

旱地小麦全膜覆土穴播技术的土壤水分效应

李 福, 刘广才, 李诚德, 朱永永, 周德禄, 陈其鲜, 单秀章

(甘肃省农业技术推广总站, 甘肃 兰州 730020)

摘 要: 采用田间小区试验研究了旱地小麦全膜覆土穴播技术的土壤水分效应。结果表明, 小麦生长前期, 不同层次土壤含水量均表现为全膜覆土穴播 > 膜侧沟播 > 露地条播; 拔节—孕穗期 0~20 cm 土壤含水量全膜覆土穴播较露地条播提高 4.6~5.2 个百分点, 而膜侧沟播较露地条播提高 2.2~2.3 个百分点; 1 m 土壤贮水量, 全膜覆土穴播较露地条播增加 29.0~48.0 mm, 而膜侧沟播较露地条播增加 12.9~20.4 mm。全膜覆土穴播技术大幅度提高了小麦农田降水利用率和水分利用效率, 使降水利用率最高达到 74.1%, 平均降水利用率达到 71.0%; 使小麦水分利用效率最高达到 19.58 kg·mm⁻¹·hm⁻², 平均达到 18.33 kg·mm⁻¹·hm⁻², 在旱作小麦农田降水高效利用方面取得了重大突破。

关键词: 旱作农业; 全膜覆盖; 膜上覆土; 穴播; 小麦; 水分效应

中图分类号: S512.1; S152.7 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2013)04-0073-06

Effects of whole film mulching with soil covering and bunch planting on soil water in field of dry-land wheat

LI Fu, LIU Guang-cai, LI Cheng-de, ZHU Yong-yong, ZHOU De-lu, CHEN Qi-xian, SHAN Xiu-zhang

(Gansu Agro-technical Extension Station, Lanzhou, Gansu 730020, China)

Abstract: A field experiment was carried out to investigate the effects of different film mulching modes on soil water in field of dry-land wheat. The results showed that, during the early growing season of wheat, the soil water content in different layers was consistently ordered as: whole film mulching with soil covering and bunch planting (WFM) > furrow planting beside film (FPF) > no-mulching cultivation (CK). During jointing to booting stage, the soil water content in 0~20 cm layer under WFM and FPF was increased by 4.6%~5.2% and 2.2%~2.3% respectively, compared with that under CK; the soil water storage in 1 m layer under WFM and FPF was increased by 29.0~48.0 mm and 12.9~20.4 mm respectively, compared with that under CK. The technology of WFM also increased rainfall use rate and water use efficiency remarkably. The highest and average rainfall use rate under WFM was 74.1% and 71.0% respectively, and the highest and average water use efficiency under WFM was 19.58 kg·mm⁻¹·hm⁻² and 18.33 kg·mm⁻¹·hm⁻² respectively. Therefore, it made a key breakthrough for highly efficient rainwater utilization in the field of dry-land wheat.

Keywords: dry-land; whole film mulching; soil covering; bunch planting; wheat; water

全膜覆土穴播技术是由甘肃省农业技术推广总站等单位, 经过多年研究于本世纪初提出的^[1-4], 其核心是全地面覆盖地膜+膜上覆土+穴播+留膜免耕多茬种植^[1-2]。该技术集成覆盖抑蒸、膜面播种穴集雨、留膜免耕多茬种植等技术于一体, 有效缓解了旱地小麦等密植作物生长期缺水 and 产量低而不稳的问题, 解决了过去地膜穴播小麦(称甘肃模式, 生产中已被淘汰)苗穴错位、出苗率低、人工放苗劳动

强度大的问题, 使旱地小麦平均产量达到 4 500 kg·hm⁻²以上, 高的达到 7 500 kg·hm⁻²以上, 较露地条播小麦平均增产 40% 以上^[1-4], 被学术界称为“甘谷模式”。同时, 膜上覆土延长了地膜使用寿命, 一次覆膜可连续使用 3~4 a(茬), 实现留膜免耕多茬种植, 节本增效^[1-4]。该技术是甘肃省继全膜双垄沟播技术之后又一旱作农业重大创新技术, 为旱作农业区小麦等密植作物获得稳产高产开辟了新途

收稿日期: 2012-11-02

基金项目: “旱地全膜覆土穴播免耕多茬种植技术与示范”项目(甘农科技[2007]05 号); “旱地小麦全膜覆土穴播免耕多茬种植集成技术与示范推广”项目(2011GB2G100005, 1105NCNA096)

作者简介: 李 福(1964—), 男, 甘肃临洮人, 高级农艺师, 主要从事农业技术推广工作。E-mail: lifu640121@163.com。

通讯作者: 刘广才(1966—), 男, 推广研究员, 博士, 主要从事旱作农业技术的研究与推广工作。E-mail: lgc633@163.com。

径,适宜于年降水量在 300~600 mm 的旱作区推广应用,适宜的主要作物有小麦、胡麻、谷子、糜子、油菜、青稞、大豆及莜麦等密植作物^[1-4]。由于该技术极其显著的抗旱增产作用,2010 年起在甘肃及内蒙、宁夏等北方旱作区大面积示范推广,2012 年仅甘肃省应用面积达到 13.3 万 hm^2 。为了从理论上揭示全膜覆土穴播技术增产的水分机理,2011—2012 年连续 2 a 围绕小麦农田降水高效利用等核心问题,进行了大量的研究与探索,以期在全膜覆土穴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 2011—2012 年设在甘肃省中东部旱作农业区具有代表性的甘谷大石乡、静宁红寺乡、庄浪南坪乡、镇原中原乡、张家川梁山乡、清水永清镇,分别代表 350、400、450、500、550、600 mm 6 个降雨区域。海拔 1 415~1 820 m,无霜期 120~168 d,年平均气温 6.7°C ~ 8.9°C ,日照时数 2 710~3 255 h, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的有效积温为 $2\ 187^{\circ}\text{C}$ ~ $3\ 098^{\circ}\text{C}$,年太阳辐射总量 120~158 $\text{kJ}\cdot\text{cm}^{-2}$ 。年降雨量 358~604 mm,而年蒸发量为 1 419~2 155 mm。供试土壤为黑垆土、黄绵土,地类为梯田或旱塬条田,前茬为小麦,耕层土壤有机质含量 10.2~14.9 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、全氮 0.62~0.87 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、碱解氮 36.3~41.5 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、速效磷 14.2~18.9 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、速效钾 116.1~148.2 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

1.2 试验设计

采用覆膜方式单因素随机区组设计,以生产中目前应用的两种覆膜方式即全膜覆土穴播、膜侧沟播与不覆膜露地条播(CK)进行对比,共 3 个处理。小区面积为 $3.6\text{ m}\times 6.0\text{ m}=21.6\text{ m}^2$,4 次重复(一个重复作为取样区),随机区组排列。

全膜覆土穴播首先用 1.2 m 的地膜全地面平铺,上面均匀撒一层 1 cm 左右的薄土,然后用人推小麦穴播机播种,播种深度 3~5 cm,行距 16 cm,穴距 12 cm,每穴 8~12 粒(年降水 350 mm 的区域每穴 8~9 粒,年降水 400 mm 的区域每穴 9~10 粒,年降水 450~500 mm 的区域每穴 10~11 粒,年降水 550~600 mm 的区域每穴 11~12 粒),播量 28~42 万粒 $\cdot 667\text{m}^{-2}$;膜侧沟播采用小麦膜侧播种机覆膜播种,垄宽 25 cm(垄高 10~15 cm),沟宽 15 cm,沟内播两行,播量 28~30 万粒 $\cdot 667\text{m}^2$;露地条播(CK),行距 16 cm,播量 30~40 万粒 $\cdot 667\text{m}^{-2}$ 。播期:膜侧沟播播期同露地条播(按当地露地冬小麦适宜期播种,在 9 月 15 日至 9 月 25 日之间),全膜覆土穴播较对

照露地条播推迟 10~15 d 播种。冬小麦品种为适宜当地栽培的抗旱抗倒伏品种。施肥量各处理相同,均为 $\text{N}\ 8\sim 15\text{ kg}\cdot 667\text{m}^{-2}$ 、 $\text{P}_2\text{O}_5\ 6\sim 10\text{ kg}\cdot 667\text{m}^{-2}$,肥料品种为过磷酸钙、二胺及尿素。全部磷肥及氮肥按小区称量于播前混合均匀撒在地表,一次深耕翻入地下做底肥。

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:分别在冬小麦播种期、分蘖期、返青期、拔节期、孕穗期、灌浆期及成熟期分别测定。

测定深度:播种前、成熟期测 0~20、20~40、40~60、60~80、80~100、100~120、120~140、140~160、160~180、180~200 cm,出苗期、分蘖期、越冬前、返青期、拔节期、抽穗期、扬花期、灌浆期测 0~20、20~40、40~60、60~80、80~100 cm。

测定位置:全膜覆土穴播、膜侧沟播、露地条播在两行小麦中间位置;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] $\times 100$ /烘干土重。所取土样在 105°C ~ 110°C 烘箱中烘 6~8 h 至恒重后称重。

土壤贮水量(mm) = $C_1 \times M_1 \times D_1 + C_2 \times M_2 \times D_2 + \dots + C_x \times M_x \times D_x = C \times M \times D$ 。 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 $\times 100\%$ = (播前 200 cm 土层贮水量 - 成熟期 200 cm 土层贮水量 + 生育期降水量)/生产年度降水量 $\times 100\%$ 。

作物水分利用效率($\text{kg}\cdot\text{mm}^{-1}\cdot\text{hm}^{-2}$) = 经济产量/耗水量。

1.3.3 生物学性状和产量测定 成熟期每小区取 20 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 全膜覆土穴播模式的土壤水分含量

6 个试验点研究表明,播前—分蘖期—返青期—拔节期—孕穗期—灌浆期,小麦不同层次土壤含水量均表现为全膜覆土穴播 > 膜侧沟播 > 露地条播,且上层土壤含水量差异大于下层,尤其以拔节—孕穗期 0~20 cm 土壤含水量差异最为明显。表现在:拔节—孕穗期全膜覆土穴播土壤含水量较露地

条播提高 4.6~5.2 个百分点;膜侧沟播土壤含水量较露地条播提高 2.2~2.3 个百分点,但二者播期相同,播前土壤含水量没有差异。表明,全膜覆土穴播

能明显增加小麦各生育期土壤水分含量,从而有效解决了旱地冬小麦生长期缺水的问题(表 1)。

表 1 不同覆膜模式小麦各生育期 0~100 cm 土壤水分含量/%

Table 1 Soil water content in 0~100 cm soil layer during different growth stages under different plastic-film mulching modes

覆膜模式 Mulching mode	土层/cm Soil layer	播种期 Sowing	分蘖期 Tillering	返青期 Reviving	拔节期 Shooting	孕穗期 Booting	灌浆期 Filling	成熟期 Maturity
全膜覆土穴播 Whole film mulching and bunch planting (WFM)	0~20	21.3	21.7	20.8	20.1	17.9	12.7	13.5
	20~40	21.0	21.1	20.4	19.3	16.6	12.6	12.4
	40~60	20.8	20.7	19.6	18.5	15.8	12.3	11.2
	60~80	20.2	20.0	19.2	18.2	15.2	12.2	10.4
	80~100	19.5	19.4	19.0	17.9	14.8	12.1	9.8
膜侧沟播 Furrow planting beside film (FPF)	0~20	20.6	20.4	19.4	17.2	15.5	11.6	14.0
	20~40	20.3	19.9	19.0	16.7	14.6	11.2	13.3
	40~60	20.0	19.6	18.5	16.6	14.1	11.2	11.4
	60~80	19.6	19.4	18.3	16.5	14.0	11.5	10.5
	80~100	19.0	18.9	17.6	16.0	14.1	11.5	10.2
露地条播 No mulching (CK)	0~20	20.6	19.6	17.6	14.9	13.3	10.5	14.6
	20~40	20.3	19.5	18.0	15.0	13.3	10.5	14.2
	40~60	20.0	19.0	17.9	15.2	13.3	10.8	12.1
	60~80	19.6	19.0	17.3	15.3	13.3	10.9	10.9
	80~100	19.0	18.3	17.1	14.8	13.2	11.3	10.6

注:表中土壤水分含量数据为不同覆膜模式 6 个试验点 2011—2012 年的平均值,表 2、3、4 同表 1。

Note: The data of soil water content are mean values of different mulching modes at six experiment spots in 2010—2012. Table 2, Table 3 and Table 4 are the same.

由于全地面覆盖地膜有效阻止了土壤水分蒸发,全膜覆土穴播土壤平均日蒸发量明显小于露地条播冬小麦(在庄浪县测定,全膜覆土和露地冬小麦的土壤平均日蒸发量分别为 0.3 mm 和 0.73 mm),使得全膜覆土穴播冬小麦 0~100 cm 土层的土壤含水量比露地冬小麦显著提高。膜侧沟播小麦由于播种沟裸露,土壤水分蒸发损失较全膜覆土穴播小麦多,土壤含水量较露地条播也有所增加,但增幅最小。杨花—灌浆期以后,由于全膜覆土穴播、膜侧沟播生长旺盛,对土壤水分耗竭加快,小麦土壤水分含量与露地条播小麦差异逐渐减小。至成熟期,全膜覆土穴播、膜侧沟播小麦土壤水分含量均低于露地条播。

另外,这种土壤水分含量的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。

2.2 全膜覆土穴播模式的土壤贮水量

根据 350、400、450、500、550、600 mm 6 个降雨区

域 2 年土壤水分含量和土壤容重的测定结果(1 m 土壤容重平均为 1.298 g·cm⁻³,按 1.30 g·cm⁻³计算),计算得出不同降雨区域不同栽培模式小麦不同生育期 1 m 土壤贮水量(见表 2)。

播前—分蘖期—返青期—拔节期—孕穗期—灌浆期,全膜覆土穴播、膜侧沟播 1 m 土壤贮水量显著高于对照(露地条播),特别是返青期—拔节期—孕穗期增加最为显著。表现在:全膜覆土穴播 1 m 土壤贮水量比露地条播平均增加 29.0~48.0 mm,相当于增加 290.0~480.0 m³·hm⁻²,含水量增加 12.7%~24.6%;膜侧沟播 1 m 土壤贮水量比露地条播平均增加 12.9~20.4 mm,相当于增加 129.0~204.0 m³·hm⁻²,含水量增加 5.7%~10.4%,增幅较小,且播种时 1 m 土壤贮水量与露地条播无差异。灌浆期以后,差异逐渐变小。到成熟期,全膜覆土穴播、膜侧沟播 1 m 土壤贮水量小于露地条播。可以得出,正是由于全膜覆土穴播相对较高的土壤贮水量,为小麦各生育期提供了充足水分储备,有效解决了旱地小麦生长期缺水和产量低而不稳的问题。

表 2 不同生育期不同覆膜模式小麦 1 m 土壤贮水量/mm

Table 2 Soil water storage in 1 m soil layer during different growth stages under different plastic-film mulching modes								
试验点 Experiment spots	覆膜模式 Mulching mode	播种期 Sowing	分蘖期 Tillering	返青期 Reviving	拔节期 Shooting	孕穗期 Booting	灌浆期 Filling	成熟期 Maturity
甘谷大石 Dashi, Gangu County	全膜覆土穴播 WFM	193.6	198.0	185.8	178.8	126.8	107.1	105.3
	膜侧沟播 FPF	185.4	183.6	169.8	146.5	109.5	100.3	110.3
	露地条播 CK	185.4	176.5	158.9	131.0	101.5	93.3	118.5
静宁红寺 Hongsi, Jingning County	全膜覆土穴播 WFM	271.3	270.2	270.0	257.2	220.8	169.2	153.2
	膜侧沟播 FPF	262.3	260.6	253.4	232.9	198.3	160.3	158.6
	露地条播 CK	262.3	251.9	244.1	206.8	185.0	151.7	167.5
庄浪南坪 Nanping, Zhuanglang County	全膜覆土穴播 WFM	292.0	298.8	275.3	273.1	250.1	183.0	175.2
	膜侧沟播 FPF	284.4	288.1	258.7	248.5	234.7	164.8	182.2
	露地条播 CK	284.4	284.5	240.7	226.4	215.0	155.9	187.8
镇原中原 Zhongyuan, Zhenyuan County	全膜覆土穴播 WFM	281.1	286.0	281.3	261.8	243.4	233.7	172.1
	膜侧沟播 FPF	270.7	274.6	266.8	227.2	226.7	221.8	179.9
	露地条播 CK	270.7	266.2	248.6	217.4	209.6	213.2	185.1
张家川梁山 Liangshan, Zhangjiachuan County	全膜覆土穴播 WFM	287.0	280.2	272.7	257.7	188.0	123.9	142.7
	膜侧沟播 FPF	277.2	267.7	257.8	227.0	169.2	113.6	146.7
	露地条播 CK	277.2	259.4	247.0	203.8	151.6	107.8	155.2
清水永清 Yongqing, Qingshui County	全膜覆土穴播 WFM	278.6	268.3	257.9	242.1	208.0	148.7	146.6
	膜侧沟播 FPF	272.7	256.3	240.0	213.5	189.8	128.7	149.2
	露地条播 CK	272.7	248.0	230.1	187.7	173.4	120.4	158.9
平均 Average	全膜覆土穴播 WFM	267.3	266.9	257.2	243.5	206.2	161.0	149.2
	膜侧沟播 FPF	258.8	255.1	241.1	215.9	188.0	148.2	154.5
	露地条播 CK	258.8	247.8	228.2	195.5	172.7	140.4	162.2

不同降水区域土壤贮水量也均表现为全膜覆土穴播>膜侧沟播>露地条播,而且小麦生育前期这种趋势比较明显。不同降水区域之间的差异:降水少的区域土壤贮水量相对较少,而降水少的区域差异大于降水多的区域。

2.3 全膜覆土穴播模式的农田降水利用率

根据 350、400、450、500、550、600 mm 6 个降雨区域连续 2 年测定的平均结果计算得出(见表 3),降雨越少,全膜覆土穴播技术的降水利用率越高。从不同降水区域来看,年降雨量 350 mm 的半干旱偏旱区降水利用率为 74.1%,400~500 mm 的半干旱区降水利用率为 70.6%~73.5%,550~600 mm 的半湿润偏旱区降水利用率为 68.3%~69.6%。

6 个试验点平均结果得出,全膜覆土穴播农田降水利用率最高达到 74.1%,平均达到 71.0%,较露地条播(降水利用率平均为 65.0%)平均提高 6.0 个百分点;膜侧沟播农田降水利用率最高达到 67.7%,平均达到 66.1%,较露地条播平均提高 1.1 个百分点(表 3)。这是由于全膜覆土能最大限度地抑制土壤水分蒸发,加之全膜覆土穴播小麦叶面积

增大,蒸腾量增加,总耗水中蒸腾耗水所占比例明显提高,从而大幅度提高了小麦农田降水利用率。

甘肃中东部旱作农业区平均年降雨量 428.2 mm,适宜推广全膜覆土穴播小麦的耕地有 33.3 万 hm²,如果降水利用率平均增加 6.0 个百分点,每 hm² 可增加 256.9m³ 水,每年全省可增加利用降水资源总量 8 563.57 万 m³,极大地提高了降水利用率。

2.4 全膜覆土穴播模式的作物水分利用效率

根据 350、400、450、500、550、600 mm 6 个降雨区域连续 2 年测定的播前 2 m 土壤贮水量、成熟期 2 m 土壤贮水量、生育期降雨量、年降雨量和小麦经济产量结果,计算得出不同区域小麦水分利用效率(见表 3)。从表 3 可以看出,降雨越少,全膜覆土穴播技术的集雨保墒效果越明显,从而使水分利用效率越高。从不同降水区域的结果来看,年降雨量 350 mm 的半干旱偏旱区小麦水分利用效率为 19.58 kg·mm⁻¹·hm⁻²,400 mm 的半干旱区小麦水分利用效率为 18.92 kg·mm⁻¹·hm⁻²,450 mm 的半干旱区小麦水分利用效率为 18.67 kg·mm⁻¹·hm⁻²,500 mm 的半干旱区小

麦水分利用效率为 $18.20\text{ kg}\cdot\text{mm}^{-1}\cdot\text{hm}^{-2}$,550 mm 的半湿润偏旱区小麦水分利用效率为 $17.75\text{ kg}\cdot\text{mm}^{-1}\cdot\text{hm}^{-2}$,600 mm 的半湿润偏旱区小麦水分利用效率为 $17.46\text{ kg}\cdot\text{mm}^{-1}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。

表 3 不同覆膜方式降水利用率与小麦水分利用效率
Table 3 Rainfall use rate and water use efficiency of wheat under different plastic-film mulching modes

试验点 Experiment spots	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 Water consumption /mm	经济产量 Grain yield /($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)	年降水量 Annual rainfall /mm	降水利用率 Rainfall use rate /%	水分利用效率 WUE /($\text{kg}\cdot\text{mm}^{-1}\cdot\text{hm}^{-2}$)
甘谷大石 Dashi, Gangu County	全膜覆土穴播 WFM	296.6	212.3	185.8	270.1	5287.5	364.5	74.1	19.58
	膜侧沟播 FPF	284.7	233.0	195.1	246.8	4025.3	364.5	67.7	16.31
	露地条播 CK	284.7	241.7	198.8	241.7	2826.8	364.5	66.3	11.69
静宁红寺 Hongsi, Jingning County	全膜覆土穴播 WFM	345.4	301.9	258.3	301.8	5709.8	410.7	73.5	18.92
	膜侧沟播 FPF	339.3	329.1	264.5	274.7	4395.7	410.7	66.9	16.00
	露地条播 CK	339.3	340.9	264.5	263.0	3028.1	410.7	64.0	11.51
庄浪南坪 Nanping, Zhuanglang County	全膜覆土穴播 WFM	388.7	342.5	280.6	326.8	6101.2	453.5	72.1	18.67
	膜侧沟播 FPF	380.7	365.0	286.9	302.6	4930.1	453.5	66.7	16.29
	露地条播 CK	380.7	370.0	286.9	297.6	3387.1	453.5	65.6	11.38
镇原中原 Zhongyuan, Zhenyuan County	全膜覆土穴播 WFM	404.2	352.6	305.4	357.1	6498.8	506.1	70.6	18.20
	膜侧沟播 FPF	396.5	377.5	309.4	328.4	5134.5	506.1	64.9	15.64
	露地条播 CK	396.5	379.9	309.4	326.0	3666.8	506.1	64.4	11.25
张家川梁山 Liangshan, Zhangjiachuan County	全膜覆土穴播 WFM	417.8	363.4	327.1	381.5	6771.2	548.2	69.6	17.75
	膜侧沟播 FPF	412.3	380.2	327.1	359.1	5437.1	548.2	65.5	15.14
	露地条播 CK	412.3	383.3	327.1	356.0	3984.6	548.2	64.9	11.19
清水永清 Yongqing, Qingshui County	全膜覆土穴播 WFM	429.8	382.5	365.6	412.9	7210.0	604.7	68.3	17.46
	膜侧沟播 FPF	422.0	391.5	365.6	396.1	5801.6	604.7	65.5	14.65
	露地条播 CK	422.0	395.6	365.6	392.0	4350.7	604.7	64.8	11.10
平均 Average	全膜覆土穴播 WFM	380.4	325.9	287.1	341.7	6263.1	481.3	71.0	18.33
	膜侧沟播 FPF	372.6	346.1	291.4	317.9	4954.0	481.3	66.1	15.58
	露地条播 CK	372.6	351.9	292.1	312.7	3540.7	481.3	65.0	11.32

6 个试验点平均结果表明,全膜覆土穴播小麦水分利用效率最高达到 $19.58\text{ kg}\cdot\text{mm}^{-1}\cdot\text{hm}^{-2}$,平均达到 $18.33\text{ kg}\cdot\text{mm}^{-1}\cdot\text{hm}^{-2}$,对照露地条播平均为 $11.32\text{ kg}\cdot\text{mm}^{-1}\cdot\text{hm}^{-2}$,较对照增加 $7.01\text{ kg}\cdot\text{mm}^{-1}\cdot\text{hm}^{-2}$,增长 62.7%;膜侧沟播小麦水分利用效率最高达到 $16.31\text{ kg}\cdot\text{mm}^{-1}\cdot\text{hm}^{-2}$,平均达到 $15.58\text{ kg}\cdot\text{mm}^{-1}\cdot\text{hm}^{-2}$,较对照提高 $4.26\text{ kg}\cdot\text{mm}^{-1}\cdot\text{hm}^{-2}$,增长 37.6%(表 3)。由此可见,全膜覆土穴播技术能大幅度提高小麦水分利用效率,是年降雨量 350~600 mm 的旱作农业区小麦降水高效利用的最佳技术模式。

甘肃中东部旱作农业区平均年降雨量 428.2 mm,适宜推广全膜覆土穴播小麦的耕地有 33.3 万 hm^2 ,如果小麦水分利用效率平均增加 7.01

$\text{kg}\cdot\text{mm}^{-1}\cdot\text{hm}^{-2}$,每 hm^2 可增产 3 001.7 kg,每年可增产 10.00 亿 kg 小麦,将对缓解全省小麦供需矛盾、确保粮食安全具有重大的现实意义。

2.5 经济效益分析

按照 2012 年的价格,对 6 个降雨区域 2 年不同覆膜模式与传统露地条播小麦进行经济效益分析得出,全膜覆土穴播、膜侧沟播和露地条播小麦产值分别为 $16\,158.8$ 、 $12\,781.3$ 元 $\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 $9\,135.0$ 元 $\cdot\text{hm}^{-2}$,纯收入分别为 $12\,174.8$ 、 $6\,511.3$ 元 $\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 $3\,628.5$ 元 $\cdot\text{hm}^{-2}$,产投比分别为 4.06、2.04 元 $\cdot\text{元}^{-1}$ 和 1.66 元 $\cdot\text{元}^{-1}$ 。结果表明,小麦全膜覆土穴播技术与露地条播相比,具有极其显著的经济效益。

表 4 不同覆膜模式与露地条播小麦经济效益分析

Table 4 Economic benefits of wheat under different plastic-film mulching modes

栽培模式 Planting mode	经济产量 Grain yield /(kg·hm ⁻²)	秸秆产量 Straw yield /(kg·hm ⁻²)	产值 Output value /(yuan·hm ⁻²)	投入 Input /(yuan·hm ⁻²)	纯收入 Net income /(yuan·hm ⁻²)	产投比 O/I ratio /(yuan·yuan ⁻¹)
全膜覆土穴播 WFM	6263.1	7515.7	16158.8	3984.0	12174.8	4.06
膜侧沟播 FPF	4954.0	5944.8	12781.3	6270.0	6511.3	2.04
露地条播 CK	3540.7	4248.8	9135.0	5506.5	3628.5	1.66

注:小麦籽粒 2.10 元·kg⁻¹,秸秆 0.40 元·kg⁻¹,地膜 13.33 元·kg⁻¹,纯 N4.51 元·kg⁻¹,P₂O₅ 6.25 元·kg⁻¹,小麦种子 3.0 元·kg⁻¹,人工 50.0 元·个⁻¹。

Note: Wheat grain: 2.10 yuan·kg⁻¹; straw: 0.40 yuan·kg⁻¹; plastic film: 13.33 yuan·kg⁻¹; pure N: 4.51 yuan·kg⁻¹; pure P₂O₅: 6.25 yuan·kg⁻¹; wheat seeds: 3.0 yuan·kg⁻¹; labor: 50.0 yuan·day⁻¹.

3 讨 论

干旱已成为全球农业生产面临的严重问题,尤其是进入本世纪以来,全球性气候变暖导致的干旱程度越来越严重,对粮食生产特别是小麦生产构成直接威胁^[5]。全世界发展中国家至少有 6 000 万 hm² 小麦栽培在雨养耕地,产量水平只有灌溉条件下的 10% ~ 50%^[5]。我国小麦单产不足 3 000 kg·hm⁻²的低产田约 1 140 万 hm²,占小麦播种面积的 41%^[5]。目前,甘肃省小麦常年播种面积 94.7 万 hm²^[1],平均单产 3 067.5 kg·hm⁻²;其中,旱地小麦种植面积 72.4 万 hm²,约占小麦总面积的76.5%^[1]。由于干旱多灾,导致全省旱地小麦产量低而不稳,平均单产仅 2 400 kg·hm⁻²,但增产潜力巨大。

长期以来,我国旱地农田降水利用率普遍不足 50%,小麦等主要作物水分利用效率在 7.5 kg·mm⁻¹·hm⁻²左右^[6]。近年来,广大农业科技人员为了提高旱地小麦产量,不断创新小麦栽培模式,围绕提高农田降水利用率和小麦水分利用效率进行了大量研究,特别是随着旱地全膜覆土穴播技术的提出,进行了大量研究。侯慧芝等^[7]在甘肃省农业科学院定西团结镇试验站研究得出,旱地全膜覆土穴播小麦水分利用效率为 12.59 kg·mm⁻¹·hm⁻²,比露地条播小麦提高 19.90%。刘晓伟等^[8]在甘肃省农业科学院庄浪试验站研究得出,全膜覆土穴播技术农田降水利用率为 67.07%,较露地条播提高 5.51 个百分点;全膜覆土穴播小麦水分利用效率为13.23 kg·mm⁻¹·hm⁻²,比露地条播小麦提高 21.97%。本研究在甘肃省不同降水区域试验得出,全膜覆土穴播技术使旱地农田降水利用率平均达到 71.0%,较露地条播平均提高 6.0 个百分点;使小麦水分利用效率平均达到 18.33 kg·mm⁻¹·hm⁻²,较露地条播增长 62.7%,大幅度提高了旱地小麦农田降水利用率和水分利用效率。该技术在旱地小麦等密植作物农田降水高效利用关键技术方面取得重大突破。

4 小 结

- 1) 全膜覆土穴播技术能显著提高小麦各生育期土壤水分含量。生长前期,不同层次土壤含水量均表现为全膜覆土穴播 > 膜侧沟播 > 露地条播,且上层土壤含水量差异大于下层,尤其以拔节—孕穗期 0 ~ 20 cm 土壤含水量差异最为明显。表现在:拔节—孕穗期全膜覆土穴播土壤含水量较露地条播提高 4.6 ~ 5.2 个百分点;膜侧沟播土壤含水量较露地条播提高 2.2 ~ 2.3 个百分点。
- 2) 全膜覆土穴播技术能显著增加小麦各生育期土壤贮水量。生长前期,全膜覆土穴播 1 m 土壤贮水量显著高于对照露地条播,特别是返青期—拔节期—孕穗期,全膜覆土穴播 1 m 土壤贮水量比露地条播平均增加 29.0 ~ 48.0 mm,相当于增加 290.0 ~ 480.0 m³·hm⁻²,含水量增加 12.7% ~ 24.6%;膜侧沟播 1 m 土壤贮水量比露地条播平均增加 12.9 ~ 20.4 mm,相当于增加 129.0 ~ 204.0 m³·hm⁻²,含水量增加 5.7% ~ 10.4%。灌浆期以后,差异逐渐变小,至成熟期差异消失。
- 3) 全膜覆土穴播技术能大幅度提高小麦农田降水利用率。全膜覆土穴播农田降水利用率最高达到 74.1%,平均达到 71.0%,较露地条播平均提高 6.0 个百分点;膜侧沟播农田降水利用率最高达到 67.7%,平均达到 66.1%,较露地条播平均提高 1.1 个百分点。
- 4) 全膜覆土穴播技术能显著提高小麦水分利用效率。全膜覆土穴播小麦水分利用效率最高达到 19.58 kg·mm⁻¹·hm⁻²,平均达到 18.33 kg·mm⁻¹·hm⁻²,对照露地条播平均为 11.32 kg·mm⁻¹·hm⁻²,较对照增加 7.01 kg·mm⁻¹·hm⁻²,增长 62.7%;膜侧沟播小麦水分利用效率最高达到 16.31 kg·mm⁻¹·hm⁻²,平均达到 15.58 kg·mm⁻¹·hm⁻²,较对照提高 4.26 kg·mm⁻¹·hm⁻²,增长 37.6%。
- (下转第 98 页)

[3] 石春林,朱 艳,曹卫星.水稻叶片几何参数的模拟分析[J].中国农业科学,2006,39(5):910-915.

[4] 宋有洪,郭 焱,李保国,等.基于植株拓扑结构的生物量分配的玉米虚拟模型[J].生态学报,2003,23(11):2334-2341.

[5] Zhao Jun, Wang Yi-ming, Dong Qiao-xue, et al. Research advances of cotton dynamic simulation models[J]. Trans CSAE, 2007,23(3): 257-266.

[6] 李 明,张长利,房俊龙.基于图像处理技术的小麦叶面积指数的提取[J].农业工程学报,2010,26(1):205-209.

[7] 冯跃华,黄敬峰,陈长青,等.基于 ORYZA2000 模型模拟贵阳地区一季中稻的适应性初探[J].中国农学通报,2012,28(9):26-32.

[8] 孙成明,庄恒扬,杨连新,等.FACE 水稻叶面积指数的模拟研究[J].农业环境科学学报,2007,26(3):1003-1007.

[9] 熊 伟.CERES-Wheat 模型在我国小麦区的应用效果及误差来源[J].应用气象学报,2009,20(1):88-94.

[10] 赵 虎,裴志远,马尚杰,等.WOFOST 模型同化时序 HJCCD 数据反演叶面积指数[J].农业工程学报,2012,28(11):158-163.

[11] 马新明,张娟娟,刘合兵,等.小麦生长模型(WCSODS)在河南省的适应性评价研究[J].中国农业科学,2006,39(9):1789-1795.

[12] 杨 勤,许吟隆,林而达,等.应用 DSSAT 模型预测宁夏春小麦产量演变趋势[J].干旱地区农业研究,2009,27(2):41-48.

[13] 李 广,黄高宝.基于 APSIM 模型的降水量分配对旱地小麦和豌豆产量影响的研究[J].中国生态农业学报,2010,18(2):342-347.

[14] 李 广,黄高宝,王 琦,等.基于 APSIM 模型的旱地小麦和豌豆水肥协同效应分析[J].草业学报,2011,20(5):151-159.

[15] 李 广,黄高宝,William Bellotti,等. APSIM 模型在黄土丘陵沟壑区不同耕作措施中的适用性[J].生态学报,2009,29(5):2655-2663.

[16] 李 广,李 玥,黄高宝,等.基于 APSIM 模型旱地春小麦产量对温度和 CO₂ 浓度升高的响应[J].中国生态农业学报,2012,20(8):1088-1095.

[17] 黄占斌,山 仑.水分利用效率及其生理生态机理研究进展[J].生态农业研究,1998,6(4):19-23.

[18] 练宏斌.不同耕作措施对旱地春小麦光合生理生态特性的影响[D].兰州:甘肃农业大学,2008.

[19] Asseng S, Keating B A, Fillery I R P, et al. Performance of the APSIM-wheat model in western Australia[J]. Field Crops Res, 1998, 57(2):163-179.

[20] Asseng S, Keulen H V, Stol W, et al. Performance and application of the APSIM N-wheat model in the Netherlands[J]. Europ J Agronomy, 2000,12(1):37-54.

[21] 王 琳,郑有飞,于 强. APSIM 模型对华北平原小麦-玉米连作系统的适用性[J].应用生态学报,2007,18(11):2480-2486.

[22] Zhang X C. Calibration, efinement, and application of the WEPP model for simulation climatic impact on wheat production[J]. National Aeronautics and Space Administration, 2004,47(4):1075-1085.

[23] 刘铁梅,王 燕,邹 薇,等.大麦叶面积指数模拟模型[J].应用生态学报,2010,21(1):121-128.

[24] 刘铁梅,曹卫星,罗卫红,等.小麦叶面积指数的模拟模型研究[J].麦类作物学报,2001,21(2):38-41.

[25] 张学艺,张 磊,黄 峰,等.宁夏灌区春小麦叶面积指数的动态模拟[J].干旱地区农业研究,2011,29(1):193-196.

[26] 王美丽,何东健.基于 L 系统的小麦根系可视化模拟研究[J].农机化研究,2008,(3):36-39.

[27] 钟 南,罗锡文,秦 琴.L 系统理论在植物根系生长模拟中的应用研究[J].系统仿真学报,2008,20(7):1896-1897.

[28] 高聚林,刘克礼,刘瑞香,等.不同栽培条件对春小麦叶面积指数的影响[J].麦类作物学报,2003,23(3):85-89.

(上接第 78 页)

5) 全膜覆土穴播技术能显著提高旱地小麦的经济效益。全膜覆土穴播、膜侧沟播和露地条播小麦产投比分别为 4.06 元·元⁻¹、2.04 元·元⁻¹和 1.66 元·元⁻¹。

参 考 文 献:

[1] 李 福,李城德,刘广才,等.甘肃发展旱地全膜覆土穴播技术的重要意义[J].农业科技与信息,2010,(23):3-4,27.

[2] 李 福,李城德,刘广才,等.旱地全膜覆土穴播免耕多茬种植技术[J].中国农技推广,2011,27(1):24-25,19.

[3] 李 福,刘广才.甘肃省小麦全膜覆土穴播技术的增产效果

[J].农业科技与信息,2011,(23):3-4.

[4] 刘广才,李 福,李城德.小麦全膜覆土穴播技术推广中存在的主要技术问题及解决办法[J].农业科技与信息,2011,(23):11-13.

[5] 杨 琳,徐兆师,鲁 燕,等.宁夏南部山区春小麦抗旱性鉴定研究[J].干旱地区农业研究,2008,26(6):173-178.

[6] 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.

[7] 侯慧芝,吕军峰,张绪成,等.陇中半干旱区全膜覆土穴播小麦的土壤水分及产量效应[J].作物杂志,2010,(1):21-25.

[8] 刘晓伟,何宝林,康恩祥,等.播种方式对旱区冬小麦产量及土壤水分、土壤温度的影响[J].作物杂志,2011,(5):77-81.