

# 宁南山区保护性农业措施对冬小麦 农田休闲期土壤水分的影响

董立国<sup>1</sup>, 袁汉民<sup>2</sup>, 蔡进军<sup>1</sup>, ALLEND · McHugh<sup>3</sup>,  
潘占兵<sup>1</sup>, 马 璠<sup>1</sup>, 张源润<sup>1</sup>, 李生宝<sup>2</sup>

(1. 宁夏农林科学院 荒漠化治理研究所, 宁夏 银川 750002;

2. 宁夏农林科学院, 宁夏 银川 750002; 3. 国际玉米小麦改良中心, 墨西哥 埃尔巴丹 56 237)

**摘 要:** [目的] 研究宁南山区冬小麦农田休闲期保护性农业措施对土壤水分的影响, 为该区降雨资源的高效利用以及保护性农业的可持续发展提供理论依据。[方法] 基于不同时期多个保护性农业试验土壤水分数据比较分析。[结果] (1) 在干旱的情况下, 免耕留茬处理能够显著增加土壤表层(0—20 cm)含水量。(2) 在免耕的情况下, 随着秸秆留茬高度的增加, 土壤水分呈现增加趋势。(3) 在降雨量较大且降雨量具有连续性的情况下, 常规耕作处理在土壤表层保蓄了较多的土壤水分(0—20 cm), 免耕秸秆覆盖处理能够增加土壤 20—80 cm 土壤水分含量。(4) 冬小麦休闲期种植豆科作物, 降低了土壤水分, 其降低幅度与降雨量以及种植密度有关, 种植密度越大, 对土壤水分的影响越大。[结论] 免耕+留茬耕作措施能够提高冬小麦农田休闲期土壤水分含量, 覆盖作物降低了休闲期土壤水分含量。

**关键词:** 保护性农业; 冬小麦农田休闲期; 土壤水分; 覆盖作物; 绿肥; 宁南山区

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2015)06-0047-06

中图分类号: S152.7

## Effects of Conservation Agriculture Measures on Soil Moisture of Winter Wheat During Fallow Period in Southern Mountain Area of Ningxia Region

DONG Ligu<sup>1</sup>, YUAN Hanmin<sup>2</sup>, CAI Jinjun<sup>1</sup>, ALLEND · McHugh<sup>3</sup>,  
PAN Zhanbing<sup>1</sup>, MA Fan<sup>1</sup>, ZHANG Yuanrun<sup>1</sup>, LI Shengbao<sup>2</sup>

(1. Institute of Desertification Control, Ningxia Academy of Agriculture and Forestry Science, Yinchuan, Ningxia 750002, China; 2. Ningxia Academy of Agriculture and Forestry Science, Yinchuan, Ningxia 750002, China; 3. International Maize and Wheat Improvement Center, EI Batan 56237, Mexico)

**Abstract:** [Objective] Soil moisture under conservation agriculture measures during winter wheat fallow period in southern mountain area of Ningxia Hui Autonomous Region was investigated in order to provide a theoretical basis for the effective utilization of precipitation resources. [Methods] Soil moisture storages of more than one field trials at different phases were assessed. [Results] (1) Soil moisture in the soil surface(0—20 cm) increased with stubble retention and no tillage under drought conditions. (2) Under the measure of no-till, soil moisture showed an increasing trend with the increase of straw stubble height. (3) When large or consecutive rainfall event happened, soil moisture increased at depths of 20—80 cm under the measure of no-tillage; whereas, an increase occurred at top layer of 0—20 cm under conventional tillage. (4) Plantation of cover crop(chickpea) during the fallow period of winter wheat could decreased soil moisture(0—60 cm). The decrement mainly depended upon precipitation amount and planting density. [Conclusion] Measures of no-till and stubble retention can improve soil moisture in winter wheat fallow period; while cover crop can potentially reduce soil moisture.

**Keywords:** conservation agriculture; fallow period of winter wheat field; soil moisture; cover crops; green manure; Southern Mountain Area of Ningxia Autonomous Region

收稿日期: 2014-11-11

修回日期: 2014-12-03

资助项目: 宁夏农林科学院自主研发项目“宁南山区水土保持耕作措施对土壤关键因子的响应”(NKYJ-13-07), “宁南山区典型水土保持措施下土壤水分和养分变化特征及机理研究”(NKYJ-15-19); 宁夏自然科学基金项目(NZ12247); 宁夏环境保护科研项目(20120803); 国家科技支撑计划项目(2015BAC01B01); 宁夏科技支撑重点项目(2012ZZS50)。

第一作者: 董立国(1980—), 男(汉族), 宁夏自治区青铜峡市人, 硕士, 助理研究员, 主要从事农业水资源与环境、生态修复、生态农业等研究工作。E-mail: dlq0303@163.com。

土壤水分是土壤内部物理、化学和生物过程不可缺少的介质,不仅影响土壤物理、化学和生物学性质,关系土壤中养分溶解、转移和微生物活动,而且是植物生长发育重要条件,在旱作农业区尤为重要。保护性农业是一种关于水土资源保护和农业可持续发展的重要措施<sup>[1-2]</sup>,是当前农学和资源环境领域的重要研究课题,其理念对农业的可持续发展具有重要的指导意义,将这一理念应用到作物休闲期土壤水分的保持上将对现有田间管理措施具有重要意义。冬小麦农田休闲期主要指从冬小麦收获后到播种下一茬作物(冬小麦)的时间,本研究主要针对的时间为从 6 月中下旬冬小麦收获开始到 9 月上旬再次种植冬小麦的时间间隔。在黄土高原尤其是雨养农业区,如何利用好这一阶段各种资源,对区域农业发展具有重要作用。李青等<sup>[3]</sup>在山西省闻喜县研究得出休闲期施肥与覆盖处理均改善了土壤水分状况和增加土壤产量,其中有机肥+地膜覆盖效果最好。白冬等<sup>[4]</sup>在山西闻喜县研究得出休闲期雨后深翻覆盖能够提高产量、水分利用效率、氮素吸收效率及氮素生产效率,其中渗水地膜覆盖效果更好。温斐斐等<sup>[5]</sup>在山西省闻喜县研究得出旱地小麦休闲期等雨后深翻有利于提高土壤蓄水量与水分利用效率,深翻后覆盖有较大的调控效应,且采用渗水地膜覆盖效果更好。刘爽等<sup>[6]</sup>研究得出免耕和深松覆盖处理可以显著增加土壤含水率,具有良好的保墒作用,深松覆盖作物产量和水分利用效率最高,其次为免耕处理,深翻处理效果较差。

宁南山区位于我国黄土高原的腹地、宁夏回族自治区南部,包括原州区、西吉、海原、隆德、泾源、彭阳、盐池、同心等县区及部分地区。该区域是我国黄土高原的典型代表区。干旱少雨、水资源短缺、生态系统结构功能失调是该区域持续发展的严重制约因素。本研究以冬小麦休闲期土壤水分为对象,采用不同的田间处理措施,分析土壤水分变化特征,为宁南山区及类似区域降雨资源的高效利用以及保护性农业的可持续发展提供理论依据。

## 1 研究区概况

本研究选择位于宁夏回族自治区彭阳县城东北 21 km 处的中庄村,属于典型的温带大陆性气候,地貌类型属黄土高原腹部梁峁丘陵地,年平均降水量 433.6 mm(22 a)左右,分明显的旱季和雨季,其中 50%~75%集中在 6—9 月份。3—5 月的降水量,只有全年降水量的 10%~20%。年平均气温 7.4℃,≥10℃的积温为 2 200~2 750℃,地面平均气温 8~9℃,7 月最高,平均为 22~23℃;1 月最低,平均为

-8℃左右。一般 11 月中下旬土壤结冻,至翌年 3 月初开始解冻。最大冻土深度一般超过 100 cm。日照时数为 2 200~2 700 h,日照百分率为 50%~65%,一年之中,6 月日照时数最多,9 月日照时数最少。近 10 a 的干燥度为 1.40~3.04(可能蒸散量/降雨量),无霜期 140~160 d。主要气象灾害有干旱、霜冻、冰雹等。干旱是该区发生次数多、影响面广、危害最严重的农业气象灾害。

## 2 研究方法

### 2.1 试验设计

2.1.1 冬小麦不同留茬高度试验 共包括 2 个试验:(1)自 2006 年 7 月份麦收后留茬开始,设置常规耕作(CK)(麦收后犁地 15 cm,雨季耙耱收墒,9 月 17 号左右开沟播种)、留茬 15 cm(9 月 17 号左右直接开沟播种)和留茬 30 cm(9 月 17 号左右直接开沟播种),共 3 个处理,每个处理布设 1 根 1 m 长 TDR 水分测试管,小区面积为 20 m<sup>2</sup>。(2)自 2006 年 7 月份麦收后留茬开始,设置留茬 5 cm(麦收后时留茬 5 cm)、留茬 15 cm(麦收后时留茬 15 cm)和留茬 30 cm(麦收后时留茬 30 cm),共 3 个处理,每个处理布设 2 根 1 m 长 TDR 水分测试管,小区面积为 50 m<sup>2</sup>,2007 年冬麦收获后将留茬 5 cm 处理进行翻耕作为对照(CK),保留留茬 15 cm(麦收后时留茬 15 cm)和留茬 30 cm(麦收后时留茬 30 cm)处理,继续进行土壤水分的调查。其他操作同大田。

2.1.2 冬小麦不同保护性农业措施试验 本试验自 2013 年 7 月开始,随机区组设计,设置常规耕作、免耕+秸秆覆盖和免耕+种植覆盖作物(三角豆)共 3 个处理,随机区组设计,3 次重复,每个小区布设一根 2 米长 TDR 水分测试管,7—23 日旋耕土地、布设 TDR 水分测试管,7 月 24 日开始测定土壤水分,截止种植冬麦前共测定 3 次。播种冬麦时(9—11)三角豆干重为 772.5 kg/hm<sup>2</sup>。其他操作同大田。

2.1.3 冬小麦休闲期种植绿肥试验 自 2012 年 7 月开始,随机区组设计,设置常规耕作和种植绿肥共 2 个处理,重复 3 次。翻压期绿肥(三角豆)鲜重达到 6 388.5 kg/hm<sup>2</sup>。其他操作同大田。

### 2.2 测定项目及方法

时域反射仪 TDR(time domain reflectometry)测定土壤水分:根据布设 TDR 水分测试管数量进行土壤水分的测定,测定的土壤深度分别为 0—60 cm,0—100 cm 或 0—200 cm,土壤层次为:0—20 cm,20—40 cm,40—60 cm,60—80 cm,80—100 cm,

100—120 cm, 120—140 cm, 140—160 cm, 160—180 cm 和 180—200 cm。

采用称重法测定土壤水分: 试验 3 土壤水分采用称重法测试, 每小区取混合样进行测试, 重复 3 次, 测定的土壤深度分别为 0—60 cm。

### 3 结果与分析

#### 3.1 冬小麦不同留茬高度对土壤水分的影响

免耕是一种节约能源和保护土壤的重要耕作措施, 对不同留茬高度免耕措施土壤水分的调查对进一步发展免耕农业具有重要意义。通过对 2006 年常规

耕作、留茬 15 cm 秸秆和留茬 30 cm 秸秆处理土壤水分的调查(图 1)。由图 1 可以看出, 不同处理土壤水分存在差异, 免耕留茬在表层具有一定的保水效果, 在冬麦播种期, 0—20 cm 土壤层次, 留茬 15 cm 和留茬 30 cm 比常规耕作增加 0.9% 和 11.7%; 在 20—40 cm 土壤层次, 有可能与 8 月份降雨量较大有关, 留茬 15 cm 和留茬 30 cm 比常规耕作增加减少了 23.2% 和 10.6%; 在 40—60 cm 土壤层次, 留茬 30 cm 比常规耕作增加 17.3%。本试验土壤水分测定主要基于每个处理 1 个 TDR 管, 试验结果有待进一步验证。

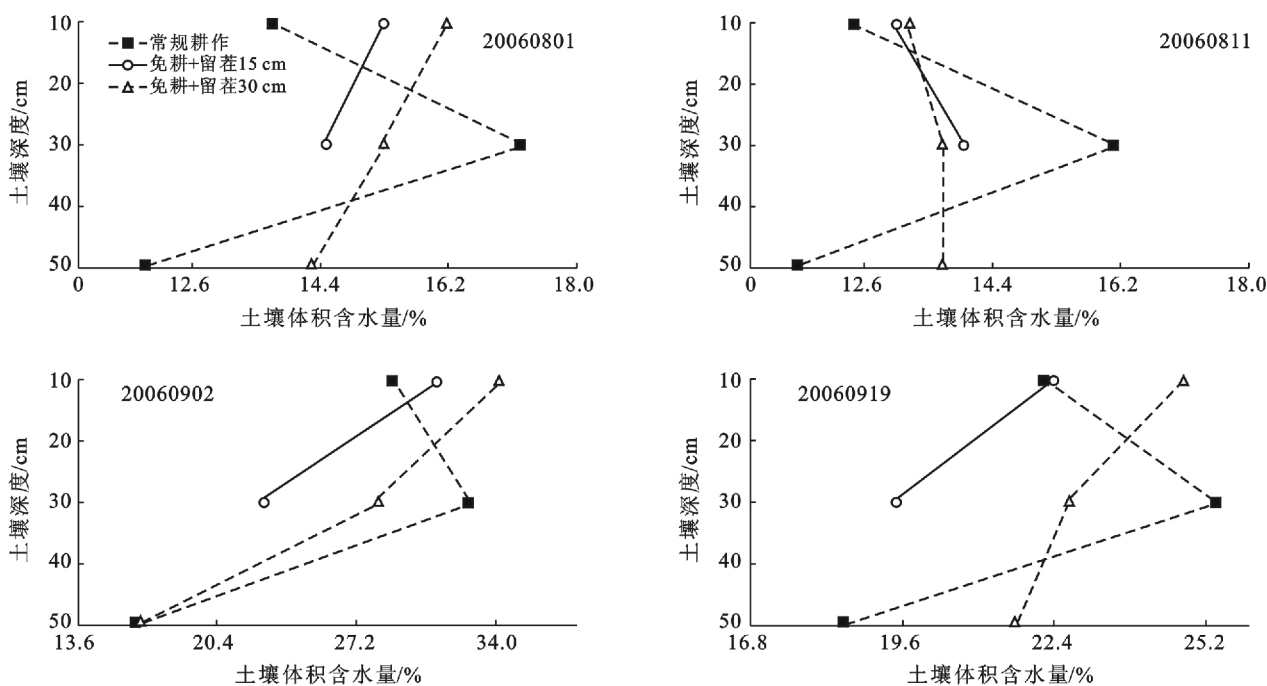


图 1 研究区 2006 年常规耕作和不同留茬高度土壤水分变化

通过对研究区域 2007 年常规耕作、留茬 15 cm 秸秆和留茬 30 cm 秸秆处理条件下土壤水分的调查(图 2)。由图 2 可以看出, 不同处理土壤水分存在差异, 但总体趋势为免耕留茬具有一定的保水效果, 在冬麦播种期, 0—20 cm 土壤层次, 留茬 15 cm 和留茬

30 cm 比常规耕作增加 18.5% 和 17.8%; 在 20—40 cm 土壤层次, 留茬 15 cm 和留茬 30 cm 比常规耕作增加了 17.8% 和 19.2%。免耕留茬 30 cm 在 1 m 内土壤水分明显高于常规耕作, 即留茬高度的增加能够增加土壤水分。

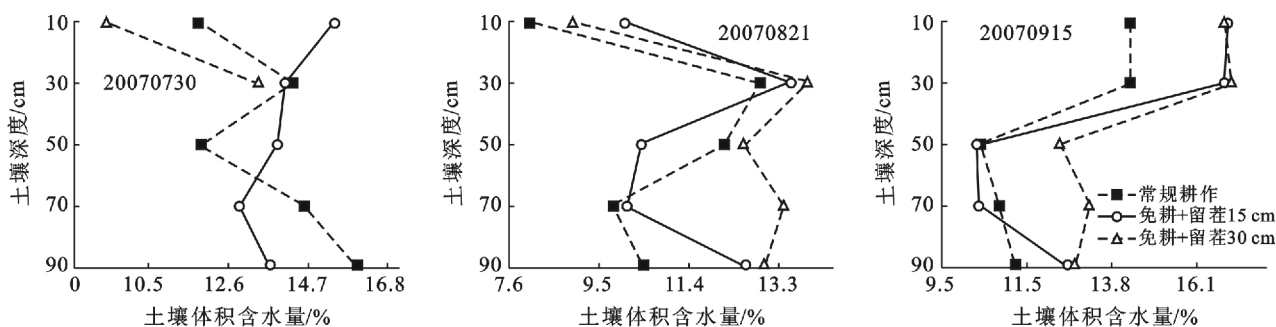


图 2 研究区 2007 年常规耕作和不同留茬高度土壤水分变化

通过对研究区域 2006 年留茬 5 cm 秸秆、留茬 15 cm 秸秆和留茬 30 cm 秸秆处理土壤水分的调查(图 3)。

由图 3 可得,不同处理土壤水分存在差异,免耕留茬具有一定的保水效果,在冬麦播种期,0—20 cm 土壤层次,留茬 15 cm 和留茬 30 cm 比常规耕作增加 9.8% 和 14.8%;在 20—40 cm 土壤层次,留茬 15 cm 和留茬 30 cm 比常规耕作增加了 16.7% 和 23.5%;在 40—60 cm 土壤层次,留茬 15 cm 和留茬 30 cm 比常规耕作增加了 4.8% 和 17.9%。1 m 内留茬 15 cm 和留茬 30 cm 土壤平均含水量比常规耕作增加了 7.5% 和 22.0%,即留茬高度的增加能够增加土壤水分。

### 3.2 冬小麦不同保护性农业措施对土壤水分的影响

通过研究区域 3 种田间耕作措施土壤水分的测试结果可以得出(图 4),由于年度降雨量较大,3 种处理措施土壤水分在试验处理初期和试验中期差异较小,在休闲期结束及冬麦播种期,3 种处理措施在 20—80 cm 土壤层次土壤水分变异较大,0—20 cm 和 80—200 cm 土壤水分变异较小。土壤扰动对耕层土壤水分影响较大。

由图 4 可以得出,在试验处理初期(试验布设后第 2 天),免耕两处理土壤水分平均比旋耕处理(CK)提高 9.9%。

在休闲期结束后(冬麦播种期),旋耕后的土壤在降雨量较大的情况下,表层 0—20 cm 土壤蓄积了较多的土壤水分,免耕+秸秆覆盖和免耕+覆盖作物两处理分别比旋耕处理(CK)降低了 5.2% 和 5.7%。20—40 cm,免耕+秸秆覆盖土壤水分比旋耕处理(CK)提高了 12.2%,免耕+覆盖作物比旋耕处理(CK)降低了 1.9%。40—60 cm,免耕+秸秆覆盖土壤水分比旋耕处理(CK)提高了 24.9%,免耕+覆盖作物比旋耕处理(CK)降低了 6.2%。60—80 cm,免耕+秸秆覆盖和免耕+覆盖作物两处理分别比旋耕处理(CK)提高了 22.3% 和 18.3%。

### 3.3 冬小麦休闲期种植绿肥对土壤水分的影响

土壤水是植物吸收水分的主要来源(水培植物除外),是干旱区农业生产、生态建设的关键因子。通过对研究区域秋后常规耕作和种植绿肥两种处理措施土壤水分的分析得出,种植绿肥后土壤水分明显降低,尤其是 40—60 cm 土壤深度达到显著水平。

种植绿肥后土壤 0—20 cm,20—40 cm 和 40—60 cm 土壤水分分别比休闲期降低 18.3%,25.2% 和 25.9%。

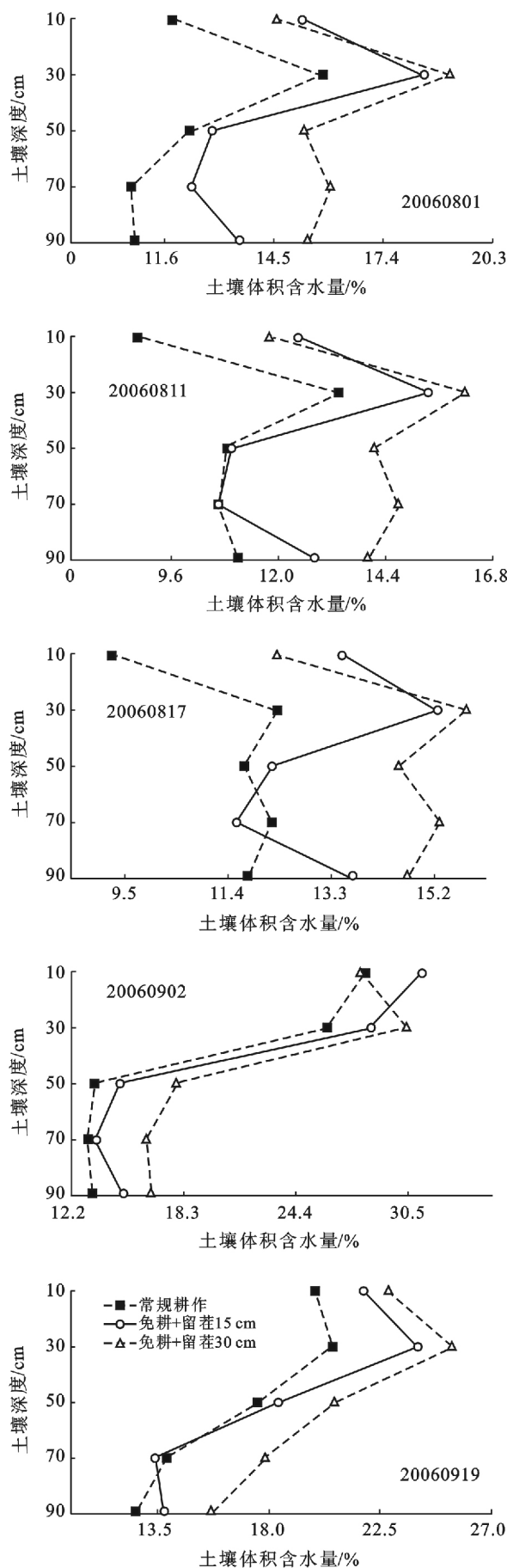


图 3 研究区 2006 年不同留茬高度土壤水分变化

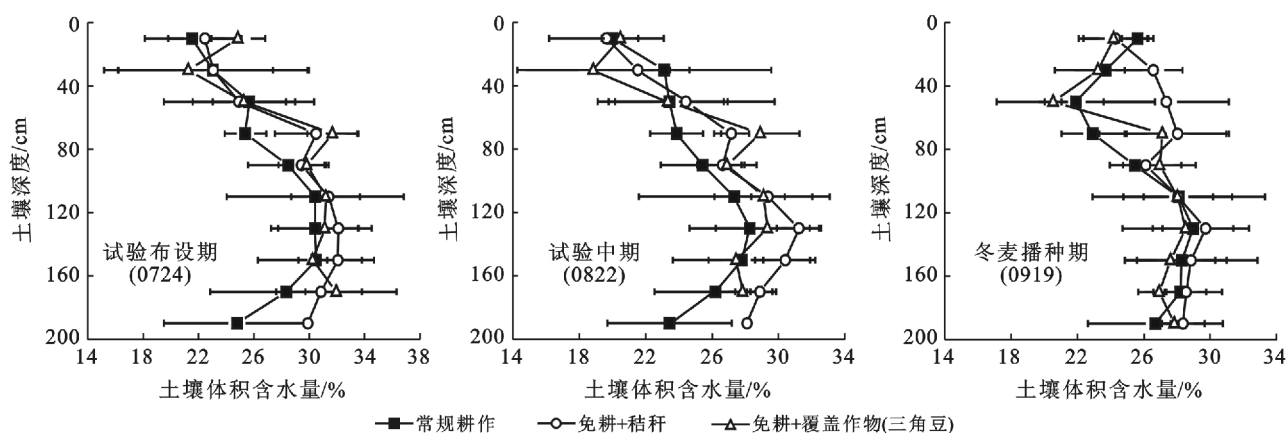


图4 不同保护性农业措施土壤水分变化

## 4 讨论

水是生命之源,是人类社会赖以生存和发展的重要物质资源,土壤水分作为植物吸收水分的主要来源,其水分含量的多少直接关系着植物的生存,耕作措施对作物高产和水土等资源的持续利用具有举足轻重的作用,本研究针对保护性农业这一农业领域的重要课题,开展免耕和覆盖作物等措施对宁夏雨养农业区冬小麦休闲期土壤水分响应研究,通过对免耕留茬 15 cm、免耕留茬 30 cm 和常规耕作 3 种处理土壤水分研究得出结果具有不确定性,主要原因试验中土壤水分的测定重复数为 1 次(2006 年)和 2 次(2007 年),但具有一定的趋势即免耕处理增加了土壤 0—20 cm 的土壤含水量,免耕+秸秆留茬能够抑制土壤水分的无效蒸发,保蓄较多的土壤水分。主要原因是翻耕处理对土壤表层的扰动,使土壤表层疏松、从而具有较大的土壤空隙,促进了土壤水分蒸发。免耕留茬 15 cm、免耕留茬 30 cm 和常规耕作 3 种处理产量结果具有一定的变化趋势,2007 年产量结果显示免耕留茬产量高于常规耕作的趋势,2008 年产量变化趋势为常规耕作产量优于免耕留茬处理的产量。但是产量结果方差分析结果显示差异均差异不显著,主要原因因为取样小区间差异较大,导致方差分析结果差异不显著,也即在免耕初期作物产量存在一定变异性即不稳定性。

通过免耕留茬 5 cm、免耕留茬 15 cm、免耕留茬 30 cm 这 3 种处理土壤水分(土壤水分数据基于每个小区 2 根 TDR 水分管测定结果的平均值)分析得出在免耕留茬的情况下,随着秸秆留茬高度的增加,土壤水分呈现增加趋势。也即免耕秸秆留茬高度在一定的范围内,土壤水分随留茬高度的增加,呈现增加趋势,在保护性农业中较多的秸秆覆盖能够增加土壤

的蓄水保水能力。产量结果显示留茬 5 cm 产量为  $758 \pm 137 \text{ kg/hm}^2$ ,留茬 15 cm 产量为  $813 \pm 36 \text{ kg/hm}^2$ ,留茬 30 cm 产量为  $867 \pm 186 \text{ kg/hm}^2$ ,产量随着留茬高度的增加,呈现增加的趋势,但是不同留茬高度处理产量结果方差分析差异不显著。

常规耕作、免耕秸秆覆盖和免耕种植绿肥 3 种处理土壤水分分析得出,在降雨量较大即具有连续降雨的情况下,常规耕作处理在土壤表层贮存了较多的土壤水分,从而使表层土壤水分较大,但对于 20 cm 以下免耕处理仍然具有明显的优势,免耕处理使得土壤具有良好的孔隙结构,促进的土壤的深层入渗。王小彬等<sup>[7]</sup>研究得出采用免耕和深松,对于增加土壤蓄水、减少蒸发损失、提高水分有效性、节省能耗以及改善作物产量显示出最佳的效果。免耕+种植覆盖作物(三角豆)处理降低了 0—60 cm 土壤水分含量,即冬麦休闲期种植覆盖作物,消耗了一定的土壤水分。3 种处理产量结果显示常规耕作冬小麦产量  $2483 \pm 720 \text{ kg/hm}^2$ ,免耕秸秆覆盖冬小麦产量  $2450 \pm 276 \text{ kg/hm}^2$ ,和免耕种植绿肥冬小麦产量  $3585 \pm 630 \text{ kg/hm}^2$ ,3 种试验处理产量结果显示免耕秸秆覆盖略微减产,免耕种植绿肥略微增产,但 3 者产量结果方差分析差异不显著。

通过试验结果可知,冬小麦休闲期种植绿肥,明显降低的 0—60 cm 的土壤水分(密度较大),土壤水分的变化与种植密度具有极大的关系,种植密度越大,消耗水分越多,但我们也发现虽然种植绿肥消耗了土壤水分,但是通过翻压秋覆膜处理后,第 2 年土壤水分的研究得出,种植覆盖作物并没有影响下一茬作物,可能与绿肥翻压以后,绿肥本身含有 70% 的土壤水分以及经过一个冬季土壤水分进行了新的空间运移有关。绿肥秋翻压覆膜第二年种植玉米以后,绿肥翻压小区玉米产量  $8895 \pm 600 \text{ kg/hm}^2$ ,千粒重 345 g,而常规秋覆膜玉米产量  $9180 \pm 600 \text{ kg/hm}^2$ ,

千粒重为 320 g, 绿肥处理的千粒重明显高于常规种植, 产量略低于常规耕作 3%, 但差异不显著。董立国等<sup>[8]</sup>研究膜侧冬麦土壤水分和温度得出, 膜侧土壤水分明显高于膜内, 膜侧温度明显低于膜上。说明一定的地表处理措施明显影响着土壤水分。免耕等耕作措施的采用必定会影响到土壤水分的重新分配。本文得出部分结论, 但是关于不同耕作措施对土壤水分的利用研究, 仍然需要系统的长期的定位试验研究。

## 5 结 论

(1) 在干旱的情况下, 免耕留茬处理能够显著增加表层土壤(0—20 cm)含水量。

(2) 试验处理均为免耕的情况下, 随着秸秆留茬高度的增加, 土壤水分呈现增加趋势。

(3) 常规耕作、免耕秸秆覆盖和免耕种植绿肥 3 种处理土壤水分分析得出, 在降雨量较大的情况下, 常规耕作处理在土壤表层贮存了较多的土壤水分, 免耕秸秆覆盖处理能够增加土壤 20—80 cm 土壤水分含量。

(4) 冬小麦休闲期种植覆盖作物(三角豆), 降低了土壤水分, 其降低幅度与降雨量以及种植密度有关, 种植密度越大, 对土壤水分的影响越大, 土壤水分的减少在本试验中不影响下一茬作物产量。

## [参 考 文 献]

- [1] Hobbs P R. Conservation agriculture: What is it and why is it important for future sustainable food production? [J]. *Journal of Agricultural Science*, 2007, 145 (2): 127-137.
  - [2] Hobbs P R, Ken S, Raj G. The role of conservation agriculture in sustainable agriculture [J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society (B): Biological Sciences*, 2008, 363(1491): 543-555.
  - [3] 李青, 高志强, 孙敏, 等. 偏早年休闲期施肥覆盖对旱地小麦播前土壤水分的影响及其与产量的相关分析 [J]. *中国农学通报*, 2013, 29(9): 112-116.
  - [4] 白冬, 高志强, 孙敏, 等. 休闲期深翻覆盖对旱地小麦水氮利用效率和产量的影响 [J], *生态学杂志*, 2013, 32 (6): 1497-1503.
  - [5] 温斐斐, 孙敏, 邓联峰, 等. 旱地小麦休闲期深翻覆盖对土壤水分及其利用效率的影响 [J]. *中国生态农业学报*, 2013, 21(11): 1358-1364.
  - [6] 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.
  - [7] 王小彬, 蔡典雄, 金轲, 等. 旱坡地麦田夏休闲耕作措施对土壤水分有效性的影响 [J]. *中国农业科学*, 2003, 36 (9): 1044-1049.
  - [8] 董立国, 袁汉民, 火勇, 等. 膜侧冬麦土壤水分温度时空变化规律研究 [J]. *节水灌溉*, 2007, 32(8): 1-3.
- 
- (上接第 46 页)
- [11] Lal R, Follett R F, Kimle J, et al. Managing U S cropland to sequester carbon in soil [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1999, 54(1): 374-381.
  - [12] 章明奎, 刘兆云. 红壤坡耕地侵蚀过程中土壤有机碳的选择性迁移 [J]. *水土保持学报*, 2009, 23(1): 45-49.
  - [13] 方华军, 杨学明, 张晓平, 等. 土壤侵蚀对农田中土壤有机碳的影响 [J]. *地理科学进展*, 2004, 23(2): 77-87.
  - [14] 李光录, 张胜利. 黄土高原南部侵蚀对不同土壤颗粒级碳氮分布的影响 [J]. *西北农林科技大学学报: 自然科学版*, 2007, 35(8): 146-150.
  - [15] 贾松伟, 贺秀斌, 陈云明, 等. 黄土丘陵区土壤侵蚀对土壤有机碳流失的影响研究 [J]. *水土保持研究*, 2004, 11(4): 88-90.
  - [16] van Hemelryck H, Firner P, van Oost K, et al. The effect of soil redistribution on soil organic carbon: An experimental study [J]. *Biogeosciences*, 2010, 7(12): 3971-3986.
  - [17] 毕银丽, 王百群, 郭胜利, 等. 黄土丘陵区坝地系统土壤养分特征及其与侵蚀环境的关系: 坝地土壤理化性状及其数值分析 [J], *土壤侵蚀与水土保持学报*, 1997, 3(3): 1-9.
  - [18] 邢鹏远, 王克勤, 杨绍兵, 等. 反坡水平阶水土保持效益观测 [J]. *中国水土保持科学*, 2010, 8(2): 119-124.
  - [19] Ojasvi P R, Goyal R K, Gupta J P. The micro-catchment water harvesting technique for the plantation of jujube (*Zizyphus mauritiana*) in an agroforestry system under arid conditions [J]. *Agricultural Water Management*, 1999, 41(3): 139-147.
  - [20] Gupta G N, Limba N K, Mutha S. Growth of *Prosopis cineraria* on microcatchments in an arid region [J]. *Annals of Arid Zone*, 1999, 38(1): 37-44.
  - [21] Davidson E A, Ackermann I L. Changes in soil carbon inventories following cultivation of, previously untilled soils [J]. *Biogeochemistry*, 1993, 20(3): 161-193.
  - [22] 张东辉, 施明恒, 金峰, 等. 土壤有机碳转化与迁移研究概况 [J]. *土壤*, 2000, 35(6): 305-309.