

不同覆盖种植方式与平衡施肥对旱地春玉米产量及水分利用效率的影响

张平良^{1,2}, 郭天文^{1,2}, 李书田³, 马明生^{1,2}, 谢永红¹

(1. 甘肃省农业科学院旱地农业研究所, 甘肃 兰州 730070;
2. 甘肃省旱作区水资源高效利用重点实验室, 甘肃 兰州 730070;
3. 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081)

摘要: 采用田间试验方法, 研究了不同覆盖种植方式与平衡施肥对旱地春玉米产量及其水分利用效率的影响。结果表明, 三种覆盖种植方式中, 全膜双垄沟播种植方式有利于玉米碳水化合物合成, 增加玉米干物质积累量, N、P、K 平衡施肥干物质积累量增加效果明显; 与全膜双垄沟播相比, 半膜覆盖和裸地种植玉米籽粒产量分别减产 8.5% ~ 17.6% 和 61.1% ~ 95.3%, 水分利用效率分别降低 3.5% ~ 15.1% 和 52.8% ~ 60.2%; N、P₂O₅ 和 K₂O 的用量分别为 225、120、60 kg·hm⁻² 时, F₁N₁ 处理玉米籽粒产量和水分利用效率最高。研究表明, 在玉米全膜双垄沟播栽培技术条件下, 平衡施肥可显著提高玉米籽粒产量和水分利用效率。

关键词: 全膜双垄沟播; 平衡施肥; 水分利用效率; 春玉米; 产量

中图分类号: S513.048; S513.062 文献标志码: A 文章编号: 1000-7601(2014)04-0169-05

Effects of different coverage cultivation and balanced fertilization on yield and water use efficiency of spring corn in the dryland

ZHANG Ping-liang^{1,2}, GUO Tian-wen^{1,2}, LI Shu-tian³, MA Ming-sheng^{1,2}, XIE Yong-hong¹

(1. Gansu Academy of Agricultural Sciences, Dryland Agriculture Institute, Lan Zhou 730070, China;

2. Key laboratory of High Efficiency Water Utilization in Dry Farming Region, Lanzhou 730070, China;

3. Chinese Academy of Agricultural Sciences, Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Beijing 100081, China)

Abstract: Field trials were conducted to study the effect of mulching cultivation and balance fertilization on yield and water use efficiency of corn in the dryland. The results showed that film mulched double-furrow sowing had a favorable effect on carbohydrate synthesis and thereby the dry matter accumulation of corn, with the balance pattern of fertilization having the largest effect. Compared with all-film double-furrow sowing cultivation, maize yields of semi-film covering cultivation and exposed land cultivation was reduced by 8.5% ~ 17.6% and 61.1% ~ 95.3%, and water use efficiency of which was reduced respectively by 3.5% ~ 15.1% and 52.8% ~ 60.2%, respectively. The application rate of N 225 kg·hm⁻², P₂O₅ 120 kg·hm⁻², and K₂O 60 kg·hm⁻² resulted in the highest maize yield and water use efficiency, suggesting the feasibility of balance fertilization in plastic-film mulched double-furrow sowing pattern.

Keywords: plastic-film mulched; double-furrow sowing cultivation; balance fertilization; water use efficiency; spring corn; yield

干旱缺水和春季低温是导致甘肃省中东部雨养农业区作物低产的两个主要原因, 因此提高降水利用效率是本地区农田管理的关键环节, 合理耕作、增加地面覆盖、降低无效蒸发、合理施肥等措施是提高农田降水利用效率的基本途径, 发展抗旱节水农业

成为甘肃省农业发展的必然选择和大前提。全膜双垄沟播玉米栽培技术是旱作农业的一项突破性创新技术。该项技术集覆盖抑蒸、膜面集雨、垄沟种植技术为一体, 最大限度地储蓄自然降水, 使地面蒸发降到最低, 特别能使春季 10 mm 以下的降雨集中入渗

收稿日期: 2013-10-05

基金项目: 国家科技支撑计划专题(2012BAD05B03); 国际植物营养研究所(IPNI)项目(BPC-Gansu-2013)

作者简介: 张平良(1981—), 男, 甘肃靖远人, 助理研究员, 硕士, 主要从事旱作农田生态及土壤肥料研究。E-mail: zhangpl2007@163.com。

通信作者: 郭天文(1963—), 男, 研究员, 主要从事旱作农业及植物营养研究。E-mail: guotw2007@hotmail.com。

于作物根部,被作物有效利用,实现了集雨、保墒、增产^[1-3],该项技术适宜于甘肃省中东部干旱半干旱地区降雨量在 250~600 mm 之间的生态类型区^[1,4]。针对这些区域,本试验主要研究几种覆盖种植模式及其施肥对春玉米生长、产量及水分利用效率的影响,以期研究该地区玉米高产、集水高效利用的最佳覆盖栽培模式及其配套施肥水平,为旱作农业作物高产、集水高效利用提供技术支撑和理论基础,对于提高旱地春玉米产量,确保粮食安全、促进旱作农业区经济稳步发展起到积极作用。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验设在定西市安定区团结镇唐家堡村(地理位置:E104°35',N35°36'),于 2012 年 4 月布置。研究区境内属典型的黄土高原干旱半干旱雨养农业区,土壤类型为黄绵土,质地为壤土,肥力中等^[5],海拔约 1 932~2 520 m,近几年年均降雨量 360 mm 左右,

表 1 供试土壤养分状况

Table 1 Soil nutrient status

pH 值	OM/ (g·kg ⁻¹)	NH ₄ -N/ (mg·kg ⁻¹)	NO ₃ -N/ (mg·kg ⁻¹)	P/ (mg·kg ⁻¹)	K/ (mg·kg ⁻¹)	Ca/ (mg·kg ⁻¹)	Mg/ (mg·kg ⁻¹)	S/ (mg·kg ⁻¹)	Fe/ (mg·kg ⁻¹)	Cu/ (mg·kg ⁻¹)	Zn/ (mg·kg ⁻¹)	B/ (mg·kg ⁻¹)
8.26	7.6	15	8.1	22.4	116	1812.7	156.5	22.3	10.7	1.8	1.4	1.04

表 2 2011—2012 年 1—12 月份降水量

Table 2 Precipitation from January to December in 2011—2012

年份 Years	降水量 Precipitation/mm												合计 Total
	1 月 January	2 月 February	3 月 March	4 月 April	5 月 May	6 月 June	7 月 July	8 月 August	9 月 September	10 月 October	11 月 November	12 月 December	
2011	4.9	4.3	14.5	3.2	29.9	50.2	24.4	27.0	60.0	10.7	17.6	2.6	249.3
2012	11.0	6.1	18.5	25.1	70.2	55.2	90.9	109.6	81.0	16.8	7.6	1.4	493.4

半膜覆盖种植是用 80 cm 地膜紧贴地面覆盖,再隔 40 cm 裸地重新进行地膜覆盖,玉米在膜面上播种 2 行,形成玉米宽、窄行分别为 70 cm、40 cm,播种量同上。

裸地种植方式为将地整理后,不覆膜,玉米宽、窄行为 70 cm、40 cm,同上述几种种植方式同时播种,播种量同上。

每个种植方式下设 3 个施肥水平,即:(1) 配方施肥(N₁)—N₂₂₅P₁₂₀K₆₀(N、P₂O₅ 和 K₂O 的用量分别为 225、120、60 kg·hm⁻²), (2) 当地农民习惯施肥(N₂)—N₁₅₀P₁₀₅K₀(N、P₂O₅ 和 K₂O 的用量分别为 150、105、0 kg·hm⁻²), (3) 不施肥(N₃)—N₀P₀K₀, 共组成 F₁N₁、F₁N₂、F₁N₃、F₂N₁、F₂N₂、F₂N₃、F₃N₁、F₃N₂、F₃N₃ 共 9 个处理,随机区组排列,试验小区面积 52.8 m²。

季节分布不均,多集中在 7—9 三个月,年蒸发量 1 531 mm,0~200 cm 土壤容重平均为 1.26 g·cm⁻³。试验地耕层(0~20 cm)土壤养分状况见表 1,2011—2012 年 1—12 月份降水资料见表 2。

1.2 试验材料

玉米品种为沈单 16 号,肥料品种为尿素(N46%)、过磷酸钙(P₂O₅12%~16%)、氯化钾(K₂O 60%)。

1.3 试验设计与方法

试验设覆盖种植方式和施肥水平两个因子,覆盖种植方式包括全膜双垄沟播(F1)、半膜覆盖平作(F2)、裸地平作(F3)3 个水平。

全膜双垄沟播种植是用起垄覆膜机进行起垄,形成垄高 10~15 cm,大垄宽 70 cm、小垄宽 40 cm 的双垄,再用 120 cm 地膜全地面、全生育期地膜覆盖,铺膜时地膜紧贴地面,同时在膜上隔 5 m 打一土带,采用玉米点播器在垄沟内播种,120 cm 宽的地膜种 2 行,宽、窄行分别为 70 cm、40 cm,每穴 1~2 粒,播种密度为 60 000 株·hm⁻²。

所用肥料全部作为基肥一次性施入。

1.4 测定项目及方法

测定试验地耕层(0~20 cm)基础土样理化性质,测定玉米各生育期地上部分干物质量,收获期玉米产量;测定播前、苗期、拔节期、喇叭口期、灌浆期、收获期的 0~200 cm 土层土壤含水量,计算水分利用效率。

干物质量的测定,即在玉米苗期各处理取 10 株、其它生育期采取各处理 3 株植株样带回室内,在 105℃ 温度下杀青 30 min 后,在 70℃ 恒温下烘至恒重,以获取地上部分生物量干重。

水分利用率(kg·mm⁻¹·hm⁻²) = 玉米产量(kg·hm⁻²) / [播前土壤储水量(mm) + 生育期总降水量(mm) - 收获期土壤储水量(mm)]

基础土样理化性质由中国农业科学院中一加合作土壤植株测试实验室采用 ASI 分析法^[6]测定,气象资料是由甘肃省农业科学院定西综合试验站气象观测站观测。

1.5 数据分析

实验数据采用 DPS9.50 专业版软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同覆盖种植方式及施肥对玉米地上部分干物质积累量的影响

由表 3 可知,不同处理对玉米各生育期地上部分干物质积累量的影响表现为: F_1N_1 处理玉米苗期至收获期干物质积累量最高,明显高于其它处理, F_3N_3 处理最低;在相同施肥水平下,不同覆盖种植方式对玉米各生育期干物质积累量的影响均表现为:全膜双垄沟播(F_1) > 半膜覆盖种植(F_2) > 裸地种植(F_3),其中全膜双垄沟播玉米收获期地上部分干物质积累量较半膜覆盖和裸地种植分别增加 10.9% ~ 41.7% 和 66.6% ~ 137.9%;在相同覆盖种

植方式下,不同施肥水平对玉米地上部分干物质积累量的影响均表现为: $N_{225}P_{120}K_{60}(N_1) > N_{150}P_{105}K_0(N_2) > N_0P_0K_0(N_3)$,全膜双垄沟播种植方式的施肥效果更加突出,其中在全膜双垄沟播种植方式下, F_1N_1 施肥处理玉米收获期干物质积累量较 F_1N_3 增加 67.4%;在半膜覆盖种植方式下, F_2N_1 处理玉米干物质积累量较 F_2N_3 增加 43.0%;在裸地种植方式下, F_3N_1 施肥处理玉米干物质积累量较 F_3N_3 增加 24.9%。上述结果表明:全膜双垄沟播种植方式有利于玉米的生长,可明显增加玉米干物质积累量, $N_{225}P_{120}K_{60}$ 施肥效果尤为明显,原因是一方面由于全地面地膜覆盖能有效增加春季地表温度,可促进植株根系生长,提高根系活力和促进作物地上部分生长^[7],有利于玉米早期生长;另一方面全膜双垄沟播种植方式由于形成大小双垄膜面能够有效蓄集自然降水、抑制土壤水分蒸发,储蓄了土壤水分,有效地供给玉米生长,以水促肥、提高肥效的水肥耦合效应尤为明显,充分利用了水、肥、光热资源,促进玉米地上部分干物质质量的积累。

表 3 不同处理对玉米干物质积累的影响

Table 3 Effect of different treatments on dry matter accumulation of corn

处理 Treatments	覆盖模式 Coverage	施肥水平 Fertilization	干物质积累量 Dry matter accumulation/(kg·hm ⁻²)					
			苗期 Seedling	拔节期 Jointing	喇叭口期 Bell stage	孕穗期 Booting	灌浆期 Filling	收获期 Harvest
F_1N_1	全膜双垄沟播	$N_{225}P_{120}K_{60}$	140.8a	2055a	4250a	10913a	19594a	33551a
F_1N_2	All-film double-furrow sowing(F_1)	$N_{150}P_{105}K_0$	115.4b	1431b	3721b	7686b	19080a	31481b
F_1N_3		$N_0P_0K_0$	41.0d	573d	2302c	5370d	11502c	20045de
F_2N_1	半膜覆盖	$N_{225}P_{120}K_{60}$	46.0c	1396bc	2204cd	7696b	15448b	25850c
F_2N_2	Semi-film covering(F_2)	$N_{150}P_{105}K_0$	40.6d	976c	1717d	6315c	12067c	22224d
F_2N_3		$N_0P_0K_0$	18.4e	276e	653e	3336e	7830d	18075e
F_3N_1	裸地	$N_{225}P_{120}K_{60}$	16.9e	107ef	414f	2989ef	7924d	15034f
F_3N_2	Exposed land (F_3)	$N_{150}P_{105}K_0$	10.7ef	107ef	322fg	2696efg	5596ef	13231fg
F_3N_3		$N_0P_0K_0$	7.4f	80f	136g	2167g	4470f	12035g

注:不同字母表示差异显著($P < 0.05$),下同。

Note: Different letters mean significant difference at 0.05 probability level. The same below.

2.2 不同覆盖种植方式及施肥对玉米农艺性状的影响

由表 4 可知,不同处理对玉米农艺性状的影响表现为: F_1N_1 处理玉米穗粒数、穗粒重、百粒重最高,明显高于其它处理;在相同施肥水平条件下,不同覆盖种植方式对玉米穗粒数、穗粒重、百粒重等农艺性状的影响均表现为:全膜双垄沟播(F_1) > 半膜覆盖(F_2) > 裸地(F_3),其中全膜双垄沟播玉米百粒重较半膜平作和裸地分别增加 1.9% ~ 18.5% 和 20.4% ~ 57.1%;在不同覆盖种植方式下,不同施肥

量对玉米穗粒数、百粒重等农艺性状的影响表现为: $N_{225}P_{120}K_{60}(N_1) > N_{150}P_{105}K_0(N_2) > N_0P_0K_0(N_3)$,全膜双垄沟播种植方式的施肥效果更加突出。其中,在全膜双垄沟播方式下, F_1N_1 施肥处理玉米百粒重较 F_1N_3 增加 37.6%;在半膜覆盖方式下, F_2N_1 处理玉米百粒重较 F_2N_3 增加 18.3%;在裸地种植方式下, F_3N_1 处理玉米百粒重较 F_3N_3 增加 5.3%。上述结果表明,全膜双垄沟播种植方式有利于增加玉米穗长、穗粒数、百粒重,从而有利于增加玉米籽粒产量,并且 $N_{225}P_{120}K_{60}$ 施肥水平效果最佳。

2.3 不同覆盖种植方式及施肥对玉米产量及经济效益的影响

由表 5 可知, F_1N_1 处理玉米产量和纯收益最高, 每公顷分别达到 12 273 kg 和 24 164 元, 显著 ($P < 0.05$) 高于其它处理, F_1N_1 较 F_2N_1 和 F_3N_1 玉米籽粒产量分别增加 12.2% 和 42.4%, 纯收益分别增加 12.9% 和 40.4%。在相同施肥条件下, 不同覆盖种植方式对玉米籽粒产量及纯收益的影响均表现为: 全膜双垄沟播 (F_1) > 半膜覆盖 (F_2) > 裸地 (F_3), 与全膜双垄沟播种植相比, 半膜覆盖和裸地种植玉米籽粒产量分别减少 8.5% ~ 17.6% 和 61.1% ~ 95.3%, 纯收入分别降低 7.0% ~ 18.4% 和 49.8% ~

65.8%, 其中 F_2N_1 和 F_3N_1 处理较 F_1N_1 处理玉米籽粒产量分别减少 17.6% 和 62.2%, 纯收益分别降低 18.4% 和 65.8%。在相同种植方式下, 不同施肥量对玉米产量的影响均表现为: $N_{225}P_{120}K_{60}(N_1) > N_{150}P_{105}K_0(N_2) > N_0P_0K_0(N_3)$, 其中在全膜双垄沟播种植方式下, F_1N_1 比 F_1N_2 和 F_1N_3 处理玉米籽粒产量分别增加 10.6% 和 71.4%, 纯收益分别增加 8.0% 和 62.7%。上述结果表明, 全膜双垄沟播种植方式由于覆膜具有显著的蓄水、抑蒸、增温效应, 改善了土壤水热条件, 水肥之间的耦合效应比较突出, 肥料增产效果明显, 有利于增加玉米籽粒产量, 提高经济效益, $N_{225}P_{120}K_{60}$ 施肥量下效果明显。

表 4 玉米农艺性状分析

Table 4 Agronomic traits of corn

处理 Treatment	覆盖模式 Coverage	株高 Height /cm	穗粗 Ear diameter /cm	穗长 Spike length /cm	穗粒数 Spike number /个	穗粒重 Spike weight /(g·株 ⁻¹)	百粒重 Hundred grain weight/g
F_1N_1	全膜双垄沟播 All-film double -furrow sowing(F_1)	220.5a	6.5a	21.4a	798a	311a	45.4a
F_1N_2		211.2b	6.5a	21.0ab	627b	283b	42.6ab
F_1N_3		199.3bc	5.7c	18.4c	505cd	163d	33.0c
F_2N_1	半膜覆盖 Semi-film covering(F_2)	210.4b	6.2b	20.1abc	529c	222cd	38.3b
F_2N_2		203.9bc	5.9bc	19.7bc	515cd	244c	36.1bc
F_2N_3		195.9c	5.5c	17.7cd	461e	150de	32.4cd
F_3N_1	裸地 Exposed land (F_3)	198.1c	5.8bc	19.6bc	503d	122e	28.9de
F_3N_2		195.7cd	5.5c	18.1cd	477de	111ef	28.7de
F_3N_3		190.2d	5.5c	17.0d	464e	101f	27.4e

表 5 玉米产量及经济效益分析

Table 5 Corn grain yield and economic analysis

处理 Treatment	覆盖模式 Coverage	施肥水平 Fertilization	产量 Yield /(kg·hm ⁻²)	较 F_1 减产 Decrease compared to F_1 /%	纯收益 Net income /(元·hm ⁻²)	较 F_1 降低 Reduce than F_1 /%
F_1N_1	全膜双垄沟播 All-film double -furrow sowing(F_1)	$N_{225}P_{120}K_{60}$	12273a	—	24164a	—
F_1N_2		$N_{150}P_{105}K_0$	11098ab	—	22368ab	—
F_1N_3		$N_0P_0K_0$	7159c	—	14850c	—
F_2N_1	半膜覆盖 Semi-film covering(F_2)	$N_{225}P_{120}K_{60}$	10114b	-17.6	19714 b	-18.4
F_2N_2		$N_{150}P_{105}K_0$	9867bc	-11.1	19961b	-10.8
F_2N_3		$N_0P_0K_0$	6553cd	-8.5	13817 cd	-7.0
F_3N_1	裸地 Exposed land (F_3)	$N_{225}P_{120}K_{60}$	4640de	-62.2	8272de	-65.8
F_3N_2		$N_{150}P_{105}K_0$	4318de	-61.1	8353d	-62.7
F_3N_3		$N_0P_0K_0$	3390e	-95.3	7458e	-49.8

2.4 不同覆盖种植方式及施肥对小麦耗水特性及水分利用效率的影响

由表 6 可知, 全膜双垄沟播和半膜覆盖种植玉米水分利用效率明显高于裸地种植, F_1N_1 处理最高; 在相同施肥条件下, 与全膜双垄沟播种植方式相

比, 半膜覆盖和裸地种植玉米水分利用效率分别降低 3.5% ~ 15.1% 和 52.8% ~ 60.2%, 其中 F_2N_1 和 F_3N_1 处理较 F_1N_1 处理分别降低 15.1% 和 60.2%; 在全膜双垄沟播种植方式下, 不同施肥量对玉米水分利用效率表现为 $F_1N_1 > F_1N_2 > F_1N_3$, F_1N_1 比 F_1N_2

和 F_1N_3 处理分别提高 7.3% 和 39.9%。上述结果表明,全膜双垄沟播种植方式能够有效提高玉米水分利用效率, F_1N_1 处理效果更加明显。

表6 玉米水分利用效率和耗水特性

Table 6 Water use efficiency and water consumption of corn

处理 Treatment	覆盖模式 Coverage	耗水组成 Water consumption/mm				水分利用效率 Water use efficiency /($\text{kg} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \text{hm}^{-2}$)
		播前土壤水 Before sowing	收获土壤水 Harvesting	降水 Precipitation	耗水量 water consumption	
F_1N_1	全膜双垄沟播 All-film double-furrow sowing(F_1)	317.5	310.0	432	439.6	27.9a
F_1N_2		312.5	317.5	432	427.0	26.0ab
F_1N_3		315.0	388.1	432	358.9	19.9cd
F_2N_1	半膜覆盖 Semi-film covering(F_2)	292.3	297.4	432	427.0	23.7bc
F_2N_2		289.8	312.5	432	409.3	24.1b
F_2N_3		332.6	423.4	432	341.3	19.2d
F_3N_1	裸地 Exposed land(F_3)	269.6	284.8	432	416.9	11.1e
F_3N_2		254.5	302.4	432	384.1	11.2e
F_3N_3		269.6	342.7	432	358.9	9.4e

3 讨论

半膜覆盖种植(传统地膜覆盖)由于地膜覆盖的增温效果,对玉米的生长有一定的促进作用,但由于该技术地膜对土地覆盖面积小,裸露部分多(占50%),雨水不能有效利用,导致在抗旱、保墒、集雨方面性能减弱,不能充分接纳利用自然降水供作物生长利用,从而影响了地膜玉米的产量,影响和制约着半干旱地区农业生产的进一步发展。

全膜双垄沟播种植是在起垄时形成两个大小弓形垄面,小垄宽 40~50 cm、大垄宽 70~80 cm、垄高 10~15 cm,大小垄中间为播种沟,起垄后全地面地膜覆盖,然后在垄沟内打孔种植且操作简单易行的一项旱作农业栽培技术。其核心是通过垄沟内打孔种植和大小双垄全地面地膜覆盖,可形成全方位的、大面积的集雨面,并通过膜面汇集流入播种沟内,充分接纳降水资源,使降水得到集中高效利用,同时减少了土地裸露部分,最大限度地抑制了土壤水分的蒸发,储蓄了作物生育期间的自然降水,起到了抑蒸减耗、节水抗旱的作用,从而大大提高了雨水集流效果和保墒、增温效果。本研究结果显示,全膜双垄沟播种植方式由于具有显著的增温、集水保墒作用,大大提高了土壤含水量,实施 N、P、K 平衡施肥,肥料增产效果明显,有利于增加玉米产量和水分利用效率。

4 小结

1) 与其它覆盖种植方式相比,全膜双垄沟播种植方式更有利于玉米碳水化合物的合成,增加玉米干物质的积累量,实施 N、P、K 平衡施肥干物质积累量增加效果显著, F_1N_1 处理玉米地上部分干物质积

累量最高。

2) 与全膜双垄沟播种植方式相比,半膜覆盖和裸地种植玉米籽粒产量分别减产 8.5%~17.6% 和 61.1%~95.3%;在全膜双垄沟播种植方式下,N、 P_2O_5 和 K_2O 的用量分别为 225、120、60 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时(F_1N_1 处理),玉米籽粒产量最高,达到 12 273 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,比当地农民习惯施肥(F_1N_2 处理)玉米籽粒产量增加 10.6%。

3) 全膜双垄沟播和半膜覆盖种植方式玉米水分利用效率明显高于裸地;在相同施肥水平下,半膜覆盖和裸地种植较全膜双垄沟播玉米水分利用效率分别降低 3.5%~15.1% 和 52.8%~60.2%;在全膜双垄沟播种植方式下,不同施肥量对玉米水分利用效率表现为 $F_1N_1 > F_1N_2 > F_1N_3$,其中 F_1N_1 较 F_1N_2 (当地农民习惯施肥)玉米水分利用效率提高 7.3%。

参考文献:

- [1] 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,2007,8(23):20-21.
- [2] 贺峰.在甘肃推广玉米全膜双垄沟播栽培技术的必要性分析[J].粮经栽培,2008,(13):12-13.
- [3] 王成刚,水建兵.玉米全膜双垄沟播栽培技术[J].甘肃农业科技,2008,(4):40-41.
- [4] 郑兴文.依靠科技抗旱全面推广玉米全膜双垄沟播栽培技术[J].粮经栽培,2008,(17):13-14.
- [5] 高世铭,杨封科,苏永生,等.陇中黄土丘陵沟壑区生态环境建设与农业可持续发展研究[M].郑州:黄河水利出版社,2003:5-9.
- [6] Dowdle S, Portch S A. Systematic approach for determining soil nutrient constraints and establishing balanced fertilizer recommendations for sustained high yield[C]//Proceedings of the International Symposium on Balanced Fertilization. Beijing, China: CAAS, 1988:243-251.
- [7] 张金文,马静芳,牛俊义,等.地膜覆盖穴播小麦光合和干物质积累特点分析[J].甘肃农业大学学报,1999,(4):42-44.