发潜热损失少,因而增温快;而免耕、少耕水分连续均匀分布,热传导快,蒸发强,蒸发潜热损耗多,增温慢。同时保护性耕作在秸秆覆盖后,使得地表接受太阳辐射较少,加之土壤含水量高,土壤热容量增加,致使土壤温度偏低,造成“低温效应”^[18-19]。本研究中,保护性耕作和地膜覆盖相结合,可明显减轻由免耕或条带耕作引起的“降温效应”。

土壤有机质为作物生长发育提供养分的仓库,是判断土壤肥瘦标准的重要指标之一。保护性耕作 3

年后,免耕和条耕平均较常规旋耕增加了 0—20 cm 土壤有机质含量 1.5 g/kg(覆膜)和 1.2 g/kg(不覆膜),保护性耕作 5 年后,免耕和条耕平均较常规旋耕增加了土壤有机质含量 2.6 g/kg(覆膜)和 2.8 g/kg(不覆膜)。保护性耕作培肥地力一方面是由于覆盖秸秆的腐解直接增加了土壤的有机质含量;另一方面可能是由于保护性耕作后低温影响了原有土壤有机质的矿化速度^[3,21-22]。也有研究^[12]表明,保护性耕作后有机质含量降低,可能与土壤温度较低地上生物量常年偏少导致进入土壤有机质较少有关。

本研究中,条耕+二元覆盖产量显著高于常规旋耕+地膜覆盖,多年平均增产 6.9%,而免耕+二元覆盖和常规旋耕+地膜覆盖产量之间没有显著差异;免耕+秸秆半覆盖、条耕+秸秆半覆盖、常规旋耕+露地种植多年平均产量之间没有显著差异,且由于水、热主要矛盾的转化,免耕+秸秆半覆盖和条耕+秸秆半覆盖较常规旋耕+露地种植表现出不同的产量变化情况。很多研究^[3,5-6,11,23]结果也表明,保护性耕作增产的正面效应,但是有关免耕和少耕减产现象出现的概率也较高^[12]。本研究中保护性耕作的“降温效应”是造成减产的主要原因。条耕+二元覆盖由

于有地膜覆盖,弥补了由于保护性耕作造成的低温效应,协调了土壤水肥气热关系,改善了土壤水分、土壤温度、土壤有机质等土壤物理化学性质,最终达到高产的目的^[3,5,7,12]。而免耕+秸秆半覆盖、少耕+秸秆半覆盖虽然蓄水保墒、培肥土壤,但由于降温的作用,限制了产量的发挥,不适宜冷凉区推广应用^[18-19]。

4 结论

干旱缺水、低温冷凉和肥力下降是山西冷凉区旱地玉米可持续增产的主要限制因子,条耕+二元覆盖综合改善了土壤水分、土壤温度、土壤肥力、土壤紧实度等物理化学性状,最终提高了旱地玉米产量,为可持续增产奠定了基础,是目前冷凉区旱地玉米生产最适宜的保护性耕作措施。

(1)保护性耕作提高了蓄水保墒能力,免耕+二元覆盖、条耕+二元覆盖分别较常规旋耕+地膜覆盖平均增加了 0—200 cm 土壤贮水量 20.8,32.1 mm;免耕+秸秆半覆盖、条耕+秸秆半覆盖分别较常规旋耕+露地种植平均增加了 0—200 cm 土壤贮水量 24.3,16.3 mm。

(2)保护性耕作增加了 15 cm 之内的土壤紧实度,其中条耕土壤紧实度平均为常规旋耕的 2.6 倍,免耕第 1 年土壤紧实度最高,为常规耕作的 4.6 倍,以后逐年下降。

(3)长期保护性耕作后土壤有机质得到明显提高。保护性耕作 3 年后,免耕和条耕平均较常规旋耕增加 0—20 cm 土壤有机质含量 1.5 g/kg(覆膜)和 1.2 g/kg(不覆膜),保护性耕作 5 年后,免耕和条耕平均较常规旋耕增加土壤有机质含量 2.6 g/kg(覆膜)和 2.8 g/kg(不覆膜)。

(4)保护性耕作有明显的降温作用。免耕+二元覆盖、条耕+二元覆盖分别较常规旋耕+地膜覆盖日平均地温降低 0.2,0.1 °C(5 cm)和 0.8,0.3 °C(10 cm);免耕+秸秆半覆盖、条耕+秸秆半覆盖分别较常规旋耕+露地种植日平均地温降低 0.7,0.4 °C(5 cm)和 1.5,1.0 °C(10 cm)。

(5)免耕+二元覆盖、条耕+二元覆盖分别较常规旋耕+地膜覆盖平均增产 4.4% 和 6.9%,条耕+二元覆盖经济产量显著大于常规旋耕+地膜覆盖;免耕+秸秆半覆盖、条耕+秸秆半覆盖、常规旋耕+露地种植经济产量之间均没有显著差异。

参考文献:

- [1] 张冬梅,张伟,刘恩科,等.早熟区不同播期旱地玉米产量对施肥水平和种植密度的响应[J].中国生态农业学报,2013,21(12):1449-1458.
- [2] 张冬梅,姜春霞,黄学芳,等.早熟区不同熟期玉米品种产量对播期和施肥方式的响应[J].中国农学通报,2015,31(24):59-66.
- [3] 王碧胜,蔡典雄,武雪萍,等.长期保护性耕作对土壤有机碳和玉米产量及水分利用的影响[J].植物营养与肥

料学报,2015,21(6):1455-1464.

- [4] 李玉洁,王慧,赵建宁,等.耕作方式对农田土壤理化因子和生物学特性的影响[J].应用生态学报,2015,26(3):939-948.
- [5] 李龙,郝明德,王缠军,等.渭北旱塬保护性耕作对春玉米产量及水分利用效率的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2014,42(12):46-52.
- [6] 尚金霞,李军,贾志宽,等.渭北旱塬春玉米田保护性耕作蓄水保墒效果与增产增收效应[J].中国农业科学,2010,43(13):2668-2678.
- [7] 刘爽,张兴义.保护性耕作下黑土水热动态研究[J].干旱地区农业研究,2010,28(6):15-22.
- [8] Zhu Y G, Chen S B, Yang J C, et al. Effects of soil amendments on lead uptake by two vegetable crops from a lead-contaminated soil from Anhui, China[J]. Environment International,2004,30(3):351-356.
- [9] 赵如浪,冯佰利,蒋树怀,等.黄土高原旱地保护性耕作农田土壤团聚体特性变化研究[J].中国农业大学学报,2011,16(4):74-79.
- [10] 王育红,姚宇卿,蔡典雄,等.豫西旱坡地长期定位保护性耕作研究:Ⅲ.综合效益分析[J].干旱地区农业研究,2010,28(5):52-58.
- [11] 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.
- [12] 潘雅文,樊军,郝明德,等.黄土塬区长期不同耕作、覆盖措施对表层土壤理化性状和玉米产量的影响[J].植物营养与肥料学报,2016,22(6):1558-1567.
- [13] 彭文英,彭美丽,吴晓展.免耕对粮食作物产量的影响[J].干旱地区农业研究,2011,29(2):95-100.
- [14] 舒馨,朱安宁,张佳宝,等.保护性耕作对潮土物理性质的影响[J].中国农学通报,2014,30(6):175-181.
- [15] Kahlon M S, Lal R, Ann M. Twenty two years of tillage and mulching impacts on soil physical characteristics and carbon sequestration in Central Ohio[J]. Soil and Tillage Research,2013,126(1):151-158.
- [16] 张雯,丛巍巍,赵洪亮,等.免耕条件下玉米残茬处理对农田表层土壤结构性能的影响[J].干旱地区农业研究,2010,28(3):79-82.
- [17] Fabrizio K P, Garcia F O, Costa J L, et al. Soil water dynamics, physical properties and corn and wheat responses to minimum and no-tillage systems in the southern Pampas of Argentina[J]. Soil and Tillage Research,2005,81(1):57-69.
- [18] Zhang S L, Zhang X Y, Huffman T, et al. Soil loss, crop growth, and economic margins under different management systems on a sloping field in the black soil area of Northeast China[J]. Journal of Sustainable Agriculture,2011,35(3):293-311.
- [19] 张兴义,陈强,陈渊,等.东北北部冷凉区免耕土壤的特性及作物效应[J].中国农业科学,2013,46(11):2271-2277.

- 产量效益的影响[J]. 核农学报, 2013, 27(2): 219-224.
- [5] 刘凯, 张吉旺, 郭艳青, 等. 施磷量对高产夏玉米产量和磷素利用的影响[J]. 山东农业科学, 2016, 48(4): 61-65.
- [6] 杜红霞, 吴普特, 王百群, 等. 施磷对夏玉米土壤硝态氮、吸氮特性及产量的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2009, 37(8): 121-126.
- [7] Miao Y, Stewart B A, Zhang F. Long-term experiments for sustainable nutrient management in China: A review [J]. *Agronomy for Sustainable Development*, 2011, 31(2): 397-414.
- [8] 李云开, 杨培岭, 刘洪禄. 保水剂在农业上的应用技术与效应[J]. 节水灌溉, 2002(2): 12-16.
- [9] Liao R K, Yang P L, Yu H L, et al. Establishing and validating a root water uptake model under the effects of super absorbent polymers[J]. *Land Degradation and Development*, 2018, 29(5): 1478-1488.
- [10] Liao R K, Yang P L, Zhu Y H, et al. Modeling soil water flow and quantification of root water extraction from different soil layers under multi-chemicals application in dry land field[J]. *Agricultural Water Management*, 2018, 203: 75-86.
- [11] Liao R K, Zhang Z, Yang P L, et al. Physiological regulation mechanism of multi-chemicals on water transport and use efficiency in soil-maize system[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2017, 172: 1289-1297.
- [12] 黄占斌, 孙朋成, 钟建, 等. 高分子保水剂在土壤水肥保持和污染治理中的应用进展[J]. 农业工程学报, 2016, 32(1): 125-131.
- [13] 苟春林, 王新爱, 李永胜, 等. 保水剂与氮肥的相互影响及节水保肥效果[J]. 中国农业科学, 2011, 44(19): 4015-4021.
- [14] 李永胜, 苟春林, 杜建军, 等. 保水剂与磷肥的相互影响及节水保肥效果[J]. 水土保持研究, 2014, 21(6): 67-71.
- [15] 杜建军, 苟春林, 崔英德, 等. 保水剂对氮肥挥发和氮磷钾养分淋溶损失的影响[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(4): 1296-1301.
- [16] 廖人宽, 张志成, 任树梅, 等. 化学集成调控技术对土壤水氮与玉米产量的影响[J]. 农业机械学报, 2014, 45(6): 166-171.
- [17] 白文波, 王春艳, 李茂松, 等. 不同灌溉条件下保水剂对新疆棉花生长及产量的影响[J]. 农业工程学报, 2010, 26(10): 69-76.
- [18] 朱元浩, 杨培岭, 杜鑫, 等. 利用氢氧稳定同位素探究保水剂对玉米根系作用机理[J]. 灌溉排水学报, 2016, 35(10): 42-46.
- [19] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [20] 黄振喜, 王永军, 王空军, 等. 产量 15 000 kg/hm² 以上夏玉米灌浆期间的的光合特性[J]. 中国农业科学, 2007, 40(9): 1898-1906.
- [21] 黄智鸿, 王思远, 包岩, 等. 超高产玉米品种干物质积累与分配特点的研究[J]. 玉米科学, 2007, 15(3): 95-98.
- [22] 张颖. 不同产量类型春玉米养分吸收特点及其分配规律的研究[J]. 玉米科学, 1997, 5(3): 70-72.
- [23] 宋海星, 李生秀. 玉米生长量、养分吸收量及氮肥利用率的动态变化[J]. 中国农业科学, 2003, 36(1): 71-76.
- [24] 王云奇, 陶洪斌, 杨利华, 等. 氮肥管理对夏玉米冠层结构和氮肥吸收利用的影响[J]. 玉米科学, 2013, 21(3): 125-130.
- [25] Islam M R, Hu Y, Mao S, et al. Effectiveness of a water-saving super-absorbent polymer in soil water conservation for corn (*Zea mays* L.) based on eco-physiological parameters[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2011, 91(11): 1998-2005.
- [26] 范秀艳, 杨恒山, 高聚林, 等. 施磷方式对高产春玉米磷素吸收与磷肥利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(2): 312-320.
- [27] 栗丽, 洪坚平, 王宏庭, 等. 施氮与灌水对夏玉米土壤硝态氮积累、氮素平衡及其利用率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(6): 1358-1365.
- [28] Zhang W, Chen X X, Liu Y M, et al. The role of phosphorus supply in maximizing the leaf area, photosynthetic rate, coordinated to grain yield of summer maize[J]. *Field Crops Research*, 2018, 219: 113-119.
- [29] 黄震, 黄占斌, 李文颖, 等. 不同保水剂对土壤水分和氮素保持的比较研究[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(2): 245-249.
- [30] 王宜伦, 刘天学, 赵鹏, 等. 施氮量对超高产夏玉米产量与氮素吸收及土壤硝态氮的影响[J]. 中国农业科学, 2013, 46(12): 2483-2491.
- [31] 杜红霞, 吴普特, 冯浩, 等. 氮磷肥配施对夏玉米土壤含水量及水分利用效率的影响[J]. 灌溉排水学报, 2009, 28(3): 12-15.
- [32] 程闯胜, 任树梅, 杨培岭, 等. 保水剂对大田雨养玉米水肥利用效率影响的试验研究[J]. 灌溉排水学报, 2014, 33(6): 141-144.

(上接第 228 页)

- [20] 王宏立, 张伟. 不同保护性耕作方式对东北寒地旱作区土壤温度的影响[C]//2010 年国际农业工程大会论文集, 2010, 11: 335-338.
- [21] Stockfisch N, Forstreuter T, Ehlers W. Ploughing effects on soil organic matter after twenty years of conservation tillage in Lower Saxony, Germany[J]. *Soil Tillage Research*, 1999, 52(1/2): 91-101.
- [22] 张建军, 王勇, 樊廷录, 等. 耕作方式与施肥对陇东旱塬冬小麦—春玉米轮作农田土壤理化性质及产量的影响[J]. 应用生态学报, 2013, 24(4): 1001-1008.
- [23] 武均, 蔡立群, 罗珠珠, 等. 保护性耕作对陇中黄土高原雨养农田土壤物理性状的影响[J]. 水土保持学报, 2014, 28(2): 112-117.