

旱地玉米全膜双垄沟播技术土壤水分效应研究

刘广才¹, 杨祁峰¹, 李来祥³, 樊廷录², 赵小文¹, 朱永永¹

(1. 甘肃省农业技术推广总站, 甘肃 兰州 730020; 2. 甘肃省农业科学院, 甘肃 兰州 730070;
3. 甘肃省天水市农业技术推广站, 甘肃 天水 74100)

摘 要: 采用田间小区试验研究了旱地玉米全膜双垄沟播技术不同覆膜模式的土壤水分效应。结果表明, 玉米播前至拔节期, 0~20 cm 土壤含水量, 秋季全覆膜较传统播前半膜平铺提高 5.6~6.2 个百分点, 顶凌全覆膜较播前半膜平铺提高 3.9~5.2 个百分点, 播前全覆膜较播前半膜平铺提高 0~4.0 个百分点; 1 m 土壤贮水量, 秋季全覆膜较播前半膜平铺增加 49.5~51.3 mm, 顶凌全覆膜较播前半膜平铺增加 33.9~39.6 mm, 播前全覆膜较播前半膜平铺增加 0~26.9 mm, 正是由于秋季全覆膜和顶凌全覆膜前期较高的土壤含水量, 从而有效解决了玉米 4~5 月份因春旱无法播种、出苗的瓶颈。全膜双垄沟播技术大幅度提高了农田降水利用率和玉米水分利用效率, 使降水利用率最高达到 75.2%、平均降水利用率达到 70.1%, 使玉米水分利用效率最高达到 35.93 kg/(mm·hm²), 平均达到 33.63 kg/(mm·hm²), 在旱作农田降水高效利用方面取得了新进展。

关键词: 旱作玉米; 全膜覆盖; 双垄面集雨; 沟播; 土壤水分

中图分类号: S513; S152.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2008)06-0018-11

旱地全膜双垄沟播技术是旱作农业的一项重大创新技术, 于 2003 年在甘肃榆中县试验成功^[1~3], 其核心是在地表起大小双垄并在双垄之间形成集雨沟槽后, 用地膜全地面覆盖, 再在沟内播种作物的种植技术。该技术体系集垄面集流、覆膜抑蒸、垄沟种植技术于一体, 改半膜覆盖为全地面覆盖地膜, 改地膜平铺为起垄覆膜, 改播前覆膜为秋季或早春顶凌覆膜, 改传统垄上种植为沟内种植, 大幅度提高了土壤水分的保蓄率、降水利用率和水分利用效率, 并使玉米等作物增产 30% 以上^[1~7]。由于该技术极其显著的集雨、保墒和增产作用, 2004 年起在甘肃及青海、宁夏和陕西等北方旱作区大面积推广应用, 2008 年仅甘肃省应用面积达到 20 万 hm²。为了从理论上揭示全膜双垄沟播技术增产的水分机理, 2005~2007 年连续 3 a 我们在甘肃中东部具有代表性的榆中、安定、庄浪及镇原四个旱作农业区域, 紧紧围绕农田降水高效利用等核心问题, 进行了大量的研究与探索, 以期旱地全膜双垄沟播技术体系提供理论支撑。

1 材料与方法

1.1 试验区概况及供试土壤

试验于 2005~2007 年设在甘肃省中东部旱作农业区具有代表性的榆中县莲塔乡、安定区团结乡、

庄浪县朱店镇及镇原县上肖镇, 分别代表年降雨 350、400、450、500 mm 4 个降雨区域。海拔 1 504~1 860 m, 无霜期 120~150 d, 年平均气温 6.7~8.2℃, 日照时数 2 666~3 023 h, ≥10℃ 的有效积温为 2 156~3 016℃, 年太阳辐射总量 120~158 kJ/cm²。年降雨量 350~500 mm, 而年蒸发量为 1 400~2 021 mm, 是降雨量的 3~5 倍。早春(3~5 月)降雨稀少、土壤墒情极差, 常常导致早春因干旱玉米等作物无法下种或出现“卡脖子”旱而减产。供试土壤为黑垆土, 地类为梯田或条田, 前茬为小麦, 耕层土壤有机质含量 9.8~13.2 g/kg、全氮 0.62~0.87 g/kg、碱解氮 35.1~38.2 mg/kg、速效磷 12.5~16.7 mg/kg、速效钾 112.6~124.4 mg/kg。

1.2 试验设计

采用全膜双垄沟播不同覆膜时期与播前半膜平铺穴播(常规对照)对比试验, 试验处理分别为: 秋季全膜双垄春季沟播、顶凌全膜双垄春季沟播、播前全膜双垄春季沟播和播前半膜平铺穴播(CK)四个处理。其中, 秋季全膜双垄在 10 月下旬到土壤封冻前结合透雨进行覆膜, 顶凌全膜双垄在土壤昼消夜冻时(3 月中上旬)进行覆膜, 播前全膜双垄在玉米播种前进行覆膜(4 月中下旬), 播前半膜平铺在玉米播种前进行覆膜(4 月中下旬)。

作物种植方式及施肥: 统一采取宽窄行种植, 宽

收稿日期: 2008-05-13

基金项目: 甘肃省旱作农业项目“旱地全膜双垄沟播技术示范推广”(甘农牧农[2007]64 号)

作者简介: 刘广才(1966—), 男, 甘肃镇原人, 高级农艺师, 博士, 主要从事旱作农业、耕作与栽培等方面研究。E-mail: lgc633@163.com

行 0.7 m、窄行 0.4 m,株距 0.33 m,播种密度为 3 670 株/667m²。全膜双垄沟播采用小型起垄机(榆中县生产的富农牌起垄机),先起双垄(小垄宽 0.4 m、垄高 0.15~0.20 m,大垄宽 0.7 m、垄高 0.10~0.15 m,大小双垄共宽 1.10 m),使大小垄相接处形成播种沟,然后采用宽 120 cm 的薄膜全地面覆盖,最后在沟内播种(图 1);半膜平铺穴播不起

垄,采用宽 80 cm 的薄膜半地面覆盖,覆膜宽度 60 cm,按宽窄行规格株穴播种。玉米品种采用沈单 16。施肥量各处理相同,均为 N 180 kg/hm²,P₂O₅ 126 kg/hm²。小区面积为 3.3 m×6 m=19.8 m²,三次重复,随机区组排列。全部磷肥及 2/3 氮肥按小区称量于覆膜前作基肥施入,剩余 1/3 氮肥于大喇叭口期按株穴追施(或全部作基肥一次施入)。

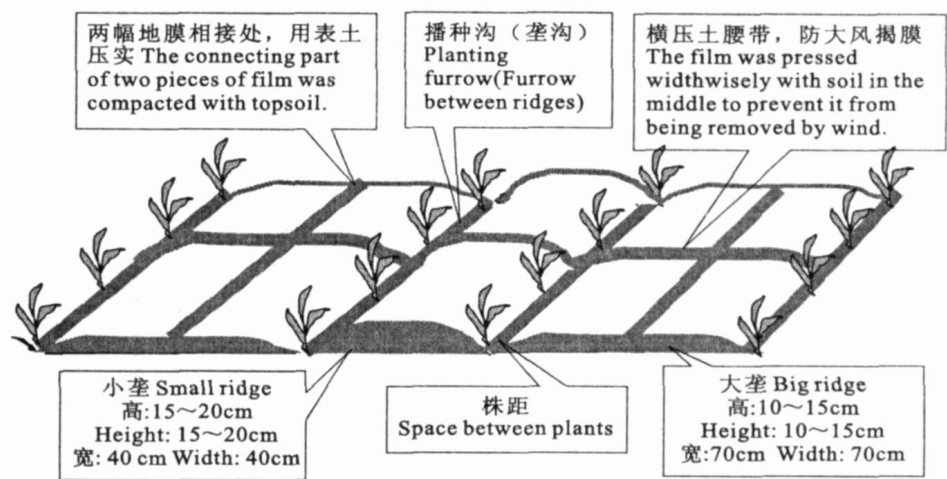


图 1 玉米全膜双垄沟播栽培技术示意图

Fig.1 Sketch map of whole plastic-film mulching on double ridges and corn planting in catchment furrows

1.3 测定项目及数据分析

1.3.1 土壤水分测定时间与方法

测定时期:分别在玉米播前、出苗、拔节、大喇叭口、抽雄、灌浆、收获期测定。

测定深度:播前、收获期测 0~10、10~20、20~40、40~60、60~80、80~100、100~120、120~140、140~160、160~180、180~200 cm,出苗期、拔节期、大喇叭口期、抽雄期、灌浆期测 0~10、10~20、20~40、40~60、60~80、80~100 cm。

测定位置:(1) 双垄沟播按行方向在垄沟内两棵玉米中间位置测定,平铺穴播按行方向在两棵玉米中间位置测定;(2) 在宽行中间位置。

测定方法:采用烘干法。

1.3.2 土壤水分计算公式

土壤含水量(%)=[湿土重-烘干土重]×100/烘干土重。所取土样在 105~110℃烘箱中烘 6~8 h 至恒重后称重。

土壤贮水量(mm)=C₁×M₁×D₁+C₂×M₂×D₂+.....+C_x×M_x×D_x=C×M×D。C_x、M_x、D_x 分别代表第 x 层土壤容重、含水量、测定深度,C、M 和 D 分别代表整个测定土层土壤容重、含水量的平均值及测定土壤总深度。

降水利用率(%)=作物耗水量/生产年度降水

量×100%=(播前 2 m 土层贮水量-成熟期 2 m 土层贮水量+生育期降水量)/生产年度降水量×100%。

作物水分利用效率[kg/(mm·hm²)] =经济产量/耗水量。

1.3.3 测定生物学性状及产量 成熟期每小区取 10 株考种,测定生物学性状;按小区收获,单收单打,测定生物学产量和籽粒产量。

1.3.4 数据分析 对数据进行方差分析和多重比较。

2 结果与分析

2.1 全膜双垄沟播不同覆膜模式与传统播前半膜平铺土壤水分含量的差异

0~20 cm 土壤含水量差异:由表 1 四个降水区域测定的平均值可以看出,播种期,秋季全膜双垄较播前半膜平铺土壤含水量提高 5.9 个百分点,顶凌全膜双垄较播前半膜平铺土壤含水量提高 3.9 个百分点,而此时播前全膜双垄与播前半膜平铺土壤含水量相同,都处于相对较低的水平;出苗期,秋季全膜双垄较播前半膜平铺土壤含水量提高 5.6 个百分点,顶凌全膜双垄较播前半膜平铺土壤含水量提高了 4.0 个百分点,播前全膜双垄较播前半膜平铺土

壤含水量提高 2.0 个百分点;拔节期,秋季全膜双垄较播前半膜平铺土壤含水量提高 6.2 个百分点,顶凌全膜双垄较播前半膜平铺土壤含水量提高 5.2 个百分点,播前全膜双垄较播前半膜平铺土壤含水量

提高 4.0 个百分点;大喇叭口期,秋季全膜双垄较播前半膜平铺土壤含水量提高 2.6 个百分点,顶凌全膜双垄较播前半膜平铺土壤含水量提高 2.4 个百分点,播前全膜双垄较播前半膜平铺土壤含水量提高

表 1 不同覆膜模式下玉米不同生育期 0~100 cm 土壤水分含量

Table 1 Soil water content during different growth periods under different plastic-film mulching modes in 0~100 cm soil layer								
试验点 Experiment spot	覆膜模式 Mulching mode	土层 Soil layer (cm)	播种期 Sowing (%)	出苗期 Emergence (%)	拔节期 Shooting (%)	大喇叭口期 Trumpet (%)	抽雄期 Heading (%)	成熟期 Mature (%)
榆中连塔 Lianda, Yuzhong County	秋季全膜双垄 Full mulching on double ridges in autumn	0~20	17.5	17.2	16.0	16.5	17.0	17.4
		20~40	16.8	16.6	15.5	16.3	16.8	16.9
		40~60	16.5	15.7	15.3	15.3	15.7	15.8
		60~80	15.5	14.9	13.3	14.7	14.9	14.4
		80~100	13.8	13.8	12.5	13.8	14.3	13.5
	顶凌全膜双垄 Full mulching on double ridges in early spring	0~20	15.9	15.6	15.2	16.1	17.4	17.2
		20~40	15.3	15.0	14.2	15.5	16.9	16.6
		40~60	14.7	14.0	14.0	14.9	15.8	15.7
		60~80	13.5	13.9	13.1	14.2	14.8	14.0
		80~100	12.9	12.1	11.9	13.3	13.5	13.4
	播前全膜双垄 Full mulching on double ridges before sowing	0~20	12.4	13.3	13.5	14.6	17.1	17.1
		20~40	13.0	13.4	13.1	14.1	16.5	16.7
		40~60	12.5	12.6	12.1	13.3	15.6	15.7
		60~80	12.1	12.3	11.7	12.6	14.7	13.4
		80~100	11.0	11.1	11.1	11.6	13.9	13.5
	播前半膜平铺 Half flat mulching before sowing	0~20	12.4	12.8	11.9	13.3	16.0	16.7
		20~40	13.0	12.4	11.6	13.7	15.3	16.5
		40~60	12.5	12.0	11.3	12.5	15.1	15.3
		60~80	12.1	11.5	10.8	11.5	14.2	14.9
		80~100	11.0	10.5	9.7	10.8	13.3	13.6
安定团结 Tuanjie, Anding County	秋季全膜双垄 Full mulching on double ridges in autumn	0~20	19.1	17.7	16.8	16.8	17.5	18.2
		20~40	18.7	16.6	16.1	15.9	16.5	17.2
		40~60	16.4	15.8	14.1	15.2	16.1	15.8
		60~80	15.3	15.0	14.5	14.0	15.1	14.2
		80~100	13.5	13.2	13.0	13.1	13.1	13.3
	顶凌全膜双垄 Full mulching on double ridges in early spring	0~20	15.7	15.2	14.8	16.8	17.4	18.3
		20~40	15.4	14.9	14.2	15.6	16.5	17.1
		40~60	15.1	14.4	14.0	14.5	16.0	15.7
		60~80	14.4	13.6	12.9	13.6	14.9	14.3
		80~100	13.4	12.7	12.1	13.1	13.0	13.1
	播前全膜双垄 Full mulching on double ridges before sowing	0~20	12.6	14.0	14.4	16.4	17.5	18.1
		20~40	13.6	13.2	13.3	15.3	16.4	17.1
		40~60	12.7	12.1	12.2	14.1	16.0	15.5
		60~80	12.2	12.1	12.1	13.5	14.8	14.1
		80~100	12.1	11.6	11.3	12.8	12.9	13.1
	播前半膜平铺 Half flat mulching before sowing	0~20	12.6	10.7	7.6	13.1	16.4	18.4
		20~40	13.6	11.2	10.6	12.8	15.5	17.2
		40~60	12.7	12.1	11.9	12.6	15.4	15.4
		60~80	12.2	12.0	12.5	12.4	13.6	14.3
		80~100	12.1	11.8	12.0	11.7	12.6	13.3

续表 1

试验点 Experiment spot	覆膜模式 Mulching mode	土层 Soil layer (cm)	播种期 Sowing (%)	出苗期 Emergence (%)	拔节期 Shooting (%)	大喇叭口期 Trumpet (%)	抽雄期 Heading (%)	成熟期 Mature (%)
庄浪朱店 Zhudian, Zhuanglang County	秋季全膜双垄 Full mulching on double ridges in autumn	0~20	18.7	18.0	16.6	18.9	19.8	19.3
		20~40	17.9	16.9	16.1	18.1	19.4	18.5
		40~60	16.9	15.4	15.1	16.8	19.2	17.8
		60~80	15.1	14.6	14.1	15.8	18.0	16.6
		80~100	14.5	14.0	13.8	15.0	17.2	16.4
	顶凌全膜双垄 Full mulching on double ridges in early spring	0~20	17.5	16.5	16.0	18.1	19.5	19.2
		20~40	16.3	15.8	15.5	18.0	18.9	18.3
		40~60	16.0	14.9	14.4	17.0	18.0	17.6
		60~80	15.2	14.2	14.1	16.0	17.3	16.5
		80~100	14.4	13.4	13.2	15.0	17.1	16.3
	播前全膜双垄 Full mulching on double ridges before sowing	0~20	13.7	16.2	15.9	18.0	19.5	18.9
		20~40	13.7	14.8	15.1	17.8	18.8	18.6
		40~60	13.9	13.8	14.0	16.4	18.3	17.9
		60~80	12.0	11.9	13.0	15.8	17.0	16.5
		80~100	11.0	11.0	11.8	14.8	16.5	16.3
	播前半膜平铺 Half flat mulching before sowing	0~20	13.7	13.0	12.1	17.0	18.7	19.2
		20~40	13.7	13.2	11.5	16.2	18.0	18.5
		40~60	13.9	12.1	11.0	15.8	17.8	17.5
		60~80	12.0	11.6	10.7	13.9	17.0	17.2
		80~100	11.0	11.0	10.1	12.1	15.0	16.5
镇原上肖 Shangxiao, Zhenyuan County	秋季全膜双垄 Full mulching on double ridges in autumn	0~20	19.0	17.2	16.1	17.6	19.7	19.8
		20~40	18.7	17.5	16.5	17.1	19.6	19.5
		40~60	17.0	15.9	14.9	16.3	18.9	18.3
		60~80	16.4	15.1	14.4	15.5	17.8	17.1
		80~100	15.5	14.2	14.0	15.2	16.8	16.5
	顶凌全膜双垄 Full mulching on double ridges in early spring	0~20	17.5	16.3	14.9	17.7	19.5	19.7
		20~40	17.3	15.6	14.7	16.4	19.3	19.3
		40~60	16.3	15.2	13.9	15.6	18.5	18.2
		60~80	15.9	14.0	13.6	15.2	17.8	17.0
		80~100	15.3	14.0	14.0	15.1	16.8	16.4
	播前全膜双垄 Full mulching on double ridges before sowing	0~20	12.1	12.0	13.1	16.7	19.5	19.5
		20~40	12.9	12.7	14.1	15.8	19.2	19.3
		40~60	14.9	13.4	12.2	13.2	18.4	18.2
		60~80	13.8	14.0	13.3	14.4	17.3	17.1
		80~100	13.7	13.6	14.0	16.1	17.0	16.5
	播前半膜平铺 Half flat mulching before sowing	0~20	12.1	11.0	9.4	15.7	18.5	19.5
		20~40	12.9	11.5	10.0	12.5	18.4	19.4
		40~60	14.9	13.6	10.5	14.3	17.1	18.8
		60~80	13.8	12.5	11.6	15.0	16.6	17.3
		80~100	13.7	12.6	13.3	14.7	15.2	16.8

续表 1

试验点 Experiment spot	覆膜模式 Mulching mode	土层 Soil layer (cm)	播种期 Sowing (%)	出苗期 Emergence (%)	拔节期 Shooting (%)	大喇叭口期 Trumpet (%)	抽雄期 Heading (%)	成熟期 Mature (%)
平均 Average	秋季全膜双垄 Full mulching on double ridges in autumn	0~20	18.6	17.5	16.4	17.4	18.5	18.7
		20~40	18.1	16.9	16.0	16.9	18.1	18.0
		40~60	16.7	15.7	14.9	15.9	17.4	16.9
		60~80	15.6	14.9	14.1	15.0	16.4	15.6
		80~100	14.3	13.8	13.3	14.3	15.3	14.9
	顶凌全膜双垄 Full mulching on double ridges in early spring	0~20	16.6	15.9	15.2	17.2	18.5	18.6
		20~40	16.1	15.3	14.7	16.4	17.9	17.8
		40~60	15.5	14.6	14.1	15.5	17.1	16.8
		60~80	14.8	13.9	13.5	14.7	16.2	15.5
		80~100	14.0	13.0	12.8	14.1	15.1	14.8
	播前全膜双垄 Full mulching on double ridges before sowing	0~20	12.7	13.9	14.2	16.4	18.4	18.4
		20~40	13.3	13.5	13.9	15.7	17.7	17.9
		40~60	13.5	13.0	12.6	14.2	17.1	16.8
		60~80	12.5	12.6	12.5	14.1	15.9	15.3
		80~100	12.0	11.8	12.1	13.8	15.1	14.8
	播前半膜平铺 Half flat mulching before sowing	0~20	12.7	11.9	10.2	14.8	17.4	18.5
		20~40	13.3	12.1	10.9	13.8	16.8	17.9
		40~60	13.5	12.5	11.2	13.8	16.3	16.8
		60~80	12.5	11.9	11.4	13.2	15.4	15.9
		80~100	12.0	11.5	11.3	12.3	14.0	15.0

注:表中土壤水分含量数据为不同覆膜模式 2005~2007 年的平均值,表 2、3、4 同表 1。
Note: Values of soil water content are means of different mulching modes in 2005~2007. The tables 2, 3 and 4 are the same as table 1.

1.6 个百分点;抽雄期~成熟期,差异逐渐缩小,直至差异消失。

20~40 cm 土壤含水量差异:播种期,秋季全膜双垄较播前半膜平铺土壤含水量提高 4.8 个百分点,顶凌全膜双垄较播前半膜平铺土壤含水量提高 2.8 个百分点,播前全膜双垄与播前半膜平铺土壤含水量相同,也都处于相对较低的水平。苗期,秋季全膜双垄较播前半膜平铺土壤含水量提高 4.8 个百分点,顶凌全膜双垄较播前半膜平铺土壤含水量提高 3.2 个百分点,播前全膜双垄较播前半膜平铺土壤含水量提高 1.4 个百分点。拔节期,秋季全膜双垄较播前半膜平铺土壤含水量提高 5.1 个百分点,顶凌全膜双垄较播前半膜平铺土壤含水量提高 3.8 个百分点,播前全膜双垄较播前半膜平铺土壤含水量提高 3.0 个百分点。大喇叭口期,秋季全膜双垄较播前半膜平铺土壤含水量提高 3.1 个百分点,顶凌全膜双垄较播前半膜平铺土壤含水量提高 2.6 个百分点,播前全膜双垄较播前半膜平铺土壤含水量提高 1.9 个百分点。抽雄期~成熟期,差异更小,直至消失。

40~60 cm、60~80 cm、80~100 cm 土壤水分含量也表现出:秋季全膜双垄高于顶凌全膜双垄,顶

凌全膜双垄高于播前全膜双垄、播前全膜双垄高于播前半膜平铺,播前、苗期及拔节期这种趋势比较明显,大喇叭口期之后,差异减小,成熟期差异消失;就不同土壤层次来说,上层比下层这种趋势更加明显。

不同降水区域比较可以看出,玉米生育前期土壤水分含量都表现为秋季全膜双垄高于顶凌全膜双垄、顶凌全膜双垄高于播前全膜双垄、播前全膜双垄高于播前半膜平铺,而且玉米拔节以前这种趋势还比较明显。这种差异在不同降水区域之间总体表现为:降水少的区域差异明显大于降水多的区域,但由于土壤水分含量不仅与生育期降水密切相关,还与前一年和播前当年降雨密切相关,因此,不同降水区域之间差异的规律性不强。

综合分析得出,玉米播前和生长前期,不同层次土壤含水量均表现为秋季全膜双垄>顶凌全膜双垄>播前全膜双垄>播前半膜平铺,降水少的区域这种差异较降水多的区域更加明显,上层比下层这种差异更加明显,生育前期比生育后期也更加明显,尤其以拔节期以前(此时是玉米生育期降雨最少的时期)0~20 cm 土壤含水量的差异最为明显。0~20 cm 平均土壤含水量,秋季全膜双垄明显高于播前半

膜平铺,提高 5.6~6.2 个百分点;顶凌全膜双垄土壤含水量也明显高于播前半膜平铺,提高3.9~5.2 个百分点;播前全膜双垄土壤含水量较播前半膜平铺也有所增加,提高 0~4.0 个百分点。表明,全膜双垄沟播技术能显著增加播前和玉米生长前期土壤水分含量,从而有效缓解了春旱,满足了玉米生长前期对水分的需求。

2.2 全膜双垄沟播不同覆膜模式与传统半膜平铺穴播土壤贮水量的差异

根据 350、400、450、500 mm 4 个降雨区域 3 a 土壤水分含量和土壤容重的测定结果(4 个旱作点 1 m 土壤容重平均为 1.295 g/cm³,按 1.30 g/cm³ 计算),计算得出不同降雨区域不同覆膜模式玉米不同生育期 1 m 土壤贮水量(见表 2)。

表 2 不同覆膜模式下玉米不同生育期 1 m 土壤贮水量(mm)

Table 2 Soil water storage during different growth periods under different plastic-film mulching modes in 1m soil layer							
试验点 Experiment spot	覆膜模式 Mulching mode	播种期 Sowing	苗期 Emergency	拔节期 Shooting	大喇叭口期 Trumpet	抽雄期 Heading	成熟期 Mature
榆中连塔 Lianda, Yuzhong County	秋季全膜双垄 Full mulching in autumn	208.5	203.3	188.9	199.3	204.6	202.6
	顶凌全膜双垄 Full mulching in early spring	188.0	183.5	178.1	192.3	203.7	199.9
	播前全膜双垄 Full mulching before sowing	158.6	163.0	159.9	171.9	202.4	198.6
	播前半膜平铺 Half flat mulching before sowing	158.6	153.9	143.6	160.6	193.2	200.3
安定团结 Tuanjie, Anding County	秋季全膜双垄 Full mulching in autumn	216.0	203.5	193.9	194.8	203.5	204.7
	顶凌全膜双垄 Full mulching in early spring	197.5	184.2	177.1	191.4	202.6	204.1
	播前全膜双垄 Full mulching before sowing	164.0	163.5	164.7	187.4	201.7	202.4
	播前半膜平铺 Half flat mulching before sowing	164.0	150.1	141.6	162.5	191.1	204.3
庄浪朱店 Zhudian, Zhuanglang County	秋季全膜双垄 Full mulching in autumn	216.2	204.9	196.9	219.7	243.1	230.5
	顶凌全膜双垄 Full mulching in early spring	206.5	194.1	190.3	218.4	236.3	228.8
	播前全膜双垄 Full mulching before sowing	167.2	176.0	181.6	215.2	234.2	229.2
	播前半膜平铺 Half flat mulching before sowing	167.2	158.4	144.0	195.0	224.9	231.2
镇原上肖 Shangxiao, Zhenyuan County	秋季全膜双垄 Full mulching in autumn	225.2	207.9	197.3	212.5	241.3	237.1
	顶凌全膜双垄 Full mulching in early spring	214.0	195.4	184.9	208.2	239.3	235.5
	播前全膜双垄 Full mulching before sowing	175.3	171.0	173.3	197.9	237.5	235.5
	播前半膜平铺 Half flat mulching before sowing	175.3	159.2	142.6	187.7	228.4	238.6
平均 Average	秋季全膜双垄 Full mulching in autumn	216.4	204.9	194.3	206.6	223.1	218.7
	顶凌全膜双垄 Full mulching in early spring	201.5	189.3	182.6	202.6	220.5	217.1
	播前全膜双垄 Full mulching before sowing	166.3	168.4	169.9	193.1	218.9	216.4
	播前半膜平铺 Half flat mulching before sowing	166.3	155.4	142.9	176.4	209.4	218.6

比较 4 个降雨区域 1 m 土壤平均贮水量的差异得出,播种前,秋季全膜双垄较常规播前半膜平铺 1 m 土壤多贮水 50.1 mm,相当于每公顷增加 501 m^3 水,土壤含水量增加 30.1%;顶凌全膜双垄较播前半膜平铺 1 m 土壤多贮水量 35.2 mm,相当于每公顷增加 352 m^3 水,土壤含水量增加 21.2%;而此时,播前全膜双垄与播前半膜平铺土壤贮水量无差异,都处于春旱严重的状态。

苗期 1 m 土壤中:秋季全膜双垄较播前半膜平铺 1 m 土壤多贮水 49.5 mm,土壤含水量增加 31.9%;顶凌全膜双垄较播前半膜平铺多贮水 33.9 mm,含水量增加 21.8%;播前全膜双垄较播前半膜平铺多贮水 12.9 mm,含水量增加 8.3%。

拔节期 1 m 土壤中:秋季全膜双垄较播前半膜平铺多贮水 51.3 mm,含水量增加 35.9%;顶凌全膜双垄较播前半膜平铺多贮水 39.6 mm,含水量增加 27.7%;播前全膜双垄较播前半膜平铺多贮水量 26.9 mm,含水量增加 18.8%。

大喇叭口期 1 m 土壤中:秋季全膜双垄较播前半膜平铺多贮水 30.2 mm,含水量增加 17.1%;顶凌全膜双垄较播前半膜平铺多贮水 26.2 mm,含水量增加 14.9%;播前全膜双垄较播前半膜平铺多贮水 16.7 mm,含水量增加 9.5%。

抽雄期至成熟期,差异进一步缩小,至成熟时差异消失,后者甚至还有高于前者的趋势。这是由于后期全膜覆盖蒸散量高于半膜平铺,导致全膜覆盖耗水量较大。

不同降水区域比较看出,土壤贮水量也都表现为秋季全膜双垄高于顶凌全膜双垄、顶凌全膜双垄高于播前全膜双垄、播前全膜双垄高于播前半膜平铺,玉米生育前期这种趋势比较明显,不同降水区域之间表现为:降水少的区域差异大于降水多的区域。

综合上述分析得出,播种→苗期→拔节期,秋季全膜双垄、顶凌全膜双垄、播前全膜双垄 1 m 土壤贮水量显著高于常规播前半膜平铺,表现在:秋季全膜双垄 1 m 土壤贮水量较播前半膜平铺平均增加 49.5~51.3 mm,含水量增加 31.9%~35.9%;顶凌全膜双垄 1 m 土壤贮水量较播前半膜平铺增加 33.9~39.6 mm,含水量增加 21.8%~27.7%;播种时,播前全膜双垄与播前半膜平铺土壤含水量相同,都在田间持水量的 50%左右,处于干旱无法下种的水分状态,苗期→拔节期播前全膜双垄 1 m 土壤贮水量较播前半膜平铺增加 12.9~26.9 mm,含水量增加 8.3%~18.8%。大喇叭口期以后,差异逐渐变小,至成熟时差异基本消失。由此可以得出,

正是由于秋季全膜双垄和顶凌全膜双垄前期相对较高的土壤贮水量,才保证和满足了玉米出苗和前期生长对水分的迫切需求,从而有效解决了玉米 4~5 月份因春旱无法播种、出苗的瓶颈。

2.3 全膜双垄沟播技术的降水利用率

根据 350、400、450、500 mm 4 个降雨区域三年测定的平均结果计算得出(见表 3),全膜双垄沟播技术降水利用率最高为 75.2%,平均 70.1%。其中,秋季全膜双垄春季沟播技术降水利用率最高为 75.2%,平均 74.4%;顶凌全膜双垄春季沟播技术降水利用率最高为 72.2%,平均 71.7%;播前全膜双垄沟播技术降水利用率最高为 64.7%,平均 64.2%。播前半膜平铺降水利用率平均为 59.2%。

由此可见,全膜双垄沟播技术较常规播前半膜平铺降水利用率平均提高 10.9 个百分点。其中,秋季全膜双垄春季沟播技术降水利用率较对照平均提高 15.2 个百分点,顶凌全膜双垄春季沟播技术降水利用率较对照平均提高 12.5 个百分点,播前全膜双垄沟播技术降水利用率较对照平均提高 5.0 个百分点。甘肃中东部旱作区平均年降雨量 428.2 mm 左右,可增加利用降水资源 $466.7 \text{ m}^3/\text{hm}^2$,旱作区适宜全膜双垄沟播技术的旱作农业面积可达 133 万 hm^2 ,这些耕地全部采用全膜双垄沟播技术,每年可增加利用降水资源总量 6.21 亿 m^3 ,极大地提高了降水利用率。

2.4 全膜双垄沟播技术的作物水分利用效率

根据 350、400、450、500 mm 4 个降雨区域连续 3 a 测定的播前 2 m 土壤贮水量、成熟期 2 m 土壤贮水量、生育期降雨量、年降雨量和玉米经济产量结果,计算得出不同区域玉米水分利用效率(见表 3)。从表 3 可以看出,降雨越少,全膜双垄沟播技术的集雨保墒效果越明显,从而使水分利用效率越高。从平均结果来看,全膜双垄沟播玉米水分利用效率最高达到 $35.93 \text{ kg}/(\text{mm} \cdot \text{hm}^2)$,平均为 $33.63 \text{ kg}/(\text{mm} \cdot \text{hm}^2)$ 。其中,玉米水分利用效率最高值和平均值分别为:秋季全膜双垄春季沟播 $35.93 \text{ kg}/(\text{mm} \cdot \text{hm}^2)$,平均 $35.18 \text{ kg}/(\text{mm} \cdot \text{hm}^2)$;顶凌全膜双垄春季沟播 $34.07 \text{ kg}/(\text{mm} \cdot \text{hm}^2)$,平均 $33.37 \text{ kg}/(\text{mm} \cdot \text{hm}^2)$;播前全膜双垄沟播 $33.35 \text{ kg}/(\text{mm} \cdot \text{hm}^2)$,平均 $32.33 \text{ kg}/(\text{mm} \cdot \text{hm}^2)$ 。播前半膜平铺玉米水分利用效率平均为 $24.89 \text{ kg}/(\text{mm} \cdot \text{hm}^2)$ 。

分析比较得出,全膜双垄沟播玉米平均水分利用效率比半膜平铺增加 $8.74 \text{ kg}/(\text{mm} \cdot \text{hm}^2)$,增长 35.1%。其中,秋季全膜双垄春季沟播玉米平均水分利用效率比半膜平铺增加 $10.29 \text{ kg}/(\text{mm} \cdot \text{hm}^2)$,

表 3 不同覆膜模式降水利用率与玉米水分利用效率

Table 3 Rainfall use rate and corn water use efficiency under different plastic-film mulching modes

试验点 Experiment spot	覆膜模式 Mulching mode	播前 2m 土壤贮水量 Soil water storage before sowing (mm)	收获时 2m 土壤贮水量 Soil water storage during harvesting (mm)	生育期降水量 Rainfall in growth period (mm)	耗水量 Evapo—transpiration (mm)	经济产量 Grain yield (kg/hm ²)	年降水量 Rainfall (mm)	降水利用率 Rainfall use rate (%)	水分利用效率 Water use efficiency [kg/(mm·hm ²)]
榆中连塔 Lianda, Yuzhong County	秋季全覆膜 Full mulching in autumn	347.1	351.1	273.5	269.5	9682.2	358.6	75.2	35.93
	顶凌全覆膜 Full mulching in early spring	323.8	338.5	273.5	258.7	8816.1	358.6	72.2	34.07
	播前全覆膜 Full mulching before sowing	288.4	330.0	273.5	231.9	7733.4	358.6	64.7	33.35
	播前半膜平铺 Half flat mulching before sowing	288.4	348.1	273.5	213.8	5380.7	358.6	59.6	25.17
安定团结 Tuanjie, Anding County	秋季全覆膜 Full mulching in autumn	373.2	352.5	284.2	304.9	10774.5	406.5	75.0	35.34
	顶凌全覆膜 Full mulching n early spring	354.5	345.7	284.2	293.0	9873.0	406.5	72.1	33.70
	播前全覆膜 Full mulching before sowing	315.2	337.1	284.2	262.3	8557.5	406.5	64.5	32.63
	播前半膜平铺 Half flat mulching before sowing	315.2	358.0	284.2	241.4	6009.0	406.5	59.4	24.89
庄浪朱店 Zhudian, Zhuanglang County	秋季全覆膜 Full mulching in autumn	376.6	337.9	294.2	332.9	11625.5	450.0	74.0	34.92
	顶凌全覆膜 Full mulching in early spring	359.0	330.5	294.2	322.6	10658.7	450.0	71.7	33.04
	播前全覆膜 Full mulching before sowing	320.4	326.5	294.2	288.1	9156.0	450.0	64.0	31.78
	播前半膜平铺 Half flat mulching before sowing	320.4	348.2	294.2	266.4	6600.0	450.0	59.2	24.78
镇原上肖 Shangxiao, Zhenyuan County	秋季全覆膜 Full mulching in autumn	391.0	335.3	310.3	366.0	12640.6	499.4	73.3	34.53
	顶凌全覆膜 Full mulching in early spring	375.9	332.7	310.3	353.5	11550.9	499.4	70.8	32.67
	播前全覆膜 Full mulching before sowing	330.2	323.0	310.3	317.5	10017.4	499.4	63.6	31.55
	播前半膜平铺 Half flat mulching before sowing	330.2	348.5	310.3	292.0	7213.5	499.4	58.5	24.70

续表 3

试验点 Experiment spot	覆膜模式 Mulching mode	播前 2m 土 壤贮水量 Soil water storage before sowing (mm)	收获时 2m 土壤贮水量 Soil water storage during harvesting (mm)	生育期 降水量 Rainfall in growth period (mm)	耗水量 Evapo— transpiration (mm)	经济 产量 Grain yield (kg/hm ²)	年降 水量 Rainfall (mm)	降水 利用率 Rainfall use rate (%)	水分利 用效率 Water use efficiency [kg/(mm·hm ²)]
平均 Average	秋季全覆膜 Full mulching in autumn	372.0	344.2	290.6	318.3	11180.7	428.6	74.4	35.18
	顶凌全覆膜 Full mulching in early spring	353.3	336.9	290.6	307.0	10224.7	428.6	71.7	33.37
	播前全覆膜 Full mulching before sowing	313.6	329.2	290.6	274.9	8866.1	428.6	64.2	32.33
	全覆膜平均 Full mulching average	346.3	336.7	290.6	300.1	10090.5	428.6	70.1	33.63
	播前半膜平铺 Half flat mulching before sowing	313.6	350.7	290.6	253.4	6300.8	428.6	59.2	24.89

增长 41.3%；顶凌全膜双垄春季沟播玉米平均水分利用效率比半膜平铺增加 8.48 kg/(mm·hm²)，增长 34.1%；播前全膜双垄沟播玉米平均水分利用效率比半膜平铺增加 7.44 kg/(mm·hm²)，增长 29.9%。甘肃省中东部旱作农业区平均年降雨量 428.2 mm，全膜双垄沟播玉米水分利用效率按平均增加 8.74 kg/(mm·hm²) 计算，则可增产 3 742.47 kg/hm²；甘肃省旱作农业区现有耕地 239.1 万 hm²，适宜全膜双垄沟播技术的旱作农业面积可达 133 万 hm²，这些耕地全部采用全膜双垄沟播技术，年可增产粮食约 50 亿 kg，极大地提高了水分利用效率。

由此可见，全膜双垄沟播技术特别是秋季全膜双垄春季沟播技术和顶凌全膜双垄春季沟播技术能大幅度提高农田降水利用率和玉米水分利用效率，是年降雨 350~500 mm 的半干旱旱作农业区玉米降水高效利用的最佳技术模式。

2.5 经济效益分析

按照 2008 年初价格，对 4 个降雨区域 3 年全膜双垄沟播不同覆膜模式与传统播前半膜平铺玉米进行经济效益分析得出(表 4)，秋季全膜双垄春季沟播、顶凌全膜双垄春季沟播、播前全膜双垄春季沟播及播前半膜平铺的产值分别为 20 125.2 元/hm²、18 404.4 元/hm²、15 958.9 元/hm² 和 11 341.4 元/hm²，纯收入分别为 15 272.7 元/hm²、13 551.9 元/hm²、11 106.4 元/hm² 和 7 313.9 元/hm²，产投比分别为 4.15 元/元、3.79 元/元、3.29 元/元和 2.82 元/元。结果表明，全膜双垄沟播技术特别是秋季全

膜双垄春季沟播技术和顶凌全膜双垄春季沟播技术与播前半膜平铺技术相比，具有极其显著的经济效益。

3 讨 论

目前，国外旱作农业以以色列为代表的“径流集蓄节灌农业”的开发，使中东沙漠干旱区成为世界瞩目的农业发达地区；澳大利亚南部地区“粮草(豆)轮作制”的实施，避免了土壤有机质下降，提高土壤蓄水保墒能力，使沙漠化严重的半干旱地区成为著名的小麦产业带^[8]；美国中西部“休闲轮作制、少免耕覆盖”措施的推广，使休闲期蓄水量由 102 mm 增加到 183 mm^[9]。其共同点是保持并提高土壤肥力和土壤蓄水保墒能力，这些国家和地区旱地降水利用率和水分利用效率比较高，处于国际的前沿水平。

现阶段，我国旱地农田降水利用率普遍不足 50%，主要作物水分利用效率在 7.5 kg/(mm·hm²) 左右。甘肃旱作农业的研究与发展一直处于国内同类地区领先地位，马忠明^[10]在甘肃农科院张掖试验站研究表明，玉米全膜平铺水分利用效率为 21.55 kg/(mm·hm²)，而常规半膜平铺为 19.96 kg/(mm·hm²)；李志军等^[11]在陇东旱塬研究表明，玉米垄沟周年覆膜栽培水分利用效率为 26.0 kg/(mm·hm²)，玉米垄沟覆膜栽培水分利用效率为 23.6 kg/(mm·hm²)，而常规半膜平铺为 20.5 kg/(mm·hm²)；景泰来^[12]在定西旱地研究表明，玉米秋季全膜平铺水分利用效率为 19.56 kg/(mm·hm²)，

表 4 全膜双垄沟播不同覆膜模式与传统播前半膜平铺玉米经济效益分析
Table 4 Corn benefits of whole mulching on double ridges under different plastic-film mulching modes and conventional half flat mulching before sowing

覆膜模式 Mulching mode	经济产量 Grain yield (kg/hm ²)	秸秆产量 Straw yield (kg/hm ²)	产值 Value (yuan/hm ²)	投入 Input (yuan/hm ²)	纯收入 Pure benefit (yuan/hm ²)	产投比 Value/ input (yuan/yuan)
秋季全覆膜 Full mulching in autumn	11180.7	16771.0	20125.2	4852.5	15272.7	4.15
顶凌全覆膜 Full mulching in early spring	10224.7	15337.0	18404.4	4852.5	13551.9	3.79
播前全覆膜 Full mulching before sowing	8866.1	13299.1	15958.9	4852.5	11106.4	3.29
播前半膜平铺 Half flat mulching before sowing	6300.8	9451.2	11341.4	4027.5	7313.9	2.82

注:玉米籽粒 1.50 元/kg, 秸秆 0.20 元/kg, 地膜 15.0 元/kg, 纯氮 4.2 元/kg, P₂O₅ 3.0 元/kg, 玉米种子 6.5 元/kg, 人工 15.0 元/个。
Note: Corn grain 1.50 yuan/kg, stalk 0.20 yuan/kg, plastic film 15.0 yuan/kg, pure N 4.2 yuan/kg, P₂O₅ 3.0 yuan/kg, corn seed 6.5 yuan/kg, labor 15.0 yuan per person/day.

玉米秋季半膜平铺水分利用效率为 18.30 kg/(mm·hm²), 而常规播前半膜平铺为 17.55 kg/(mm·hm²)。甘肃省农科院在“十五”国家科技攻关计划项目中研究提出的夏休闲期覆盖秋播冬小麦、秋覆盖春播玉米和玉米宽膜种植等水分高效利用技术, 使降水利用率达到 72%, 小麦和玉米的水分利用效率分别达到 12、27 kg/(mm·hm²), 在旱作农业提高降水利用效率研究方面达到国际先进水平。

本研究提出的旱地全膜双垄沟播及其配套技术集垄面集流、覆盖抑蒸、垄沟种植技术于一体, 既能通过秋季(顶凌)全覆膜实现秋雨春用, 又能充分接纳作物生长期的全部降雨, 极其显著地提高了旱地农田降水利用率和作物水分利用效率, 使农田降水利用率最高达到 75.2%, 平均达到 70.1% 以上; 使玉米水分利用效率最高达到 35.93 kg/(mm·hm²), 平均达到 33.63 kg/(mm·hm²), 较常规半膜平铺的 24.89 kg/(mm·hm²), 平均增加 8.74 kg/(mm·hm²), 增长 35.1%。农田降水利用率和玉米水分利用效率明显高于国内外现有文献资料报道值, 科技文献查新和专家组鉴定认为, 该技术属目前国内外首创, 在旱地农田降水高效利用关键技术方面取得了重大突破。

4 小 结

1) 玉米播种前和生长前期, 不同层次土壤含水量均表现为秋季全覆膜>顶凌全覆膜>播前全覆膜>半膜覆盖, 尤其以拔节期以前 0~20 cm 土壤含水量差异最为明显。秋季全膜双垄土壤含水量显著高于播前半膜平铺, 提高 5.6~6.2 个百分点; 顶凌全

膜双垄土壤含水量也显著高于播前半膜平铺, 提高 3.9~5.2 个百分点; 播前全膜双垄土壤含水量也较播前半膜平铺有明显增加, 提高 0~4.0 个百分点。表明, 全膜双垄沟播技术能显著增加播种前和玉米生长前期土壤水分含量, 从而有效缓解了早春干旱和满足了玉米生长前期对水分的需求。

2) 播种→苗期→拔节期, 秋季全膜双垄、顶凌全膜双垄、播前全膜双垄 1 m 土壤贮水量显著地高于常规播前半膜平铺, 表现在: 秋季全膜双垄 1 m 土壤贮水比对照平均增加 49.5~51.3 mm, 土壤含水量增加 31.9%~35.9%; 顶凌全膜双垄较对照增加 33.9~39.6 mm, 土壤含水量增加 21.8%~27.7%; 播前全膜双垄播种时 1 m 土壤贮水量与播前半膜平铺无差异, 苗期~拔节期增加 12.9~26.9 mm, 土壤含水量增加 8.3%~18.8%。大喇叭口期, 三种全膜双垄 1 m 土壤贮水量也明显高于对照, 但以后差异逐渐变小, 至成熟时差异消失。表明, 正是由于秋季全覆膜和顶凌全覆膜播种前和前期相对较高的土壤贮水量, 为玉米出苗和前期生长提供了充足水分的储备, 从而有效解决了玉米 4~5 月份因春旱无法播种、出苗的瓶颈。

3) 全膜双垄沟播技术降水利用率最高达到 75.2%, 平均达到 70.1%。其中, 秋季全膜双垄春季沟播技术降水利用率最高达到 75.2%, 平均达到 74.4%; 顶凌全膜双垄春季沟播技术降水利用率最高达到 72.2%, 平均达到 71.7%; 播前全膜双垄沟播技术降水利用率最高达到 64.7%, 平均达到 64.2%; 播前半膜平铺降水利用率平均为 59.2%。极大地提高了降水利用率。

4) 全膜双垄沟播玉米水分利用效率最高达到

35.93 kg/(mm·hm²), 平均 33.63 kg/(mm·hm²)。其中, 秋季全膜双垄春季沟播最高为 35.93 kg/(mm·hm²), 平均 35.18 kg/(mm·hm²); 顶凌全膜双垄春季沟播最高为 34.07 kg/(mm·hm²), 平均 33.37 kg/(mm·hm²); 播前全膜双垄沟播最高为 33.35 kg/(mm·hm²), 平均 32.33 kg/(mm·hm²)。播前半膜平铺玉米水分利用效率平均为 24.89 kg/(mm·hm²)。

5) 秋季全膜双垄春季沟播、顶凌全膜双垄春季沟播、播前全膜双垄春季沟播及播前半膜平铺的产出投入比分别为 4.15 元/元、3.79 元/元、3.29 元/元和 2.82 元/元, 全膜双垄沟播技术特别是秋季全膜双垄春季沟播技术和顶凌全膜双垄春季沟播技术与播前半膜平铺技术相比, 具有极其显著的经济效益和良好的经济可行性。

参 考 文 献:

[1] 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.
[2] 赵 凡. 旱地玉米全膜覆盖双垄面集雨沟播栽培技术[J]. 甘肃

农业科技, 2004, (11): 22—23.
[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] 张 雷, 牛建彪, 赵 凡. 旱作玉米提高降水利用率的覆膜模式研究[J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24(2): 8—11, 17.
[5] 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]. 干旱地区农业研究, 2007, 25(增刊): 194—196.
[6] 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.
[7] 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.
[8] Steward B A, Robinson C A. Are agroecosystems sustainable in semiarid regions? [J]. Advances in Agronomy, 1997, 60: 191—228.
[9] Unger P W. Soil profile gravel layer: I. Effect on water storage, distribution and evaporation[J]. Soil Science Society of America Proceeding, 1971, 35: 631—634.
[10] 马忠明. 玉米全地面地膜覆盖节水增产栽培技术的研究与应用[J]. 玉米科学, 1999, 7(增刊): 54—56.
[11] 李志军, 赵爱萍, 丁晖兵, 等. 旱地玉米双垄周年覆膜栽培增产效应研究[J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24(2): 12—17.
[12] 景泰来. 旱地玉米秋季全覆膜栽培节水增产效果研究[J]. 甘肃农业科技, 2004, (6): 24—25.

Study on soil water effects of the techniques of whole plastic-film mulching on double ridges and planting in catchment furrows of dryland corn

LIU Guang-cai¹, YANG Qi-feng¹, LI Lai-xiang³, FAN Ting-lu²,
ZHAO Xiao-wen¹, ZHU Yong-yong¹

(1. Gansu Agro-technology Extension Station, Lanzhou, Gansu 730020, China;
2. Dryland Agriculture Institute, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, China;
3. Tianshui Agro-technical Extension Station, Tianshui, Gansu 74100, China)

Abstract: Field plot experiments were employed to investigate soil water effects of the techniques of whole plastic-film mulching on double ridges and planting in catchment furrows of dryland corn under different film mulching modes. The results showed that compared with the conventional film mulching cultivation (half flat mulching before sowing), autumn double ridges whole mulching, early spring double ridges whole mulching and sowing double ridges whole mulching increased water content of 0~20 cm soil layer by 5.6~6.2%, 3.9~5.2% and 0%~4.0% respectively; increased water storage of 1m soil layer by 49.5~51.3 mm, 33.9~39.6 mm and 0~26.9 mm respectively before corn shooting, which indicated it was the relative higher soil water content of autumn whole mulching and early spring whole mulching that solved the major problem that corn could not be sowed and emerged because of spring drought. The techniques increased field rainfall use rate and corn water use efficiency remarkably which lead the highest field rainfall use rate and corn water use efficiency to 75.2% and 35.93 kg/(mm·hm²) respectively, and the average field rainfall use rate and corn water use efficiency to 70.1 % and 33.63 kg/(mm·hm²) respectively. It has made a key breakthrough for highly efficient rainwater utilizing techniques in dryland.

Keywords: dryland corn; whole plastic-film mulching; double ridges rainwater harvesting; planting in catchment furrows; soil water