

干旱年份全膜双垄沟播覆盖模式对 玉米水分和温度的影响

孙玉莲^{1,2}, 边学军², 贾小琴², 黄成秀², 韦伯龙², 李芸², 闫旭东²

(1. 甘肃省气象局, 甘肃 兰州 730020; 2. 甘肃临夏州气象局, 甘肃 临夏 731100)

摘要: 通过田间试验, 比较分析干旱年份全膜双垄沟播(T1)、平铺覆膜(T2)以及露地平作(不覆膜, CK)3种植方式玉米不同生育期土壤含水率和温度的变化, 探求全膜双垄沟播技术对旱区玉米田土壤水分和温度的影响。结果表明:(1) 从0~200 cm 土层平均含水率看, 全生育期以 T1 处理的平均值最高, 比 T2 和 CK 高 0.3 和 0.5 个百分点; 处理间 0~200 cm 土层含水率以出苗~7 叶期差异最大, T1 比 T2 和 CK 高 0.7 和 3.2 个百分点, 以吐丝期差异最小, T1 比 T2 和 CK 高 0.4 和 0.0 个百分点, 乳熟~成熟期 T1 比 T2 高 0.4 个百分点、比 CK 低 0.5 个百分点。(2) 从全生育期浅层土壤(0~40 cm)各层平均含水率看, T1 比 T2 和 CK 高 0.5 和 0.9 个百分点, 以 20~40 cm 差异最大, T1 比 T2 和 CK 分别高 0.5 和 1.3 个百分点, 40~80 cm 土层, T1 比 T2 和 CK 分别高 0.4 和 0.5 个百分点, 80~200 cm 土层, T1 高出 T2 0.5 而低于 CK 0.4 个百分点。(3) 全生育期 0~40 cm 土层温度平均值看, T1 比 T2 和 CK 高 0.7℃和 2.5℃, 其中以苗期差异最大, T1 比 T2 和 CK 分别高 0.8℃和 4.9℃, 吐丝期差异最小, T1 比 T2 和 CK 分别高 0.8℃和 0.7℃。说明全膜双垄沟播技术能明显改善土壤温、湿度状况, 是旱区玉米的高效栽培模式。

关键词: 旱地玉米; 全膜双垄沟播; 覆膜方式; 土壤含水率; 土壤温度

中图分类号: S513.048 **文献标志码:** A

Effects of whole plastic-film mulching of double ridges and planting in catchment furrows on soil moisture and temperature of maize in drought years

SUN Yu-lian^{1,2}, BIAN Xue-jun², JIA Xiao-qin², HUANG Cheng-xiu², WEI Bo-long², LI Yun², YAN Xu-dong²

(1. Gansu Provincial Meteorological Bureau, Lanzhou 730020, China;

2. Linxia Meteorological Bureau of Gansu Province, Linxia 731100, China)

Abstract: This paper investigated the effects of whole plastic-film mulching of double ridges and planting in catchment furrows on soil moisture and temperature of dryland maize. The study was conducted in a typical semiarid area and measured the variations of soil moisture and temperature at the different growth stages under the three treatments, including whole plastic-film mulching on double ridges and planting in catchment furrows (T1), flat film (T2), and non-covering flat planting (CK). The results showed that: (1) The water content of T1 was 0.3 percentage points and 0.5 percentage points higher than T2 and CK during the whole growth period, respectively. The largest difference of 0~200 cm soil layer water content appeared between emergence and seven-leaf stage, T1 was 0.7 and 3.2 percentage points higher than T2 and CK, respectively. By contrast, the smallest difference occurred at silking stage, with T1 only increased by 0.4 percentage points compared with T2 and being similar to CK. T1 was 0.4 percentage points higher than T2 but 0.5 percentage points lower than CK at the milky maturity stage. (2) At soil layer of 0~40 cm, water content of T1 was 0.5 and 0.9 percentage points higher than T2 and CK during the whole growth period, respectively. The largest difference was detected in the 20~40 cm soil depth, with T1 being 0.5 percentage points and 1.3 percentage points higher than T2 and CK, respectively. At the 40~80 cm soil layer, T1 was 0.4 percentage points and 0.5 percentage points higher than T2 and CK. At the 80~200 cm soil layer, T1 was 0.5 percentage points higher than T2 but 0.4 per-

收稿日期: 2015-03-11

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(2013CB430200; 2013CB430206)

作者简介: 孙玉莲(1967—), 北京大兴人, 高级工程师, 主要从事应用气象、气候变化和农业气象研究。E-mail: 13993003398@139.com。

通信作者: 边学军(1968—), 甘肃临洮人, 工程师, 主要从事应用气象研究。

centage points lower than CK. (3) The soil temperature of T1 was 0.7°C and 2.5°C higher than T2 and CK during the whole growth period at the 0~40 cm soil layer, respectively. The maximum difference was observed at seedling stage, with T1 being 0.8°C and 4.9°C higher than T2 and CK, and the minimum difference at silking stage, with T1 0.8°C and 0.7°C. It was concluded that the techniques of whole plastic-film mulching on double ridges and planting in catchment furrows significantly improved the soil temperature and water content, suggesting that is a highly efficient cultivation pattern of dryland corn.

Keywords: dryland maize; whole mulching of wide ridges and planting in the furrow; plastic film mulching pattern; soil moisture; soil temperature

玉米是重要的粮食作物,近年来其需求量越来越大,但由于耕地减少和气候条件限制,不可能通过增加玉米种植面积来提高玉米总产,提高玉米产量的主要途径靠提高玉米单产^[1]。

临夏州地处甘肃省东南部,地处 34°~36°N 之间,年平均气温 5.2°C~9.4°C,年均降水量为 273.7 mm~592.7 mm,降水稀少,蒸发强烈,春季干旱少雨,是典型的旱作雨养农业区。由于水资源短缺,严重制约了该区经济发展和农业生产力的提高。因此,从解决水的问题着手,变无效降水为有效,充分利用有限的降水资源,提高作物对降水的利用效率是旱作农业发展的根本出发点。全膜双垄沟播覆膜技术能够抑制蒸发,使雨水集流、贫水富集等作用得到综合发挥,显著提高作物产量、降水储蓄率和水利用效率^[2-6]。全膜双垄沟播能加快玉米的生长发育进程,玉米生长发育阶段气候越干旱,其促进作用越明显,且能明显减除玉米“卡脖子”现象。甘肃省多点试验研究表明,全膜双垄沟播技术使农田降水利用率最高达到 75.2%,平均达到 70%以上,其中玉米水分利用效率最高达到 37.8 ($\text{kg} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \text{hm}^{-2}$),平均达到 33 ($\text{kg} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \text{hm}^{-2}$)^[4],全膜双垄沟播技术在旱作农田降水高效利用方面取得了重大突破^[7]。张永涛等^[8]研究也发现,覆膜较露地栽培可增加土壤贮水量 30%、降低蒸散量 50%、减少水分亏缺 15%以上,尤其在春旱时抗旱保墒作用明显。

本试验采用最新的土壤湿度和温度测量方法,以甘肃旱地玉米为对象分土层、分时期、分覆膜方式进行土壤水分及地温动态比较研究,尤其突出对土壤水分及浅层(0~40 cm)土壤温度的全程监测,揭示全膜双垄沟播技术在提高土壤水分及温度的作用机理,以期进一步为全膜双垄沟播技术的大面积推广,提高玉米产量提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于 2011 年在甘肃省临夏州广河县农田试

验地(103°34'E, 35°29'N)进行,2011 年年总降水量 394.7 mm,比历年均值(466.5 mm)偏少 2 成。2011 年 4 月中下旬降水偏少 1 倍,5 月中下旬连续两旬降水偏少 5 成以上,出现春旱,5 月中旬至 6 月中旬降水量偏少 5 成以上,出现春末初夏旱,7 月中旬至 8 月上旬出现伏旱。6 月 30—7 月 13 日、8 月 15—20 日、9 月 2—9 日出现连阴雨,6—8 月降水量比历年偏少 3 成,属偏早年份。试验田土壤为壤土,土质绵软,土层深厚,质地均匀,贮水性能良好。0~200 cm 土壤质量密度平均为 $1.18 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。凋萎含水率 7.0%,饱和含水率 23.9%。4 月 1 日播种玉米,9 月 30 日收获,玉米生长期平均总降水量 314.4 mm,其中 5 mm 以上有效降雨只有 177.8 mm。图 1 为玉米生育期间的有效降水量分布。

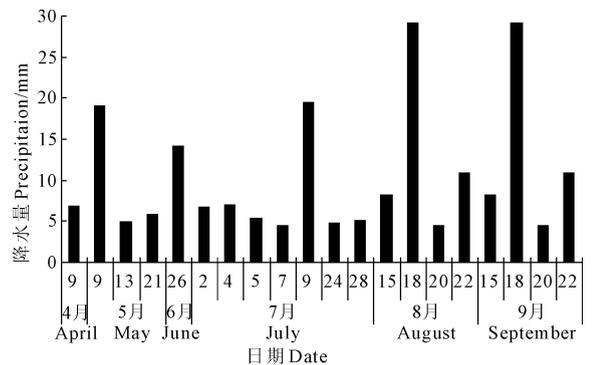


图 1 玉米全生育期的有效降水量

Fig. 1 The effective precipitation during the whole growth stage

1.2 试验设计

供试玉米品种为‘中单 2 号’。试验设全膜双垄沟播(T1)、平铺覆膜(T2)和露地平作(CK)共 3 个处理,4 次重复,共 12 个小区,每个小区面积约 0.02 hm^2 ,随机区组排列,4 次重复后求均值,作为一次测量值。T1 设置为:小垄宽 40 cm,垄高 15~20 cm,大垄宽 70 cm,垄高 10~15 cm。起垄前,首先划行,距地边 35 cm 处划边线,沿边线按一小垄一大垄的顺序依次划行起垄。起垄机起垄时,两犁尖对准小垄基线,起第一个小垄,完成后后犁尖对准另一个小垄

线,起第二个小垄,一个来回形成两小垄一大垄,用幅宽 120 cm 的薄膜全地面覆盖。T2 不起垄平覆地膜,用幅宽 120 cm 的地膜全地面覆盖,播种期直接进行宽、窄行(宽行 70 cm,窄行 40 cm)穴播点种,3月10日覆膜。CK 不起垄,不覆膜,整平地块后在播种期直接进行宽、窄行(宽行 70 cm,窄行 40 cm)穴播点种。

1.3 试验方法

土壤水分用烘干称重法测定^[9]。玉米从播种至成熟,每月逢3日、逢8日在玉米田固定位置取土测定土壤重量含水率。测深 200 cm,分 10、20、30、40、60、80、150、200 cm 共 8 个层次。覆膜处理用便携式土壤湿度仪(GStarS406)观测不同深度的土壤水分,露地播种在作物种植区打土钻(直径 4 cm)测至 200 cm 土层深度。

地温测量:在 3 个处理的中心部位分别安装 0、5、10、20、40 cm 土层温度传感器,在玉米全生育期取每天 2:00、8:00、14:00、20:00 定时观测土壤温度,4 个时点的平均值即为当天的地温。温度传感器与处理器相连,自动采集处理数据,传输到计算机存储。

利用 Excel 软件进行数据分析并作图。

2 结果与分析

2.1 全膜双垄沟播对土壤水分的影响

由图 2 可见,2011 年试验期间,试验地段出现春旱连春末初夏旱、伏旱,受旱较重。玉米吐丝期以前有效降水较少,吐丝期以后降水量相对多。相应地,拔节期以前的土壤含水率普遍较低,拔节-吐丝期土壤含水率相对较高,乳熟期土壤含水率又较低,到成熟期土壤含水率相对较高(图 2a~图 2h)。

由图 2a~图 2h 可见,在玉米生长季内,全膜双垄沟播(T1)处理的增墒作用明显。图中显示,2011 年试验期,各处理 0~200 cm 土层的平均重量含水率均较低,占土壤饱和含水率的 56% 以上;T1 处理 0~200 cm 土层的平均重量含水率最高,为 13.9%,约占土壤饱和含水率的 60%,分别比平铺覆膜(T2)和露地平作(CK)处理高 0.3 和 0.5 个百分点;实际上,从各生育期 0~200 cm 土层的平均重量含水率的平均值看,土壤水的分布是不均匀的,拔节期以前相对较小,拔节~吐丝期相对较大,乳熟期较小,成熟期又较大,这与当年降水量分布情况一致。在这种情况下,出苗~拔节期 T1 处理的增墒作用明显,0~200 cm 土层的平均含水率最高,苗期、7 叶期、拔节期、吐丝期分别比 CK 高 3.8、2.6、0.6、0.0 个百分点,T2 处理也有一定的增墒作用,但比 T1 低一些,

分别低 0.5、0.8、0.4、0.4 个百分点;拔节期以后 T1 处理的增墒优势明显减弱或消失,乳熟期和成熟期 T1 比 T2 处理高 0.4 和 0.4 个百分点,但比 CK 低 0.5 和 0.4 个百分点。

由图 2a~2h 不同深度土壤含水率平均值可见,在浅层 0~40 cm 土壤,0~10 cm 深处观测的土壤含水率最高,然后随深度 20 cm、30 cm、40 cm 逐渐降低;在深层 60~200 cm 土壤,80~150 cm 处土壤含水率最高,随后为 150~200 cm,60~80 cm,40~60 cm。从全生育期各深度处的平均值看,T1 处理 40 cm 内的含水率均最高,10、20、30、40 cm 处(主要耕作层)的土壤含水率比 CK 高 0.3、0.9、1.1、1.4 个百分点,也比 T2 处理高 0.4、0.5、0.5、0.5 个百分点;40~60 cm T1 土壤含水率比 CK 高 0.6、0.3 个百分点,也比 T2 处理高 0.4、0.4 个百分点,对于深层 80~200 cm 土壤来说,T1 处理的保水效果不好,80~150 cm 和 150~200 cm 处平均含水率甚至低于 CK 0.2、0.5 个百分点但高于 T2 处理。从各生育期不同深度处土壤含水率的平均值看,苗期~7 叶期,试验地有效降水少,T1 处理在浅层的保墒效果最好,10 cm 处土壤湿度比 CK、T1 分别高 4.1 和 1.3 个百分点,20 cm 处土壤湿度比 CK、T1 分别高 4.1 和 2.6 个百分点,深层土壤的含水率也明显高于 CK;吐丝期后有效降水增多,浅层土壤水分及时得到补充,各处理间差异明显缩小,由于 CK 处理中深层土壤水得到及时补充,T1 和 T2 处理 80~200 cm 处的土壤含水率反而低于 CK。可见,在降水相对较少的生育早期,T1 处理的保湿增墒作用很明显,深浅层土壤含水量均比 CK 高,也高于 T2 处理,但在降水相对较多的生育后期,这种作用在深层土壤中不再明显甚至消失。

2.2 全膜双垄沟播对土壤温度的影响

由表 1 可见,全膜双垄沟播(T1)处理的增温效果明显。苗期植被稀疏,T1 处理的增温效果最大,0~40 cm 土温平均值达到 18.9℃,比露地平作(CK)高 4.9℃,比平铺覆膜(T2)高 0.8℃;其中,增温幅度最大的是地表和 10 cm 处,T1 处理比 CK 高了 7.8℃和 6.9℃,平铺覆膜的增温效果也很明显,比 T1 处理略低。

随着玉米生长发育和气温逐渐升高,地面覆盖物逐渐增加,T1 处理的覆膜增温效果依然明显但增幅逐渐降低,7 叶期、拔节期、吐丝期 0~40 cm 土温平均值分别比 CK 高 4.1℃、2.3℃、0.7℃,乳熟期和成熟期增幅又逐渐增大,分别达 1.3、1.9;增温最明显的表层(0 cm),出苗期、7 叶期、拔节期、吐丝期、

乳熟期和成熟期土温分别比 CK 高 7.8℃、5.9℃、4.3℃、4.6℃、3.7℃、5.5℃。T2 处理的增温效果也很明显,苗期、7 叶期与 T1 差别不大,但拔节期以后增温幅度(与 T1 处理比)明显变小。对于深层土壤

来说,玉米生长前期,T1 和 T2 处理的覆膜增温效果也很显著,与 CK 相比,苗期和 7 叶期地表以下各处土温能增加 2℃~4℃,拔节期及其以后,这种增温效应明显减弱,吐丝期 T1 处理各处温度甚至低于 CK。

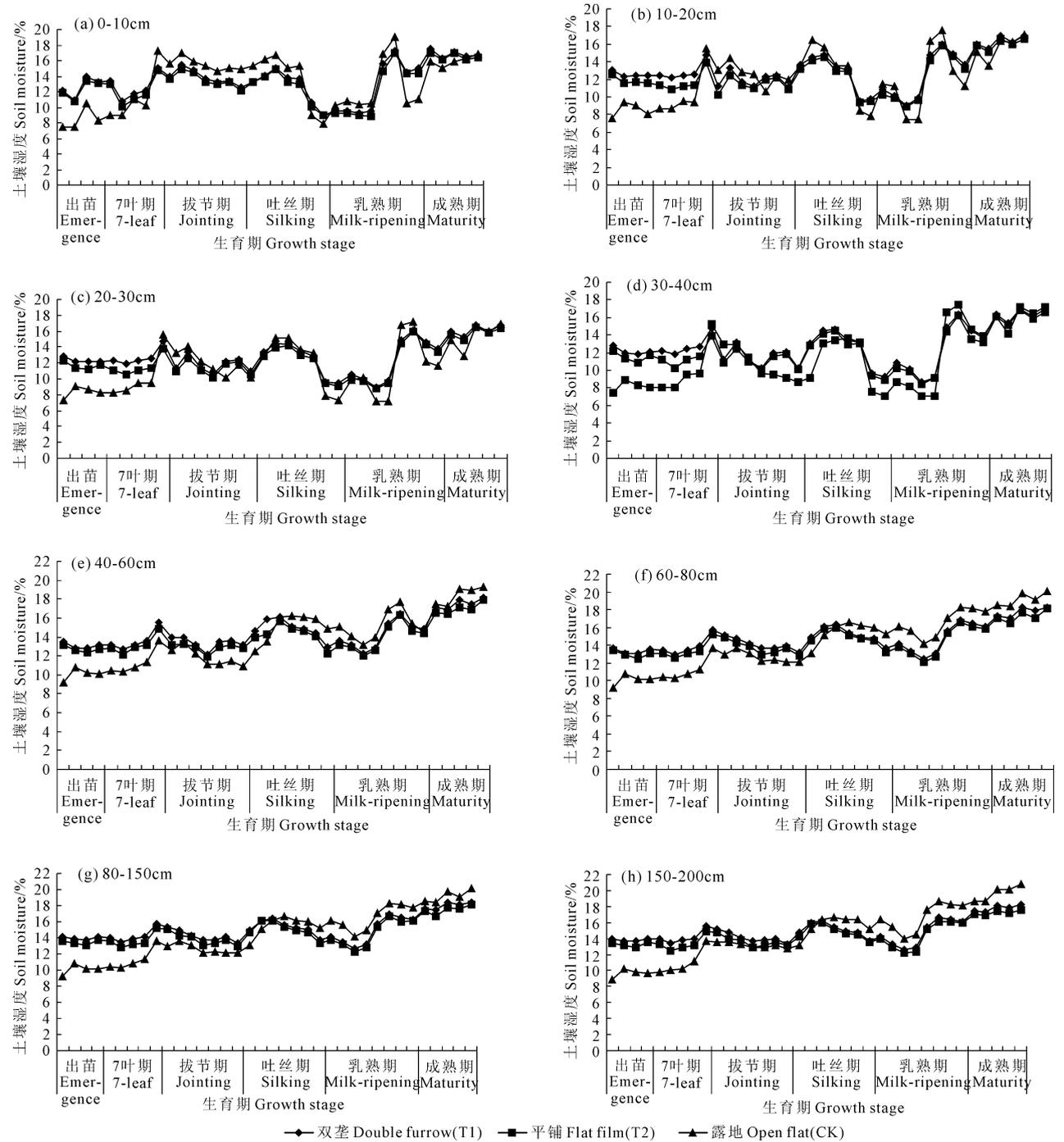


图 2 玉米不同种植方式各生育期 0~200 cm 土壤含水量

Fig. 2 0~200 cm soil moisture content of corn growth period under different planting form

3 结论与讨论

1) 全膜双垄沟播(T1)、平铺覆膜(T2)以及露地平作(不覆膜,CK)3 种植方式,从 0~200 cm 土层

平均含水率看,全生育期以 T1 处理的平均值最高,比 T2 和 CK 高 0.3 和 0.5 个百分点;处理间 0~200 cm 土层含水率以出苗~7 叶期差异最大,T1 比 T2 和 CK 高 0.7 和 3.2 个百分点,以吐丝期差异最小,

表1 玉米各生育期不同土层温度/℃

Table 1 The soil temperature at different soil layers during maize growth periods under different treatments

生育期 Growth stage	处理 Treatment	土层深度 Soil depth				平均值 Mean
		0 cm	10 cm	20 cm	40 cm	
出苗期 Emergence	T1	22.6	20.4	15.2	17.5	18.9
	T2	20.8	19.8	14.9	16.7	18.1
	CK	14.8	13.5	13.3	14.2	14.0
	T1 - T2	1.8	0.6	0.3	0.8	0.8
	T1 - CK	7.8	6.9	1.9	3.3	4.9
7叶期 7 - leaf	T1	28	26.2	26.2	22.3	25.7
	T2	26.2	26.3	26.2	22.2	25.2
	CK	22.1	22.2	22.1	20.1	21.6
	T1 - T2	1.8	-0.1	0	0.1	0.5
	T1 - CK	5.9	4	4.1	2.2	4.1
拔节期 Jointing	T1	28.8	23.2	23.6	21.3	24.2
	T2	27.9	21.5	21.6	20.9	23.0
	CK	24.5	20.8	20.7	21.4	21.9
	T1 - T2	0.9	1.7	2	0.4	1.2
	T1 - CK	4.3	2.4	2.9	-0.1	2.3
吐丝期 Silking	T1	26.8	19.3	19.4	18.9	21.1
	T2	25.6	18.9	18.9	17.9	20.3
	CK	22.2	19.2	19.3	20.9	20.4
	T1 - T2	1.2	0.4	0.5	1	0.8
	T1 - CK	4.6	0.1	0.1	-2	0.7
乳熟期 Milky to ripening stage	T1	19.9	15.5	15.5	17.6	17.1
	T2	18.8	14.9	14.9	17.6	16.6
	CK	16.2	15.2	15.2	16.5	15.8
	T1 - T2	1.1	0.6	0.6	0	0.5
	T1 - CK	3.7	0.3	0.3	1.1	1.3
成熟期 Maturity	T1	19.7	14.2	14.2	17.5	16.4
	T2	18.1	13.9	13.9	17.5	15.9
	CK	14.2	14.2	14.2	15.3	14.5
	T1 - T2	1.6	0.3	0.3	0	0.5
	T1 - CK	5.5	0	0	2.2	1.9

T1 比 T2 和 CK 高 0.4 和 0.0 个百分点,乳熟~成熟期 T1 比 T2 高 0.4 个百分点、比 CK 低 0.5 个百分点。从全生育期浅层土壤(0~40 cm)各层平均含水率看,T1 比 T2 和 CK 高 0.5 和 0.9 个百分点,以 20~40 cm 差异最大,T1 比 T2 和 CK 高 0.5 和 1.3 个百分点,40~80 cm,T1 比 T2 和 CK 高 0.4 和 0.5 个百分点,80~200 cm,T1 高出 T2 0.5 而低于 CK 0.4 个百分点。Bu 等^[10]对玉米进行地膜覆盖试验,结果表明,地膜覆盖处理土壤表层含水量明显高于未覆膜,这与本试验研究结果相符。本试验结果发现全膜双垄沟播对提高 0~20 cm 土壤水分效果很明显。

2) 全膜双垄沟播玉米在苗期~七叶期表层土

壤含水率较高,集水效果较好。在乳熟~成熟期的土壤含水率有所增加,平铺覆膜处理吐丝~成熟期明显不如全膜双垄沟播和露地平作。在 40 cm 以下各土层全膜双垄沟播玉米在乳熟~成熟期土层水分均出现前低后高的波动,露地平作玉米这种前低后高的波动更明显。这应该与当地 7—9 月降水量增加及全膜双垄沟播覆膜方式有关,因为随着试验点降水的增多,露地平作降水更容易渗透入土,平铺覆膜方式雨水流失更多更快。

3) 全膜双垄沟播虽然能显著改善生长前期 0~40 cm 表层墒情,但深层土壤墒情不如露地,全生育期 0~40 cm 土体的平均含水量高于露地平作,不同

覆膜方式下土壤含水率的差异以 40~60 cm 土层最小,可能是因为该土层受根系就近取水的影响强烈,从而缩小了水分差异,80~200 cm 土层露地平作含水率最高。本试验结论与负学锋等^[11]的研究成果一致,即覆膜玉米对上层墒情的改善远大于下层。全膜双垄沟播栽培技术能够显著增加耕作层土壤含水率,有效蓄集春季有限的降水(尤其是 10 mm 以下降水),解决了旱作农业区因春旱无法播种、出苗率低和苗弱的问题,为高产稳产打下了坚实基础。对于气候干燥,蒸发强烈,春季干旱少雨的干旱半干旱地区尤其适用。

4) 全膜双垄沟播土层全生育期水分较稳定和充足,直到成熟期仍维持在 13% 以上。全膜双垄沟播上层土壤含水率相对稳定,变幅较小,作物生长期特别是苗期耕层土壤含水率的改善,尤其在降水较少的情况下,对促进作物早萌发、早出苗和苗期茎叶生长特别是根系发育和增产具有重要作用,膜下深层土壤水分由于毛细管作用而不断上升,还增加了作物对土壤深层水分的利用,这在旱地农业生产中具有十分重要的意义。本试验研究与刘广才等的结论相似^[4,12]。说明全膜双垄沟播能更好地发挥地膜抑制蒸发、蓄水保墒作用,有利于玉米的出苗,从而为玉米后期生长打下良好基础。

5) 从全生育期 0~40 cm 土层温度平均值看,T1 比 T2 和 CK 高 0.7℃ 和 2.5℃,其中以苗期差异最大,T1 比 T2 和 CK 高 0.8 和 4.9℃,吐丝期差异最小,T1 比 T2 和 CK 高 0.8℃ 和 0.7℃;各土层中以 0~20 cm 差异最大,全膜双垄沟播高出平铺覆膜、露地平作 0.9℃ 和 3.0℃。全生育期全膜双垄沟播土

壤温度均高出露地平作,表明全膜双垄沟播明显提高了土壤表层(0~20 cm)温度。这与巩杰等^[13]的研究结果一致,即地膜覆盖除具有显著的保水效果外还具增温效应。

参 考 文 献:

- [1] 王崇义. 北方旱地主要粮食作物优良品种[M]. 北京:中国农业出版社,1996:1-3.
- [2] 尚勋武,杨祁峰,刘广才. 甘肃发展旱作农业的思路和技术体系[J]. 农业科技与信息,2007,(8):3-5.
- [3] 牛建彪. 半干旱区小麦玉米雨水高效利用技术模式[J]. 甘肃农业科技,2005,(5):22-23.
- [4] 刘广才,杨祁峰,李来祥,等. 旱地玉米全膜双垄沟播技术土壤水分效应研究[J]. 干旱地区农业研究,2008,26(6):18-28.
- [5] 杨祁峰,孙多鑫,熊春蓉,等. 玉米全膜双垄沟播栽培技术[J]. 中国农技推广,2007,23(8):20-21.
- [6] 张雷,牛建彪,赵凡. 旱作玉米双垄面集雨全地面覆膜沟播抗旱增产技术研究[J]. 甘肃科技,2004,20(11):174-175.
- [7] 赵凡. 玉米双垄面集雨全膜覆盖沟播栽培技术优势及应用前景[J]. 耕作与栽培,2005,(6):62-63.
- [8] 张永涛,汤天明,李增印,等. 地膜覆盖的水分生理生态效应[J]. 水土保持研究,2001,8(3):45-47.
- [9] 黄昌勇. 土壤学[M]. 北京:中国农业出版社,1999.
- [10] Bu Yushan, Miao Guoyuan, Zhou Naijian, et al. Temporal and spatial variation of soil moisture in corn field mulched with staw and plastic film-simultaneous evaluation of the application of regression isogram[J]. Acta Pedologica Sinica,2004,41(5):795-802.
- [11] 负学锋,吴普特,汪有科. 地膜覆盖保墒灌溉的土壤水、热以及作物效应研究[J]. 灌溉排水学报,2006,25(1):25-29.
- [12] 张雷. 旱地双垄面集水全膜不同时期覆盖对玉米生长的影响[J]. 作物杂志,2007,(3):67-68.
- [13] 巩杰,黄高宝,陈利顶,等. 旱作麦田秸秆覆盖的生态综合效应研究[J]. 干旱地区农业研究,2003,21(3):69-73.

(上接第 34 页)

参 考 文 献:

- [1] Allen R G, Pereira L S, Raes D, et al. Crop evapotranspiration. Guidelines or Computing Crop water Requirements[M]. Irrigation and Drainage Paper No. 56, Rome:FAO, 1998.
- [2] 韦斯·沃伦德,唐·格兰姆斯. 美国国家灌溉工程手册[M]. 水利部国际合作司等编译. 北京:中国水利水电出版社,1998.
- [3] Steele D D, Sajid A H, Pruity L D. New corn evapotranspiration ciop curves for southeastern North Dakota[J]. Trans of the ASAE, 1996, 39(3):931-936.
- [4] 杨晓光, Bouman B A M, 张秋平, 等. 华北平原旱稻作物系数试验研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(2):37-41.
- [5] Sammis T W, Mapel C L, Lugg D G, et al. Evapotranspiration, crop coefficients predicted using growing-degree-days [J]. Trans of the ASAE, 1985, 28(3):773-780.
- [6] 严菊芳,杨晓光. 陕西关中地区大豆作物系数试验研究[J]. 中国农业科技导报, 2010, 12(2):116-121.
- [7] 孙景生,刘祖贵,张寄阳,等. 风沙区春小麦作物系数试验研究[J]. 农业工程学报, 2002, 18(6):55-58.
- [8] 陈凤,蔡焕杰,王健,等. 杨凌地区冬小麦和夏玉米蒸发蒸腾和作物系数的确定[J]. 农业工程学报, 2006, 22(5):191-193.
- [9] 黄梦琪. 关中西部冬小麦作物系数的试验研究[J]. 上海交通大学学报:农业科学版, 2009, 28(6):635-638.
- [10] 梁文清,蔡焕杰,王健. 陕西关中地区夏玉米作物系数试验研究[J]. 节水灌溉, 2011, (12):1-4.
- [11] 杨静敬. 作物非充分灌溉及蒸发蒸腾量的试验研究[D]. 陕西杨凌:西北农林科技大学, 2009:38-42.
- [12] 陈志雄. 农田水量平衡[J]. 土壤学进展, 1985, 1(1):1-8.
- [13] Jensen E. 耗水量与灌溉需水量[M]. 马文,译. 北京:农业出版社, 1982.