

沟垄二元覆盖对旱地土壤水分及作物水分利用效率的影响

刘艳红,贾志宽,张睿,刘婷,马晓丽

(西北农林科技大学干旱半干旱农业研究中心,农业部作物生产与生态重点开放实验室,陕西 杨凌 712100)

摘要:于2007年9月~2009年6月在渭北旱塬进行了冬小麦沟垄二元覆盖栽培模式的田间试验,研究了沟垄二元覆盖对旱地土壤水分及作物水分利用效率的影响。结果表明:垄覆地膜沟覆秸秆能显著提高产量,较对照(沟垄均不覆盖)产量最高增幅达39.62% ($P < 0.05$),垄覆地膜沟覆液膜处理两年平均产量较对照高32.16%,垄覆地膜沟不覆较对照高29.99%。垄覆地膜沟覆秸秆对小麦全生育时期0~40 cm土层的保墒作用明显,能有效提高土壤含水量,抽穗期0~40 cm土层含水量较对照高15.81%,沟覆液膜在小麦生育前期有良好的保水效果,返青期0~40 cm土层含水量较对照高11.01%。沟覆秸秆和沟覆液膜的水分利用效率较对照分别高31.11% ($P < 0.05$)和26.20% ($P < 0.05$)。

关键词:渭北旱塬;冬小麦;二元覆盖;土壤含水量;水分利用效率

中图分类号: S275.3; S152.7+5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2010)04-0152-06

旱地农业生产中,降雨不足及季节分配不均均是严重制约作物生长的重要因素,提高自然降水的储蓄率是促进旱农区农业生产的关键。沟垄集雨种植技术具有较好的蓄水、保墒效果,该技术利用田间人工产流,形成降水迭加,可改善作物水分环境,提高水分利用效率^[1,2]。在已有研究的基础上,韩思明等提出了全程微型聚水二元覆盖技术的概念^[3],垄面覆膜,实现降水由垄面向沟内的汇集,沟内覆盖秸秆、砾石以减少蒸发^[4]。沟垄集雨种植技术因其良好的抑蒸保墒效果倍受关注,且成为研究热点。研究表明^[5,6],此技术有效地利用了膜垄的集水和蓄水保墒功能,改变了降雨的空间分布,使种植沟内的雨水得到叠加利用。渭北旱塬降水年际间差异较大,且年内分配不均,在很大程度上制约了作物的生长,本研究主要通过对沟垄不同覆盖方式下的土壤水分变化及对冬小麦产量的影响进行分析,为旱区作物生产提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验于2007年9月~2009年6月在陕西省合阳县甘井镇西北农林科技大学旱作试验站(35°14'N, 110°09'E)进行。该区属半湿润易旱区,海拔850

m,光热资源较为充足,年平均温度为10.5℃,年太阳辐射量 $548.94 \times 10^3 \text{ J/cm}^2$,年日照时数2 528.3h,极端高温40.1℃,极端低温-20.1℃;无霜期160~200 d,年均降雨量571.9 mm,降雨量季节分配不均,主要集中在7~9月,气候干旱,年蒸发量1 832.8 mm,土壤为垆土,中性偏碱,pH 8.4,粮食生产以小麦为主。

1.2 试验设计

试验地前茬为冬小麦,肥力中等,夏闲期采用传统耕作法,播前整地兼施肥(纯氮150 kg/hm², P₂O₅ 120 kg/hm², K₂O 90 kg/hm²),播前起垄(垄宽50 cm,沟宽50 cm,垄高15 cm),垄上覆膜,膜侧沟播,每个小区三垄三沟,每沟种植三行小麦,行距25 cm,小区面积12 m²(长4.0 m、宽3.0 m),试验共设4个处理,即处理1:垄覆地膜+沟内不覆盖(DM+BU)、处理2:垄覆地膜+沟覆秸秆(DM+JG)、处理3:垄覆地膜+沟覆液膜(DM+YM)、处理4:条播不覆盖(CK)。本试验采用随机区组排列,重复3次。供试品种为晋麦47,播量105 kg/hm²,保证基本苗210万/hm²,试验所用普通地膜为山西运城塑料厂生产,秸秆为当地小麦秸秆,按6 000 kg/hm²整秆均匀覆于沟内,秸秆上适量压土,以免秸秆被风吹走,液体地膜为浙江艾可泰投资有限公司生产,按公司推荐

收稿日期:2009-12-10

基金项目:“十一五”国家科技支撑课题“农田集雨保水关键技术研究”(2006BAD29B03)

作者简介:刘艳红(1982—),女,河南辉县人,在读硕士,研究方向为植物种质资源研究与可持续利用。E-mail: hongyanliu. 2008@163.com。

通讯作者:贾志宽(1962—),男,山西朔州人,教授,博士生导师,主要从事生态农业、旱地农业研究。E-mail: zhikuan@tom.com。

用量按 1:9 的比例兑水稀释,用喷雾器均匀喷洒于沟内。2007 年 9 月 13 日播种,2008 年 6 月 10 日收获;2008 年 9 月 18 日播种,2009 年 6 月 8 日收获。小麦生长期两年降雨情况见表 1。

表 1 2007~2009 年冬小麦生长季降雨情况(mm)
Table 1 Monthly precipitation of 2007 and 2009 in winter wheat growth stage

年份 Year	9 月 Sept.	10 月 Oct.	11 月 Nov.	12 月 Dec.	1 月 Jan.	2 月 Feb.	3 月 Mar.	4 月 Apr.	5 月 Mar.	6 月 Jun.	总计 Total
2007~2008	28.7	48.3	1.6	9.5	29.1	8.3	13.0	31.7	23.5	11.9	205.6
2008~2009	55.7	15.0	0	0	0	25.2	18.6	14.9	145.7	0	275.1

1.3 观测项目与方法

土壤水分含量:在小麦播前、收获后及主要生育阶段(2008 年测定时期为 3 月 24 日、4 月 24 日、5 月 21 日,2009 年测定的时期为 3 月 26 日、4 月 26 日、5 月 19 日)采用烘干称重法测定,在每个小区的微集水种植区沟中间取样,土壤水分测定深度为 200 cm,每 20 cm 取一个土样。

土壤贮水量: $v = \rho \times h \times \omega \times 10$
式中, v 为土壤贮水量(mm); ρ 为地段实测土壤容重(g/cm^3); h 为土层厚度(cm); ω 为土壤水分重量百分数(%)。

作物耗水量:根据当地降水规律及试验地特征,不考虑降水地表径流以及地下水补给和深层渗漏,可用简化水分平衡方程式:

$$ET_a = EP - \Delta W$$

式中, ET_a 为作物耗水量; EP 为降水量; ΔW 为时段末与时段初土壤储水量之差,式中各分量均以 mm 为单位。

水分利用效率:作物水分利用效率为作物消耗单位水量生产出的经济产量或生物产量,其表达式为:

$$WUE = Y_a / ET_a$$

式中, Y_a 为单位面积的经济产量(kg/hm^2); WUE 为作物水分利用效率($\text{kg}/(\text{mm} \cdot \text{hm}^2)$)。

用 SAS8.1 统计软件对数据进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 沟垄不同覆盖方式对土壤水分的影响

不同土层深度土壤含水量在各生育期表现不同。在小麦拔节期不同覆盖方式处理下 0~200 cm 土层土壤含水量两年变化见图 1,从两年平均来看:表层土壤含水量较高,处理 DM+JG、DM+BU、DM+YM 的含水量在 0~40 cm 分别较对照高 20.25% ($P<0.05$)、7.63% 和 11.01%。土层 40~100 cm 含水量以 DM+JG 最高,较对照高 10.76%,DM+YM 次之,较对照高 6.23%,DM+BU 较对照高 4.57%,增

幅最小,其中 40~80 cm,由于覆膜后引起土壤水分向上运动,起到提墒作用,所以含水量较高。100~200 cm 土层各处理土壤含水量以 DM+JG 的最高,较对照高 5.24%,DM+BU 次之,较对照高 3.71%,DM+YM 最小,较对照高 3.04%。2007~2008 年度 0~40 cm 土层各处理土壤含水量均较对照有所提高,随着土层的加深,各处理含水量在土层 40~100 cm 总体呈上升趋势,DM+JG 含水量最高,为 17.00%,DM+YM 为 16.24%,DM+BU 为 15.88%。100~200 cm 土层各处理较对照变化幅度较小。2008~2009 年度 0~40 cm 土壤含水量 DM+JG、DM+YM 与对照差异显著 ($P<0.05$),DM+BU 与对照差异不显著。DM+JG、DM+BU、DM+YM 在 40~100 cm 含水量分别较对照高 26.55% ($P<0.05$)、15.36% ($P<0.05$) 和 20.46% ($P<0.05$)。100 cm 以下随着土层深度的加深各处理变化趋势基本一致,同于覆膜主要影响土壤上层水分含量,对下层水分影响很小,所以 100 cm 以下处理间的差异很小。

从拔节期到抽穗期是小麦一生中生长速度最快、生长量最大的时期,穗、叶、茎等器官同时并进,干物质积累进入迅速增长阶段。相对于拔节期,各处理在抽穗期不同深度含水量均表现为下降的趋势。此时期两年不同覆盖方式处理下土壤剖面含水量变化表现为(图 2):DM+JG、DM+YM、DM+BU 在 0~40 cm 土层含水量分别较对照高 15.81% ($P<0.05$)、11.04% 和 5.47%。40~100 cm 土层,DM+JG 较对照提高的幅度最大,较对照高 13.81% ($P<0.05$),DM+YM 次之,DM+BU 最小,100~200 cm 土层 DM+JG、DM+BU 的含水量分别较对照高 0.73% 和 1.55%,DM+YM 的含水量低于对照。2007~2008 年度,由于测定前 2 天降雨入渗,土壤表层水分得到补充,含水量较高,在土层 0~40 cm,DM+JG 较对照高 21.72% ($P<0.01$),DM+BU 和 DM+YM 分别较对照高 8.22% ($P<0.05$) 和 16.98% ($P<0.05$)。DM+YM 在 40~100 cm 的含水量为 11.63%,较对照高 18.31%,DM+JG 为 12.78%,较

对照高 30.01% ($P < 0.05$), DM + BU 为 11.01%, 较对照高 12.00%, CK 为 9.83%。土层 100 ~ 200 cm, 各处理与对照差异不显著。2008 ~ 2009 年度处理 DM + JG、DM + BU、DM + YM 在 0 ~ 40 cm 土层的平均土壤含水量分别较对照增加了 21.72% ($P < 0.05$)、

8.22% 和 16.98%。40 ~ 100 cm 土层各处理间差异不显著, DM + JG 与对照差异显著 ($P < 0.05$)。100 ~ 200 cm 土层, DM + JG 和 DM + BU 分别较对照高 5.24% 和 0.28%, DM + YM 略低于对照。

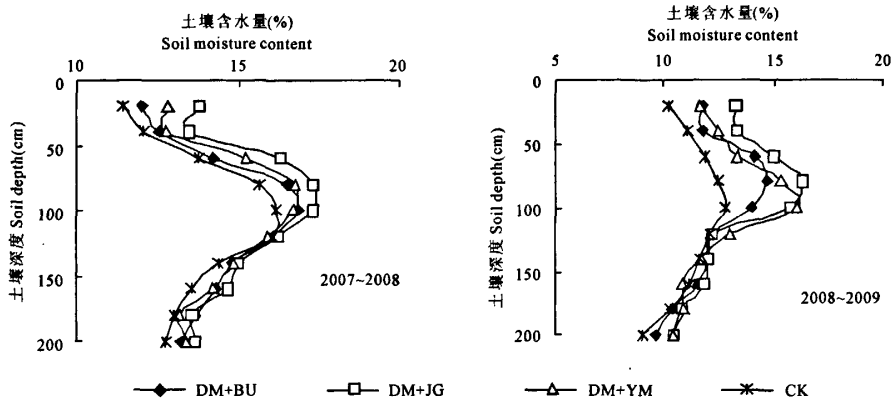


图 1 2007 ~ 2009 年不同处理对小麦拔节期土壤含水量的影响

Fig.1 Influence of different treatments on soil water at jointing stage of winter wheat in 2007 ~ 2009

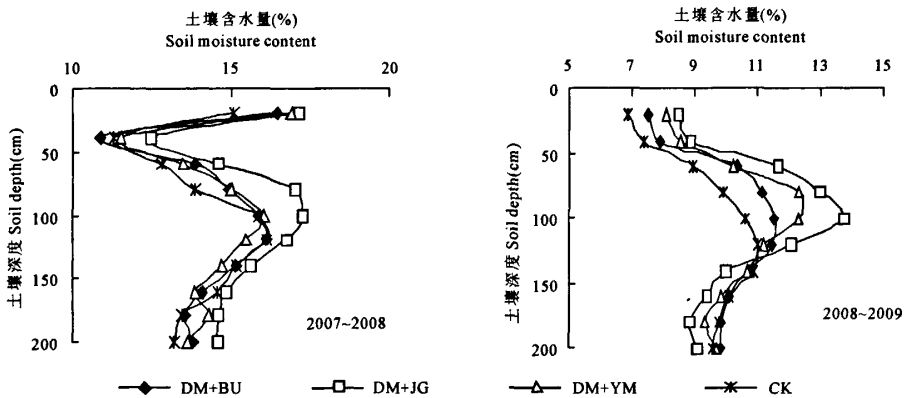


图 2 2007 ~ 2009 年不同处理对小麦抽穗期土壤含水量的影响

Fig.2 Influence of different treatments on soil water at heading stage of winter wheat in 2007 ~ 2009

灌浆期是小麦需水的关键时期,在灌浆前期保持较充足的水分供给,有利于提高粒重。各处理 0 ~ 200 cm 土层土壤含水量变化如图 3 所示:从两年平均含水量来看,土层 0 ~ 40 cm 各处理土壤含水量高低顺序为:CK > DM + YM > DM + BU > DM + JG, 40 ~ 100 cm, DM + JG、DM + YM、DM + BU 分别较对照低 10.21% ($P < 0.05$)、10.38%、8.78%, 100 ~ 200 cm 土层,各处理较对照变化幅度较小。2007 ~ 2008 年度, 0 ~ 40 cm 土层, DM + JG、DM + YM、DM + BU 分别较对照低 11.67%、5.35% 和 6.61%。这是由于进入灌浆期后,小麦由营养生长阶段进入生殖阶段,生

长量和生长速度较大,水分消耗多,这一时期降水很少,仅有 23.5 mm,降水对土壤上层水分的补充较少,因此各处理的含水量略低于对照。40 ~ 100 cm, 各处理均较对照含水量有所降低, 100 ~ 200 cm 土层,各处理水分差异变化不明显。2008 ~ 2009 年度在土层 0 ~ 40 cm,各处理含水量均较对照下降,处理间差异不显著。在土层 40 ~ 100 cm, DM + JG、DM + YM、DM + BU 含水量相对于对照分别降低了 11.59%、16.99%、16.23%, 100 ~ 200 cm 土层, DM + JG、DM + YM、DM + BU 处理土壤含水量较对照变化不明显。

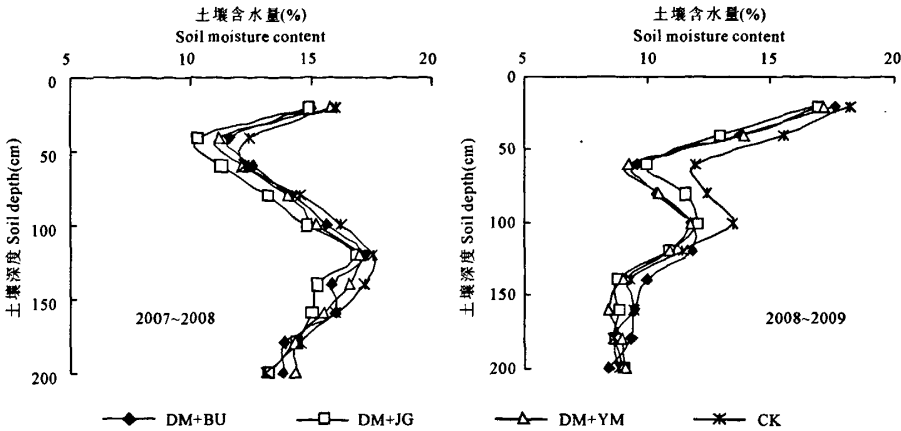


图 3 2007~2009 年不同处理对小麦灌浆期土壤含水量的影响

Fig.3 Influence of different treatments on soil water at filling stage of winter wheat in 2007~2009

在小麦成熟期,随着土壤深度的增加土壤含水量的变化如图 4,从两年平均看:0~40 cm,DM+YM、DM+JG、DM+BU 分别较对照高 4.21% ($P < 0.05$)、1.09% 和 1.61%,相对于灌浆期,成熟期表层水分有所增加,可能与这一时期降雨较多,降雨对土壤上层水分补偿较多有关。40~100 cm 土层,DM+JG 较对照低 0.76%,DM+BU、DM+YM 较对照高 0.49% 和 7.94%。100~200 cm,DM+JG 较对照低 5.69%,DM+BU 与 DM+YM 的含水量相近。2007~2008 年度,DM+JG 处理在 0~40 cm 土层土壤含水量较对照低 3.04%,DM+YM 和 DM+BU 分别较对照高 3.73% 和 0.87%。土层 40~100 cm,DM+JG

与 DM+YM 差异达显著水平 ($P < 0.05$),DM+YM、DM+BU 与对照差异达显著水平 ($P < 0.05$)。土层 100~200 cm,各处理与对照差异不显著。2008~2009 年度 DM+JG、DM+YM、DM+BU 处理在 0~40 cm 土层土壤含水量分别较对照高 5.23%、4.70% 和 2.34%,各处理与对照差异显著 ($P < 0.05$),处理间差异不显著。土层 40~100 cm,DM+YM 含水量最高,为 12.96%,较对照高 7.83%,DM+JG 含水量为 12.83%,较对照高 6.65%,DM+BU 较对照高 0.87%。土层 100~200 cm,DM+JG 和 DM+YM 与对照差异不显著,DM+JG 与 DM+BU 差异显著 ($P < 0.05$)。

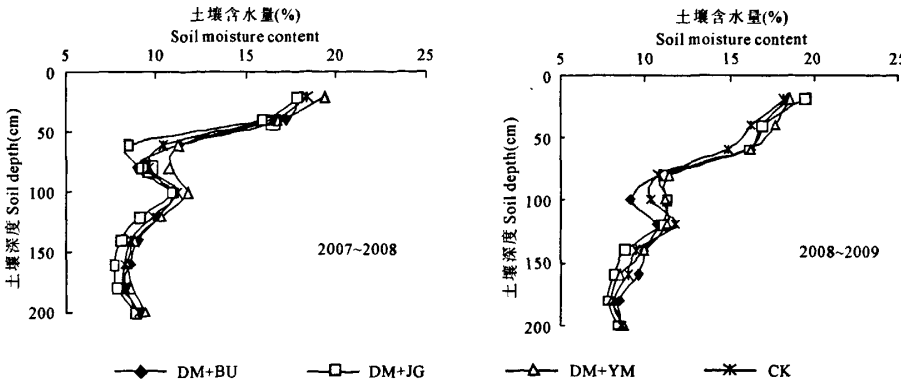


图 4 2007~2009 年不同处理对小麦成熟期土壤含水量的影响

Fig.4 Influence of different treatments on soil water at maturing stage of winter wheat in 2007~2009

2.2 不同覆盖方式对冬小麦水分利用效率的影响

农田微集水种植技术能够充分利用当季降雨,提高水分利用效率,显著提高作物产量^[9]。从表 2 可以看出,2007~2008 年度小麦产量以 DM+JG 的

最高,为 4 822.38 kg/hm² ($P < 0.05$),较对照增加 40.21%,DM+YM 较对照增加 29.92%,DM+BU 较对照增加 26.91%。水分利用效率以 DM+JG 最高,达 14.43 kg/(hm²·mm),较对照增加 35.21%,DM+

YM 次之,达 13.72 kg/(hm²·mm),较对照增加了 28.55%,DM + BU 最小,为 13.08 kg/(hm²·mm),各处理与对照差异达显著水平($P < 0.05$),处理间差异不显著。耗水量以 DM + JG 最大,为 334.27 mm,相对于对照高了 12.04 mm,DM + BU 的最小,达 325.79 mm。2008 ~ 2009 年度 DM + JG、DM + BU、DM + YM 的产量分别较对照增加了 38.86%、33.88% 和 35.00%。各处理的水分利用效率以 DM + JG 最高,

较对照增加 26.80%,DM + YM 次之,DM + BU 最小,各处理与对照间差异显著($P < 0.05$)。从两年的平均可以看出:DM + JG 的产量和水分利用效率最高,DM + YM 次之,DM + BU 最小。总体来看:DM + JG 起到了很好的抑蒸保墒的作用,改善了土壤的水分状况,提高了水分利用率,提高了产量,DM + YM 处理也提高了水分利用效率,但效果不如 DM + JG 明显。

表 2 冬小麦生长期不同处理的籽粒产量及降雨水分利用效率
Table 2 Effect of different treatments on grain yield and precipitation use efficiency

年份 Years	处理 Treatments	产量 Yield (kg/hm ²)	土壤贮水 Soil water storage(mm)		耗水量 Water consumption (mm)	水分利用率 WUE [kg/(hm ² ·mm)]
			播前 Presowing	收获后 Postharvest		
2007 ~ 2008	DM + BU	4364.95ab	353.20	225.18	333.62	13.08a
	DM + JG	4822.38a	353.20	224.53	334.27	14.43a
	DM + YM	4468.45ab	353.20	233.01	325.79	13.72a
	CK	3439.37c	353.20	236.57	322.23	10.67b
2008 ~ 2009	DM + BU	3639.67b	291.65	250.26	316.49	11.50b
	DM + JG	3775.14ab	281.60	249.78	306.92	12.30a
	DM + YM	3670.10ab	282.97	252.23	305.84	12.00a
	CK	2718.57c	281.98	276.82	280.26	9.70c
两年平均 The average	DM + BU	4002.31	322.43	237.72	325.06	12.29
	DM + JG	4298.76	317.40	237.15	320.60	13.36
	DM + YM	4069.275	318.09	242.62	315.81	12.86
	CK	3078.97	317.59	256.70	301.25	10.19

3 结论与讨论

1) 试验表明,在渭北旱塬采用不同的沟垄覆盖方式可以起到抑蒸保墒的作用,提高土壤的含水量,这与张正茂等^[10]研究结果是一致的。由于土壤水分利用的阶段性和层次性,使 40 ~ 60 cm 和 60 ~ 80 cm 处覆膜小麦土壤含水量均随生育期延后出现下降趋势,而露地小麦土壤含水量在 40 ~ 60,60 ~ 80 cm 和 80 ~ 100 cm 处均表现出随生育期进程逐渐增加,至拔节后期以后呈下降的趋势^[11]。各处理在小麦生育前期表层水分变化幅度较大,后期随着小麦的生长发育,深层贮水被小麦利用,深层水分变化幅度较大,地膜覆盖在拔节期有增温保墒作用,秸秆覆盖在冬小麦的关键生育期保墒效果好^[12],能有效抑制蒸发、增加降水入渗,改善土壤的水分状况^[13],DM + BU 在小麦拔节期 0 ~ 40 cm 和 40 ~ 100 cm 含水量较对照提高了 7.63% 和 4.57%,DM + JG 在小麦拔节期 0 ~ 40 cm 和 40 ~ 100 cm 含水量分别较对照高 20.25% 和 10.76%。有关试验表明^[14]:在半干

旱区域,一定量的秸秆覆盖均能在一定程度上提高农田土壤含水量。DM + JG 在小麦生育前期提高了土壤的含水量,最高幅度可达 20.25%;由于覆盖秸秆增加了地表的粗糙程度,使地表裸露面积相对减少,蒸发量降低,同时覆盖秸秆有利于充分利用天然降水增加水分的人渗深度,所以提高了土壤含水量^[15]。DM + YM 在一定程度上提高了含水量,在小麦返青期 0 ~ 40 cm 和 40 ~ 100 cm 含水量分别较对照提高了 11.01% ($P < 0.05$) 和 6.23%,在生育后期,液膜自然风化后,效果同沟内不覆相同。

2) 采用不同的沟垄覆盖方式可显著提高小麦产量和水分利用效率。由于地膜具有透光性、不透气、质轻耐久等特性以及显著的增温保水和增产早熟作用^[16],垄覆地膜沟不覆(DM + BU)能显著提高小麦产量,产量较对照高了 29.99%,水分利用率较对照高了 20.63%。秸秆覆盖可提高雨水的入渗能力,防止雨水形成地表径流,秸秆本身也可对雨水有阻挡作用,减缓雨水在地表的水流速度,从而提高雨水的利用效率^[17],两年数据表明:沟覆秸秆显著提

高了小麦产量,DM + JG 两年平均产量较对照高了 39.62%,2008 年和 2009 年水分利用效率分别较对照高了 35.21% ($P < 0.05$) 和 26.80% ($P < 0.05$)。沟覆液膜具有一定的抗旱增产效果,DM + YM 处理 2008 年和 2009 年产量分别较对照提高了 29.92% ($P < 0.05$) 和 35.00% ($P < 0.05$),水分利用效率较对照提高了 28.55% ($P < 0.05$) 和 23.71% ($P < 0.05$)。

参考文献:

- [1] 王俊鹏,蒋俊,韩清芳. 宁南半干旱地区春小麦农田微集水种植技术研究[J]. 干旱地区农业研究,1999,17(2):9—13.
- [2] 曹玉琴,刘彦明,王梅春,等. 旱作农田沟垄覆盖集水栽培技术的试验研究[J]. 干旱地区农业研究,1994,12(1):75—77.
- [3] 廖促成,付增光,韩思明. 黄土高原旱作农田降水资源高效利用[M]. 西安:陕西科学技术出版社,2003.
- [4] 李小雁,张瑞玲. 旱作农田沟垄微型集雨结合覆盖玉米种植试验研究[J]. 水土保持学报,2005,19(2):45—52.
- [5] 李永平,贾志宽,刘世新,等. 旱作农田微集水种植产流蓄墒扩渗特征研究[J]. 干旱地区农业研究,2006,24(2):86—90.
- [6] 韩清芳,李向拓,王俊鹏,等. 微集水种植技术的农田水分调控效果模拟研究[J]. 农业工程学报,2004,20(2):78—82.
- [7] 李新平,李素俭. 黄土高原旱作土壤水分动态及提高水分利用率的研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报,1997,3(1):75—79.
- [8] 强秦,曹卫贤,刘文国,等. 旱地小麦不同栽培模式对土壤水分和水分生产效率的影响[J]. 西北植物学报,2004,24(6):1066—1071.
- [9] 王俊鹏,马林,蒋骏,等. 宁南半干旱偏旱区农田微集水种植技术研究[J]. 西北农业大学学报,1999,27(3):20—27.
- [10] 张正茂,王虎全. 渭北地膜覆盖小麦最佳种植模式及微生境效应研究[J]. 干旱地区农业研究,2003,21(3):55—60.
- [11] 张保军,杨文平,王银银. 穴播地膜小麦土壤水分动态变化研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2001,29(8):70—77.
- [12] 张洁,吕军杰,王育红,等. 豫西旱地不同覆盖方式对冬小麦生长发育的影响[J]. 干旱地区农业研究,2009,26(2):94—97.
- [13] 张志田,高绪科,蔡典雄,等. 旱地麦田保护性耕作对土壤水分状况影响研究[J]. 土壤通报,1995,26(5):200—203.
- [14] 侯连涛,焦念元,韩斌,等. 不同覆盖方式对土壤水分分布的影响[J]. 灌溉排水学报,2007,26(1):47—50.
- [15] 李成军,吴宏亮,康建宏,等. 保护性耕作下玉米田土壤水温效应研究[J]. 安徽农学通报,2009,15(11):117—119.
- [16] 王彩绒,田霄鸿,李生秀. 沟播覆膜集雨栽培对冬小麦水分利用效率及产量的影响[J]. 中国农业科学,2004,37(2):208—214.
- [17] 李全起,陈雨海,于舜章,等. 灌溉条件下秸秆覆盖麦田耗水特性研究[J]. 水土保持学报,2005,19(2):130—132,141.

Effects of dual-mulching with plastic film and other mulching materials on soil water and WUE in semiarid region

LIU Yan-hong, JIA Zhi-kuan, ZHANG Rui, LIU Ting, MA Xiao-li

(Research Center of Agriculture in the Arid and Semiarid Areas, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The winter wheat dual-mulching experiments were carried out with plastic film mulching on ridges and other different mulching materials in furrows in Weibei dryland from September 2007 to June 2009. The results showed that: The treatment of plastic film and straw dual-mulching can increase wheat yield significantly, the highest rate of increase is 39.62% ($P < 0.05$) compared with the CK (no covering on ridges or in furrows), and the two-year average yield of wheat in the treatment of dual-mulching with plastic film and black liquid film increased by 32.16%, and the treatment of only plastic film mulching on ridges increased by 29.99%. The treatment of dual-mulching with plastic film and straw has obvious effect of preserving soil moisture within 0 ~ 40 cm soil depth, which can effectively improve soil moisture content. The soil moisture content of 0 ~ 40 cm soil depth increased by 15.81% in heading stage. The treatment of dual-mulching with plastic film and black liquid film has a good water-retention effect in the early growth period of wheat, which increased the water content by 11.01% within 0 ~ 40 cm soil depth at jointing stage of winter wheat. The water use efficiency in the treatments of dual-mulching with plastic film and straw, and dual-mulching with plastic film and black liquid film were increased by 31.11% ($P < 0.05$) and 26.20% ($P < 0.05$) respectively compared with the CK.

Keywords: Weibei dryland; winter wheat; dual-mulching; soil moisture content; water use efficiency