

不同栽培模式对渭北旱塬区冬小麦生长期土壤水分、温度及产量的影响

陈辉林^{1, 2}, 田霄鸿^{2, *}, 王晓峰², 曹玉贤², 吴玉红², 王朝辉²

(1. 西北农林科技大学林学院; 2. 西北农林科技大学资源环境学院 农业部黄土高原农业资源与环境修复重点开放实验室, 陕西杨凌 712100)

摘要:通过 2a 大田试验研究了不同栽培模式对渭北旱塬区冬小麦生育期内 0—2 m 土壤水分, 耕层(10 cm 处)地温, 以及作物产量和水分利用效率的影响。结果表明:(1)推荐施肥+垄上覆膜+沟内覆草(NP+PF+S)、推荐施肥+垄上覆膜(NP+PF)和推荐施肥+麦秸覆盖处理(NP+S)均能增加土壤储水量,但以 NP+PF+S 和 NP+PF 处理较好;(2)3 种覆盖栽培模式均提高了冬小麦越冬期间耕层地温,但推荐施肥+麦秸覆盖处理(NP+S)在冬小麦返青期耕层地温要低于对照(CK),推荐施肥+垄上覆膜+沟内覆草(NP+PF+S)和 NP+S 处理在冬小麦返青期后期到收获期耕层地温也均低于 CK;(3)NP+PF+S 处理较其它处理可增加冬小麦产量,并提高水分利用效率,其次是 NP+PF 处理,而 NP+S 处理增产效果不明显。可见,覆膜覆草和覆膜是较为适宜渭北旱塬雨养区冬小麦发展的栽培模式。

关键词:渭北旱塬区;土壤水分;地温;覆盖栽培;冬小麦农田

Effects of different cultivation models on soil water, soil temperature and yield during the winter wheat growth in the Weibei Dry Highland

CHEN Huilin^{1, 2}, TIAN Xiaohong^{2, *}, WANG Xiaofeng², CAO Yuxian², WU Yuhong², WANG Zhaohui²

1 College of Forestry, Northwest Agriculture & Forestry University

2 College of Resources and Environment, Northwest Agriculture & Forestry University, Key Laboratory for Agricultural Resources and Environmental Remediation in Loess Plateau of Agriculture Ministry of China, Northwest A&F University, Yangling Shaanxi 712100, China

Abstract: Water deficit is the major restriction factor for winter wheat production in the Weibei Dry Highland due to limited precipitation, high surface evaporation, deep groundwater and poor irrigation conditions. Therefore, seeking efficient measures to increase the utilization efficiency of rainwater is of great importance for winter wheat production in this region. The main objective of this research was to investigate the effects of different cultivation models on the soil water from 0 to 200 cm depth of soil layer, plough soil temperature at 10 cm depth of soil layer, the yield and water use efficiency of winter wheat during the experimental period (Sep. 2007 to Jun. 2009) in Weibei Dry Highland. The experiment consisted of 7 treatments, i. e. no fertilization (CK), conventional fertilization (N_1P_1), recommended fertilization (NP), recommended fertilization + manure (NPM), recommended fertilization + plastic mulch on soil ridges (NP + PF), recommended fertilization + plastic mulch on soil ridges and straw mulch in furrows (NP + PF + S) and recommended fertilization + straw mulch on entire plot (NP + S). Results showed that NP + PF + S, NP + PF and NP + S treatments improved the soil water storage during the dry season (spring) compared with CK treatment. However, the soil water efficiency of NP + PF + S and NP + PF treatments was much better than NP + S treatment. In the spring of 2009 (dry season), the average soil water storage of the NP + PF and NP + PF + S treatments in Yuan surface and Terrace was greater than CK treatment, and the change magnitudes were 24.8 and 21.6 mm, respectively. The mulching models increased the soil temperature during the over-winter stage (Dec. 2008 to early Feb. 2009), NP + S, NP + PF + S and NP + PF treatments increased the mean

基金项目:国家“十一五”科技支撑计划资助项目(2006BAD25B09, 2007BAD89B16)

收稿日期:2009-10-20; **修订日期:**2010-01-22

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: txhong@hotmail.com

temperature of plough layer by 0.26 °C, 0.26 °C and 0.33 °C compared with the CK treatment, respectively. But after the turning green stage, the NP + S, NP + PF + S and NP + PF treatments decreased the temperature of plough layer, and the reduction of total accumulated temperature were 150, 44.5 and 35.3 °C in comparison with the CK treatment, respectively. The NP + PF and NP + PF + S treatments efficiently improved the plough soil temperature based on results of the accumulated temperature. The NP + PF + S, NP + PF and NP + S treatments all significantly increased the yield and water use efficiency of winter wheat in comparison with other treatments. However, the winter wheat yield in the NP + S treatment did not increase significantly compared to that in the NP + PF and NP + PF + S treatments. In conclusion, the cultivation models of recommended fertilization + plastic mulch on soil ridges and straw mulch in furrows, and recommended fertilization + plastic mulch on soil ridges would benefit the agricultural development in the Weibei Dry Highland.

Key Words: Weibei Dry Highland; soil water; soil temperature; cultivation mulching; winter wheat field

渭北旱塬区位于陕北黄土高原南部,总面积约 3 万 km²,是陕西省重要的粮果生产基地。该区年降水量一般为 420—700 mm,属于暖温带半湿润易旱区,冬春少雨,夏季多伏旱,地下水埋深一般大于 10 m,对补给土壤水分无实际意义^[1-2],加之当地无灌溉条件,农业生产主要依靠天然降水,粮食产量年际波动较大,为典型的雨养农业区。冬小麦是渭北旱塬区最重要的粮食作物之一,常年播种面积在 53 × 10⁴ hm² 以上,占陕西省播种面积的 35% 左右。该区降水时空分布不均且变率大,与冬小麦需水规律不相吻合,降水量的不稳定及时空错位严重制约该区冬小麦生产^[1, 3]。因而,寻求有效集雨保墒同时提高有限降水利用率的措施是该区小麦高产稳产的关键,也是该区农业生产中亟待解决的重要问题。

长期以来,传统耕作模式由于裸露地表,使得 80% 以上的耕地土壤水分无效损失,小麦产量一直处于中低水平^[4]。而地膜覆盖和秸秆覆盖是雨养农业区有效增加土壤储水量和提高作物产量的重要技术措施^[5-6]。地膜覆盖在小麦种植中已被广泛采用,研究表明,地膜覆盖由于具有集雨保墒、提高土壤表层温度的作用,所以能显著提高作物产量和水分利用效率^[7-9],但是地膜覆盖在增加地表温度的同时,可能也会增加土壤水分的无效蒸发^[2]。秸秆覆盖在作物生育前期能抑制土壤水分蒸发,增加生育后期植株蒸腾,促进干物质形成,从而提高作物产量和水分利用效率,长期进行秸秆覆盖能改善土壤理化性质^[10-13],然而秸秆覆盖也并不总是表现为增产,在气温低且土壤瘠薄的地区,或者在低温和多雨气候下覆盖秸秆,也可能使作物减产^[14-17]。可见,秸秆覆盖与地膜覆盖各有利弊。而把两种栽培措施结合起来进行研究在渭北旱塬区尚不多见,值得进行深入研究。

本研究在渭北旱塬区小麦生产中将秸秆覆盖和地膜覆盖措施相结合,探讨地表覆盖并结合土壤培肥措施对小麦生育期内土壤水分和温度的影响,旨在为研究区探索出能够有效集雨保墒、提高作物水分利用效率及产量的栽培模式。

1 试验材料与方法

1.1 试验区概况

试验在陕西省长武县中国科学院长武生态试验站王东村试验区进行,该区属于典型的黄土高原旱塬区,地下水位深达 60 m,年均降水 584 mm,年均气温 9.1 °C, ≥10 °C 的积温 3029 °C,无霜期 171 d。试验地地势平坦,共 3 块,分别为塬面、梯田 1 和梯田 2,土壤类型均为黄绵土,质地均匀,疏松多孔,耕性良好。试验开始前耕层 0—20 cm 土壤基本养分状况如下:

(1) 塬面 有机质 18.6 mg g⁻¹,全氮 0.67 g kg⁻¹,硝态氮 18.4 mg kg⁻¹,铵态氮 4.9 mg kg⁻¹,速效磷 33 mg kg⁻¹,全钾 17.34 g kg⁻¹,速效钾 103.2 mg kg⁻¹;

(2) 梯田 1 有机质 13.4 mg g⁻¹,全氮 0.47 g kg⁻¹,硝态氮 12.6 mg kg⁻¹,铵态氮 5.6 mg kg⁻¹,速效磷 28 mg kg⁻¹,全钾 16.37 g kg⁻¹,速效钾 95.91 mg kg⁻¹;

(3) 梯田 2 有机质 12.4 mg g⁻¹,全氮 0.34 g kg⁻¹,硝态氮 20.3 mg kg⁻¹,铵态氮 6.1 mg kg⁻¹,速效磷 34

mg kg^{-1} , 全钾 15.99 g kg^{-1} , 速效钾 94.72 mg kg^{-1} 。

1.2 试验设计

本研究共设置 7 个处理(表 1), 覆盖处理的麦秸为当年收获的麦秸, 覆盖前用铡刀切割成 10 cm 左右, 用量为 4500 kg hm^{-2} , 播种出苗后均匀覆盖于小麦行间, 有机肥第 1 季为优质猪粪, 第 2 季为优质羊粪。每个处理重复 7 次, 其中塬面($35^{\circ}14'443''\text{N}$, $107^{\circ}40'900''\text{E}$, 海拔 1230 m)重复 2 次, 两块梯田相邻, 梯田 1($35^{\circ}13'331''\text{N}$, $107^{\circ}40'133''\text{E}$, 海拔 1162 m)重复 3 次, 梯田 2(经纬度及海拔与梯田 1 相同)重复 2 次。小区面积为 50 m^2 , 小区间隔为 30 cm, 共 49 个小区。

表 1 试验处理描述
Table 1 Treatments description

栽培模式 Cultivation modes	代码 Code	处理 Treatments	操作方法 Description
平作 Flatten culture	CK	不施肥	播种时小区内不施任何肥料
	$\text{N}_1 \text{P}_1$	农民习惯施肥	播种时根据当地农民的习惯施肥量为 $\text{N } 180 \text{ kg hm}^{-2}$, $\text{P}_2\text{O}_5 \text{ } 120 \text{ kg hm}^{-2}$
	NP	推荐施肥	施 $\text{N } 120 \text{ kg hm}^{-2}$, $\text{P}_2\text{O}_5 \text{ } 90 \text{ kg hm}^{-2}$
	NPM	推荐施肥 + 有机肥	施肥量同 NP, 另再加施有机肥 3000 kg hm^{-2}
	NP + S	推荐施肥 + 麦秸覆盖	施肥量同 NP, 另加全区覆盖麦秸
垄作 Ridge culture	NP + PF	推荐施肥 + 垄上覆膜	采用垄沟栽培, 人工起垄, 垄沟宽都为 60 cm, 垄上覆膜, 沟内种植小麦, 施肥量同 NP
	NP + PF + S	推荐施肥 + 垄上覆膜 + 沟内覆草	栽培方式同 NP + PF, 施肥量同 NP, 另在沟内加覆盖麦秸

1.3 试验过程

供试小麦品种为当地主栽品种“长旱 58”, 条播, 播种量为 150 kg hm^{-2} , 行距 20 cm, 所有肥料播前 1 次施入, 使用量同各处理描述时的使用量。第 1 季冬小麦 2007 年 9 月 18 日播种, 翌年 6 月 20 日收获; 第 2 季小麦 2008 年 9 月 20 日播种, 翌年 6 月 21 日收获; 冬小麦休闲期间, 所有处理均未翻耕和无覆盖等处理措施; 冬小麦生育期间及时修补破损膜, 采用除草剂除草, 但没有进行任何灌溉; 冬小麦收获时, 使用人工计产。

1.4 测定方法

1.4.1 水分测定

(1) 在田间埋设了 28 个中子管, 分别布置在塬面(7 个, 1 个区组内), 梯田 1(14 个, 2 个区组内)和梯田 2(7 个, 1 个区组内), 沟垄栽培模式的中子管都埋放在沟内, 非沟垄栽培模式埋放在小区中央位置。采用 CNC503B(DR) 中子仪, 在试验期间(2007 年 9 月—2009 年 6 月)连续测定土壤体积含水量, 每 15 d 测定一次。观测深度为 0—200 cm, 共分为 13 个层次, 依次为: 0—10, 10—20, 20—30, 30—40, 40—50, 50—60, 60—80, 80—100, 100—120, 120—140, 140—160, 160—180, 180—200 cm。

(2) 耗水量及水分利用效率计算

耗水量计算采用田间农田水分平衡方程:

$$\Delta W - P - R - F - ET + I$$

式中, ΔW 为作物生育期内土壤贮水量变化量, 即土壤贮水消耗量; P 为该时段降水量(mm); R 为地表径流量(mm); F 为补给地下水量(mm); ET 为作物生育期耗水量(mm), 包括植株蒸腾量和植株间地表蒸发量; I 为灌溉用水量(mm)。

由于试验地为典型的雨养地区, 因而可视地表径流为零; 地下水位深达 60 m, 可视地下水补给量为零; 整个试验期间没有进行过任何浇灌, 故灌溉用水量为零。故公式可改写为:

$$ET = P - \Delta W$$

因而可得水分利用效率公式为:

$$WUE_y = Y/ET$$

式中, WUE_y 为产量水平的平均水分利用效率, Y 为经济产量, ET 为小麦生育期内耗水量。

1.4.2 温度测定

在梯田 1 不施肥处理(CK), 推荐施肥 + 垄上覆膜处理(NP + PF)沟内, 推荐施肥 + 垄上覆膜 + 沟内覆草处理(NP + PF + S)沟内和推荐施肥 + 麦秸覆盖处理(NP + S)分别布置了进口 StowAway TidbiT 袖珍全自动地温仪, 每 1 h 自动记录 10 cm 土层处温度 1 次。测定始于 2008 年 11 月中旬, 结束于 2009 年 6 月中旬。

1.4.3 0—20 cm 耕层养分测定

全氮采用半微量开氏法; 硝、铵态氮采用 KCl 浸提提取, 连续流动分析仪(FIASTAR 5000)测定; 全磷采用熔融-钼锑抗比色法, 有效磷采用 NaHCO_3 浸提-钼锑抗比色法。

1.5 数据处理

采用 Microsoft Excel 2003 软件处理数据及制图, 用 DPS(Data Processing System)7.05 统计软件进行相关的统计分析。

2 结果与分析

2.1 两季小麦试验期间试验区降水量、水面蒸发量和干燥度

从图 1 可知, 第 1 季冬小麦生长期(2007 年 9 月下旬—翌年 6 月中旬)总降水量和总蒸发量分别为 222.3 mm、586.5 mm, 降水主要集中在 2007 年 9 月和 10 月, 占整个生长季的 50.8%, 是生长期土壤水分的补偿和恢复的主要时期; 而在第二季冬小麦生长期(2008 年 9 月下旬—翌年 6 月中旬)总降水量和总蒸发量分别为 242.1 mm、562.5 mm, 降水主要集中在 2008 年 9 月及 2009 年 5 月, 2 月合计降水量占整个生长季降水量的 61.3%, 而春季一般是试验区最干旱的季节, 因此 5 月份降水较多可明显缓解旱情。2008 年夏季休闲期(6 月下旬至 9 月中旬)降水量和蒸发量分别为 270.9 mm、282.2 mm, 可见为土壤水分补偿和恢复的关键时期, 但此时也正值夏季高温时期, 水面蒸发量很大。根据干燥度可以大致判断土壤水分的盈亏(表 2), 当干燥度较大时, 不利于土壤水分的贮存, 反之, 当干燥度较小时, 则有利于土壤中贮存水分供作物生长之用^[18]。对于旱塬地区来说, 夏季休闲期干燥度一般较小, 可见这一时期贮存的土壤水分对于下一季作物的生长至关重要。从这两季的冬小麦来看只有是雨季时的干燥度 < 1 , 较为湿润, 而其他月份干燥度基本上都 > 1.7 , 均较干旱。

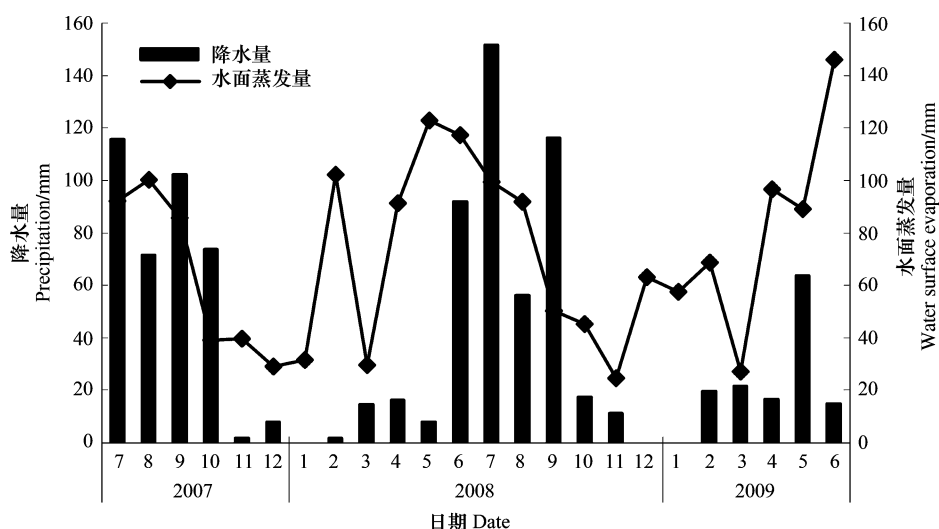


图 1 2007 年 7 月—2009 年 6 月降水量及水面蒸发量

Fig. 1 Precipitation and water surface evaporation from Jul. 2007 to Jun. 2009

2.2 2007—2009 年冬小麦生育期及休闲期内 0—2 m 土壤水分动态变化

图 2 表示了 2007—2009 年塬面(图 a)和梯田(图 b)冬小麦生育期及休闲期 0—2 m 土壤储水量的动态变

化。由于不同时期影响土壤剖面储水量的因子不同,因而不同处理间的差异在不同时期各异。从图中可以明显看出,无论是塬面还是梯田,所有处理第2季小麦生长期(2008年9月下旬至翌年6月)与第1季(2007年9月下旬至翌年6月)0—2 m土壤储水量之间存在差异,这可能与休闲期(2008年6月下旬至9月中旬)内降水量较高(图1)和部分栽培模式保墒效果的共同作用有关;在干旱季节(春季),无论塬面还是梯田3种覆盖处理中均以NP+PF和NP+PF+S处理储水效果较好,且平均比CK处理多24.8 mm和21.6 mm(2009年春季,塬面和梯田平均)。

表2 试验区2007年7月—2009年6月干燥度

Table 2 Aridity in experimental area from Jul. 2007 to Jun. 2009

日期 Date	2007						2008												2009						
	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	
干燥度 Aridity	0.8	1.4	0.8	0.5	2.3	3.3	8	-	60.2	2.1	5.7	15.8	1.3	0.7	1.6	0.4	2.6	2.2	-	-	3.5	1.3	5.8	1.4	9.8

干燥度 = 水面蒸发量/降水量

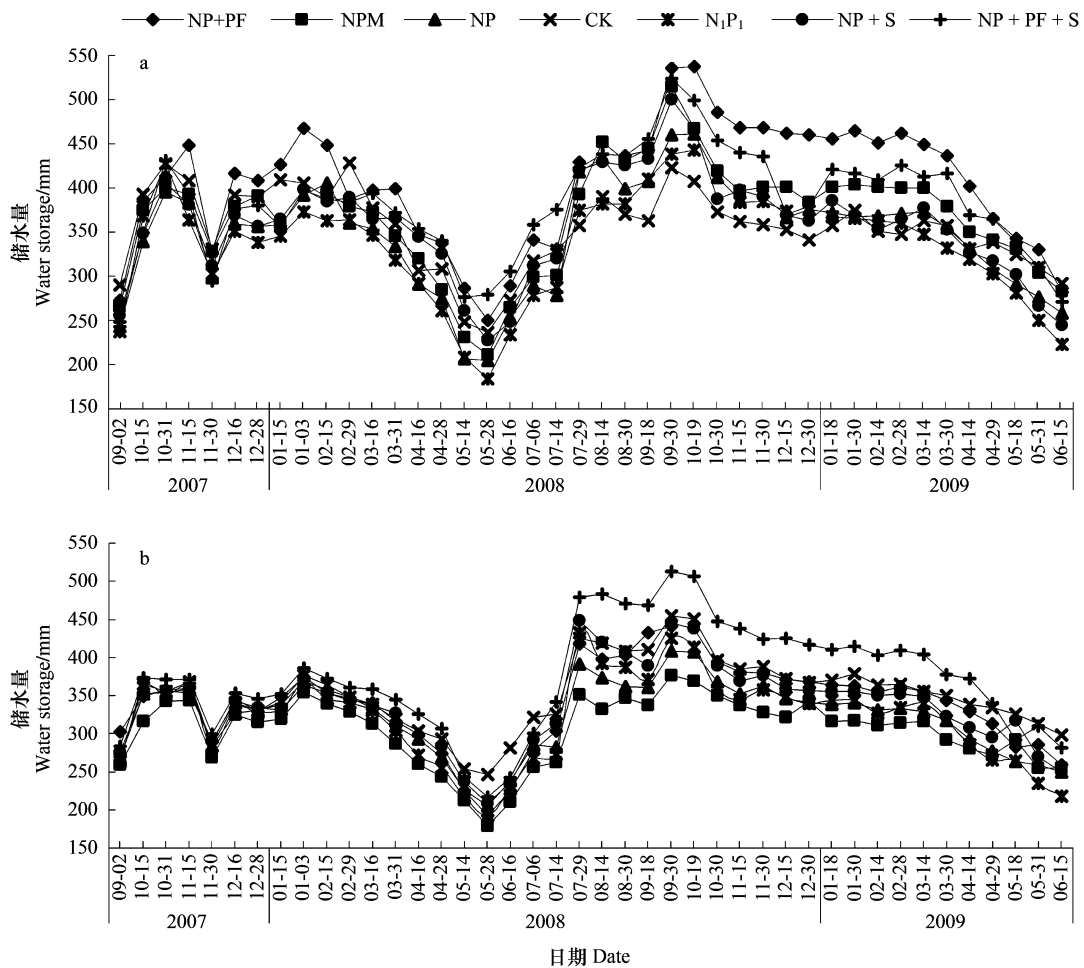


图2 a、b分别为2007—2009年塬面和梯田0—2 m土壤水分变化

Fig. 2 The soil moisture change in 0—2 m from 2007 to 2009, a: Yuan surface, b: Terrace

NP+PF:推荐施肥+垄上覆膜;NPM:推荐施肥+有机肥;NP:推荐施肥;CK:不施肥; N_1P_1 :农民习惯施肥;NP+S:推荐施肥+麦秸覆盖;NP+PF+S:推荐施肥+垄上覆膜+沟内覆草

从图中可以看出水分年变化大体分为3个阶段^[19]:(1)春夏作物快速生长失墒期(3月下旬至5月下旬),此阶段为冬小麦拔节—开花灌浆期,降水量不多(图1),而蒸发较大,故土壤水分迅速下降;(2)夏秋雨季增墒期(6月至10月中旬),该时期为旱塬区雨季,土壤水分开始补充和累积,一般这一时期末土壤水分贮

存量都会达到本季度最高值;(3)冬春稳墒期(10月下旬至翌年3月上旬),冬季气温较低,降水虽减少,但土壤封冻,蒸发量小,土壤水分较为稳定,春季解冻后,3月份冬小麦返青分蘖期耗水较少,因此土壤墒情仍较稳定。

2.3 不同栽培模式对耕层 10 cm 土壤温度的影响

不同栽培模式在冬小麦不同时期对耕层 10 cm 处温度的影响见图 3 所示。从图中可以看出,在冬小麦越冬期(2008 年 12 月至翌年 2 月),所有覆盖处理的耕层地温均高于 CK 处理;NP + PF 和 NP + PF + S 处理在冬小麦返青期前期的耕层地温要高于 CK 处理,返青期后期却又低于 CK 处理,然而 NP + S 处理的耕层地温在整个返青期都要低于 CK 处理;在冬小麦拔节灌浆期以后,所有覆盖处理的耕层地温都比 CK 处理低。

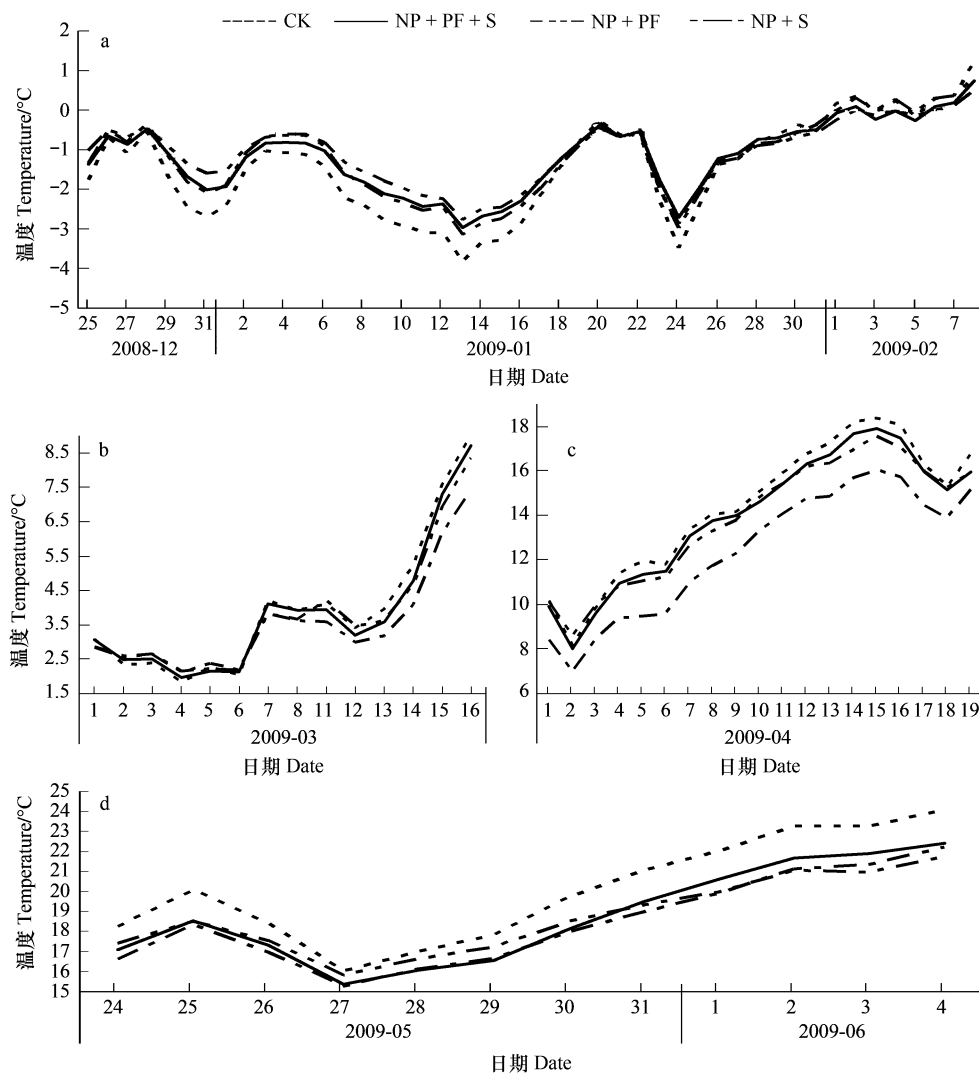


图 3 冬小麦不同时期耕层 10 cm 处的昼夜平均温度

Fig. 3 The average temperature of day and night at the 10 cm soil depth in different stage

(a)越冬期;(b)3月份返青期;(c)4月份拔节期;(d)灌浆期

不同栽培模式下积温变化见表 3,从表中可以明显看出各处理耕层 10 cm 处积温只有在冬小麦越冬期和返青期前期时高于 CK 处理。而其他时期均低于 CK 处理,导致 NP + S、NP + PF 和 NP + PF + S 处理的总积温较 CK 处理分别低 150、44.5°C 和 35.3°C,其中 NP + S 处理 CK 处理积温相差最大,说明 NP + S 增温效果最差。

表 3 不同覆盖栽培模式对 2008—2009 年度冬小麦耕层 10 cm 处积温的影响/℃

Table 3 Accumulated temperature at 10 cm soil depth in different mulch modes during 2008 to 2009

处理 Treatments	2008		2009						合计 Total
	11 月下旬 Later Nov.	12 月	1 月 Jan.	2 月 Feb.	3 月 Mar.	4 月 Apr.	5 月 May	6 月上旬 Early Jun.	
CK	45.9	-7.2	-57.2	51.8	214.8	447.4	568.0	390.9	1654.3
NP + S	54.3	-6.9	-47.7	44.1	182.5	388.6	525.4	364.1	1504.3
NP + PF	60.1	18.1	-44.1	41.0	207.7	429.8	539.1	358.1	1609.9
NP + PF + S	59.2	17.2	-46.2	57.4	209.4	430.0	531.6	360.4	1619.0

2.4 不同栽培模式下冬小麦产量及水分利用状况

由表 4 和表 5 可知,与 CK 和 N_1P_1 处理相比,第 1 季 NP + PF、NP + PF + S 和 NP + S 处理分别增产 41.5%、49.2%、37.9% 和 15.3%、36.0%、-5.0%;第 2 季塬面 NP + PF、NP + PF + S 和 NP + S 处理分别增产 52.7%、53.4%、50.0% 和 14.8%、16.1%、9.9%,梯田分别为 66.6%、66.5%、59.6% 和 39.4%、39.2%、26.8%,可见 NP + PF + S 增产最为明显,其次就是 NP + PF 处理。不同栽培模式在 0—2 m 土层耗水量的差异较大,其中 CK 处理在 2007—2008 年度和塬面(2008—2009 年度)均最低,且产量也最低。梯田(2008—2009

表 4 不同栽培模式下冬小麦 2007—2008 年度产量及水分利用效率

Table 4 Effect of different cultivation modes on grain yield and water use efficiency in 2007—2008

处理 Treatments	产量 Yield /(kg hm ⁻²)	播前储水量 Water storage Pre-sowing /mm	收获后储水量 Water storage Post-harvesting/mm	耗水量 Water consumption /mm	WUE /(kg hm ⁻² mm ⁻¹)
CK	2275 b	244.4	279.2	201.4	11.3
N_1P_1	3294 ab	229.0	228.7	236.5	13.9
NP	3280 ab	228.1	224.1	225.5	14.5
NPM	2797 ab	235.8	238.6	240.2	11.6
NP + PF	3888 ab	258.0	241.4	252.9	15.4
NP + PF + S	4480 a	232.8	257.7	211.3	21.2
NP + S	3138 ab	230.6	241.3	233.4	13.4

注:数值均为塬面和梯田的平均值;WUE:水分利用效率,为产量与该季小麦生长期内耗水量比值

表 5 不同栽培模式下冬小麦 2008—2009 年度产量及水分利用效率

Table 5 Effect of different cultivation modes on grain yield and water use efficiency in 2008—2009

试验地 Experiment site	试验处理 Treatments	产量 Yield/(kg hm ⁻²)	耗水量 Water consumption/mm	WUE /(kg hm ⁻² mm ⁻¹)
塬面 Yuan surface	CK	3050 d	303.4	10.1 c
	N_1P_1	5495 bc	419.6	13.1 b
	NP	5527 abc	381.2	14.5 ab
	NPM	5155 c	394.4	13.1 b
	NP + PF	6446 ab	393.6	16.4 a
	NP + PF + S	6547 a	417.7	15.7 ab
	NP + S	6096 abc	421.5	14.5 ab
	CK	1116 c	345.3	3.2 c
梯田 Terrace	N_1P_1	2024 b	386.1	5.2 b
	NP	1694 bc	343.9	4.9 bc
	NPM	2005 b	315.2	6.4 ab
	NP + PF	3342 a	405.9	8.2 a
	NP + PF + S	3329 a	419.3	7.9 a
	NP + S	2765 a	372.4	7.4 a

注:同一列数据后不同字母,表示不同栽培模式之间相互比较,差异达 0.05 显著水平

年度)以 NPM 处理耗水量最低(315.2 mm),与 CK 处理(345.3 mm)相差 30.1 mm,但前者产量(2005 kg hm^{-2}),远远高于后者(1116 kg hm^{-2}),说明施肥一定程度上促进了作物对土壤水分的有效利用。2 a 试验结果表明 2007—2008 年度所有处理耗水量都要远远低于 2008—2009 年度(塬面和梯田平均),这可能与 2009 年 6 月上旬较 2008 年 6 月上旬降水量少 52.5 mm 有关。所有梯田处理的产量都要远远低于塬面,耗水量却相差不大,可能与梯田的坡度要大于塬面(基本上为平地)有关,加之试验区土质疏松,因而梯田的水分和养分流失相对塬面更快。

作物水分利用效率越高,说明其土壤水分的有效利用程度就越高。从表 3 和表 4 可以看出 NP + PF + S 和 NP + PF 处理水分利用效率均要显著高于其它处理,说明垄作栽培模式相对其它栽培模式更能有效的利用试验区有限的土壤水分资源。

3 讨论

水分是影响雨养农业区小麦产量的主要因素,也是旱地农业的主要研究内容^[2]。如何充分发掘雨养农业区有限降水的生产潜力,对旱区的粮食增产具有十分重要的现实意义。适宜的覆盖栽培模式能够通过阻碍土壤中的水汽与空气的对流交换,以减少土壤水分无效蒸发,增加土壤水分含量,这种现象在覆草栽培模式中较明显^[20]。而对于仅仅垄上覆膜处理,由于增加了地表温度,导致土壤水分蒸发量也相应增强^[7],因此,土壤储水量一般没有覆草处理的高。本研究表明:NP + S、NP + PF 和 NP + PF + S 处理较其它非覆盖处理均增加了 0—2 m 土层水分,并能将土壤水分保持到冬小麦需水关键时期。但 NP + PF 和 NP + PF + S 处理的保墒效果较 NP + S 处理好,原因可能与试验区的降雨强度有关,从图 1 可以看出,若在非雨季,试验区的每月降水量一般非常少,因而每次强度小的降水,土壤表层的覆草措施可能还会阻碍雨水的下渗,而垄上覆膜处理,则会将较小的雨水集聚形成较大的雨水流到膜的两侧(沟里),供冬小麦生长利用,此时若在沟内增覆秸秆,还可明显降低土壤水分无效蒸发。可见,从长久的土壤墒情来看,NP + PF + S 处理要好于 NP + PF 处理。

适宜的土壤温度可以促进作物根系健康生长,有利于水分和养分的吸收及相关抗逆境能力的提高。本研究表明:NP + PF + S 和 NP + PF 处理相对 CK 处理能够有效的增加冬小麦越冬期和返青期前期耕层温度,这与前人研究结果一致^[8, 15, 17, 21]。然而,在冬小麦返青期后期至拔节和灌浆期的耕层地温都比 CK 处理低,据我们田间观察,NP + PF + S 和 NP + PF 处理下的冬小麦相对 CK 处理,生长较快,叶面积指数高,地表裸露部分少,因而越到后期其耕层增温速度就越慢,但从最后的产量统计来看,这种中后期降温并未影响到 NP + PF + S 和 NP + PF 处理冬小麦的增产,相反,这种更低的耕层地温还可能降低了冬小麦生长需水关键期水分的无效蒸散。NP + S 处理虽然能提高冬小麦越冬期耕层地温,却降低了冬小麦返青期间耕层地温,而冬小麦返青期耕层地温过低,会影响冬小麦的正常生长发育及增产^[8, 14],这可能就是本试验中 NP + S 增产不如 NP + PF 和 NP + PF + S 处理效果明显的原因。从温度数据中还可知 NP + PF + S 处理没有使得耕层地温严重偏低,可见垄上覆膜措施可以弥补仅仅覆草而导致耕层温度下降的缺陷。

秸秆覆盖和地膜覆盖均能改善土壤理化性质,促进旱地作物增产^[7, 12]。但秸秆覆盖也可使得作物表现为减产,这是因为覆盖降低了土壤表层温度,尤其在冬小麦返青期土壤耕层温度回升较滞后,影响了冬小麦的正常生长发育^[7, 13]。地膜覆盖也并不总是表现为增产,由于地膜覆盖提高了作物生长前期的土壤表层温度,加速了作物生长,导致养分和水分资源前期大量被消耗,致使后期供应不足,最终导致减产^[22]。但本研究表明,3 种覆盖栽培模式的冬小麦产量均要高于其它非覆盖栽培模式,且水分利用效率也都要高于其它栽培模式,可见覆盖栽培模式能有效地利用土壤水分。3 种覆盖栽培模式中以 NP + PF + S 处理的增产幅度最大,其次就是 NP + PF 处理,说明覆膜和覆草各自的优势可以在 NP + PF + S 处理中得以体现。

4 结论

通过在渭北旱塬区 2 a 试验表明,垄上覆膜沟内覆草栽培模式能明显增加冬小麦产量和土壤中储水量,且能在冬季低温时增温、夏季高温时降温的效果,因此,垄上覆膜沟内覆草是渭北旱塬区冬小麦最为适宜种植模式。

References:

- [1] Song X Y, Liu X Z, Shen B, Shi W J. Problems of water resources and the measures for the regulation of planting structure in the Weibei Rainfed Highland, Shaanxi Province. *Arid Land Geography*, 2004, 27(2): 199-201.
- [2] Wang X F, Tian X H, Chen Z H, Chen H L, Wang Z H. Effect of mulching and fertilization on winter wheat field soil moisture in dry highland region of Loess Plateau. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009, 20(5): 1105-1111.
- [3] Liao Y C, Zheng J J, Wen X X, Han S M. Research on the planting model of wheat high-yield and high-efficiency in the Weibei Rainfed Highland. *Tritical Crops*, 1999, 19(6): 61-63.
- [4] Huang G B, Guo Q Y, Zhang R Z, Pang L, Li G D, Chan K Y, Yu A Z. Effect of conservation tillage on soil moisture and crop yield in a phased rotation system with spring wheat and field pea in dryland. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(4): 1176-1185.
- [5] Zhang S L, Lovdah L, Tong Y A. Effects of different field management practices on winter wheat yield and water utilization efficiency in Weibei Loess Plateau. *Transactions of the CSAE*, 2005, 20(4): 20-24.
- [6] Zhang Z M, Wang H Q. Optimal planting pattern of film mulching wheat and its micro-environmental effects on Weibei dry-land. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2003, 21(3): 55-60.
- [7] Li F M, Guo A H, Wei H. Effects of clear plastic film mulch on yield of spring wheat. *Field Crops Research*, 1999, 63: 79-86.
- [8] Dang Z P, Liu W G, Zhou J M, Qiang Q, Cao W X, Gao Y J. Effect of different mulching models on increasing soil temperature in winter wheat of Weibei dry land. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2007, 16(2): 24-27.
- [9] Wang C R, Tian X H, Li S X. Effects of plastic sheet-mulching on ridge for rainwater-harvesting cultivation on WUE and Yield of winter wheat. *Scientia Agricultura Sinica*, 2004, 3(72): 208-214.
- [10] Feng H C. Effects of straw mulching on soil environment and yield of winter wheat. *Chinese Journal of Soil Science*, 1999, 30(4): 174-175.
- [11] Jiang Y H, Yu Z R, Ma Y L. The effect of stubble return on agro-ecological system and crop growth. *Chinese Journal of Soil Science*, 2001, 32(5): 209-213.
- [12] Zhu Z X, Zhao G Q, Deng T H, Fang W S, Fu X J. Study of water dynamics and water use efficiency in mulched winter wheat field. *Eco-agriculture Research*, 2000, 8(1): 34-37.
- [13] Zhao J B, Mei X R, Xue J H, Zhong Z Z, Zhang T Y. The effect of straw mulch on crop water use efficiency in dryland. *Scientia Agricultura Sinica*, 1996, 29(2): 59-66.
- [14] Gao Y J, Li S X. Cause and mechanism of crop yield reduction under straw mulch in dryland. *Transactions of the CSAE*, 2005, 21(7): 15-19.
- [15] Yang Y M, Liu X J, Li W Q, Li C Z. Effect of different mulch materials on winter wheat production in desalinized soil in Heilonggang region of North China. *Zhejiang University Science B*, 2006, 7(11): 858-867.
- [16] Tolk J A, Howell T A, Evett S R. Effect of mulch, irrigation, and soil type on water use and yield of maize. *Soil & Tillage Research*, 1999, 50: 137-147.
- [17] Dong F, Wang Y, Guan W G, Zhou J B. Effects of different cultivation patterns and application of nitrogen fertilizer on moisture, temperature and nitrogen mineralization in soil of dryland. *Journal of Northwest A & F University(Nat. Sci. Ed.)*, 2008, 36(12): 106-114.
- [18] Meng M, Ni J, Zhang Z G. Aridity index and its applications in geo-ecological study. *Acta Phytocologica Sinica*, 2004, 28(6): 853-861.
- [19] Li L L, Huang G B, Zhang R Z, Jin X J. Effects of conservation tillage on soil water regimes in rainfed areas. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(9): 2326-2332.
- [20] Chakraborty D, Nagarajan S, Aggarwal P, Gupta V K, Tomar R K, Garg R N, Sahoo R N, Sarkar A, Chopra U K, Sundara K S, Kalra N. Effect of mulching on soil and plant water status, and the growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) in a semi-arid environment. *Agriculture Water Management*, 2008, 95: 1323-1334.
- [21] Xia Z Q, Jiang H G, Li Q F, Zhao S L. Effect of mulch on soil temperature and moisture and analysis of water saving benefit. *Journal of Hohai University*, 1997, 25(2): 39-45.
- [22] Li F M, Yan X, Wang J, Li S Q, Wang T C. The mechanism of yield decrease of spring wheat resulted from plastic film mulching. *Scientia Agricultura Sinica*, 2001, 34(3): 330-333.

参考文献:

- [1] 宋孝玉, 刘贤赵, 沈冰, 史文娟. 陕西渭北旱塬种植业结构调整的水资源问题及对策. *干旱区地理*, 2004, 27(2): 199-201.
- [2] 王晓峰, 田霄鸿, 陈自惠, 陈辉林, 王朝辉. 不同覆盖施肥措施对黄土旱塬冬小麦土壤水分的影响. *应用生态学报*, 2009, 20(5): 1105-1111.

- [3] 廖允成, 郑锦娟, 温晓霞, 韩思明. 渭北旱塬去旱地小麦高产高效栽培模式探讨. 麦类作物, 1999, 19(6): 61-63.
- [4] 黄高宝, 郭清毅, 张仁陟, 逢蕾, Li Guangdi, Chan Kwong Yin, 于爱忠. 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. 生态学报, 2006, 26(4): 1176-1185.
- [5] 张树兰, Lars Lovdah, 同延安. 渭北旱塬不同田间管理措施下冬小麦及水分利用效率. 农业工程学报, 2005, 20(4): 20-24.
- [6] 张正茂, 王虎全. 渭北旱塬地膜覆盖小麦最佳种植模式及微生境效应研究. 干旱地区农业研究, 2003, 21(3): 55-60.
- [8] 党占平, 刘文国, 周济铭, 强秦, 曹卫贤, 高亚军. 渭北旱塬地冬小麦不同覆盖模式增温效应研究. 西北农业学报, 2007, 16(2): 24-27.
- [9] 王彩绒, 田霄鸿, 李生秀. 旱地秸秆覆盖条件下作物减产的原因及作用机制分析. 中国农业科学, 2004, 3(72): 208-214.
- [10] 逢焕成. 秸秆覆盖对土壤环境及冬小麦产量的影响. 土壤通报, 1999, 30(4): 174-175.
- [11] 江永红, 宇振荣, 马永良. 秸秆还田对农田生态系统及作物生长的影响. 土壤通报, 2001, 32(5): 209-213.
- [12] 朱子玺, 赵国强, 邓天宏, 方文松, 付祥军. 秸秆覆盖麦田水分动态及水分利用效率研究. 生态农业研究, 2000, 8(1): 34-37.
- [13] 赵聚宝, 梅旭荣, 薛军红, 钟兆站, 张天佑. 秸秆覆盖对旱地农业作物水分利用效率的影响. 中国农业科学, 1996, 29(2): 59-66.
- [14] 高亚军, 李生秀. 旱地秸秆覆盖条件下作物减产的原因及作用机制分析. 农业工程学报, 2005, 21(7): 15-19.
- [17] 董放, 王媛, 关维刚, 周建斌. 旱地不同栽培模式和施氮对土壤水分、温度及氮素矿化的影响. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2008, 36(12): 106-114.
- [18] 孟猛, 倪健, 张治国. 地理生态学的干燥度指数及其应用评述. 植物生态学报, 2004, 28(6): 853-861.
- [19] 李玲玲, 黄高宝, 张仁陟, 晋小军. 不同保护性耕作措施对旱作农田土壤水分的影响. 生态学报, 2005, 25(9): 2326-2332.
- [21] 夏自强, 蒋洪庚, 李琼芳, 赵胜领. 地膜覆盖对土壤温度、水分的影响及节水效益. 河海大学学报, 1997, 25(2): 39-45.
- [22] 李凤民, 鄢珣, 王俊, 李世清, 王同朝. 地膜覆盖导致春小麦产量下降的机理. 中国农业科学, 2001, 34(3): 330-333.