

DOI:10.11829/j.issn.1001-0629.2017-0401

陈书珍,刘广才,周德录,李城德,王锡平,李耀辉.旱地大豆全膜微垄沟播技术的肥料效应.草业科学,2018,35(6):1480-1488.

Chen S Z, Liu G C, Zhou D L, Li C D, Wang X P, Li Y H. Study on fertilizer effects of techniques of whole-plastic-film mulching on microridges and planting in catchment furrows of arid-land soybeans. Pratacultural Science, 2018, 35(6): 1480-1488.

旱地大豆全膜微垄沟播技术的肥料效应

陈书珍¹, 刘广才², 周德录², 李城德², 王锡平², 李耀辉³

(1. 甘肃省岷县农业技术推广站, 甘肃 岷县 748400; 2. 甘肃省农业技术推广总站, 甘肃 兰州 730020;

3. 甘肃省会宁县农业技术推广中心 甘肃 会宁 730799)

摘要:全膜微垄沟播技术是我国北方旱作大豆(*Glycine max*)的一项抗旱高产栽培新技术,该技术的大面积推广应用对提高大豆产量、确保粮油安全具有极其重要的战略意义。采用多点田间小区试验研究了旱地大豆全膜微垄沟播技术的肥料效益。结果表明,全膜微垄沟播技术能显著提高旱地大豆肥料利用率和肥料利用效率。大豆氮、磷、钾肥料利用率分别达到41.1%、25.0%和23.9%,较露地条播分别提高了7.3、6.7和4.9个百分点;氮、磷、钾肥料利用效率分别达到4.7、11.9和6.8 kg·kg⁻¹,较露地条播分别增加了0.8、3.2和1.3 kg·kg⁻¹,分别增长了20.5%、36.8%和23.6%。全膜微垄沟播技术能增强大豆对土壤养分的吸收利用能力,显著提高氮、磷、钾缺乏区大豆的相对产量,从而降低氮、磷、钾施肥依从度。大豆氮、磷、钾缺乏区相对产量分别达到79.1%、47.3%和88.7%,较露地条播分别增加了4.6、4.3和1.9个百分点;氮、磷、钾施肥依从度分别为20.9%、52.7%和11.3%,较露地条播分别降低了18.0%、7.5%和14.4%。由此可以得出,该技术在旱地大豆肥料高效利用方面取得了重大突破。

关键词:旱地大豆;全膜微垄;沟播;NPK施肥;产量;经济效益

中图分类号:S565.106.2

文献标志码:A

文章编号:1001-0629(2018)06-1480-09*

Study on fertilizer effects of techniques of whole-plastic-film mulching on microridges and planting in catchment furrows of arid-land soybeans

Chen Shu-zhen¹, Liu Guang-cai², Zhou De-lu², Li Cheng-de², Wang Xi-ping², Li Yao-hui³

(1. Minxian Agro-technical Extension Station, Minxian 748400, Gansu, China;

2. Gansu Agro-technical Extension Station, Lanzhou 730020, Gansu, China;

3. Huining Agro-technical Extension Center, Huining 730799, Gansu, China)

Abstract: The techniques of whole-film mulching on microridges and planting in catchment furrows (WFMR) were new cultivation techniques for drought resistance and high yield for arid-land soybeans (*Glycine max*) in north China. Extensive extension of the techniques has important strategic significance to improve soybean yield and ensure food and oil sufficiency in China. Field plot experiments were employed to investigate fertilizer effects for the techniques of whole-plastic-film mulching on microridges and planting in catchment furrows of arid-land soybeans. The results showed that, compared with no-mulching cultivation (CK), the techniques of WFMR could increase fertilizer use rate remarkably, leading to average N, P, and K fertilizer use rates of 41.1%, 25.0%, and 23.9%, respectively, representing an increase by 7.3, 6.7, and 4.9 percentage points compared with CK. The techniques of WFMR could also increase soybean fertilizer use efficiency remarkably leading to average N, P, and K fertilizer use efficiency of 4.7, 11.9, and 6.8 kg·kg⁻¹, respectively, an increase of

* 收稿日期:2017-08-12 接受日期:2017-12-11

基金项目:“旱地大豆全膜覆盖降水高效利用关键技术研究”项目(GNKJ-2013-35)

第一作者:陈书珍(1964-),男,甘肃岷县人,高级农艺师,主要从事农业技术推广工作。E-mail:gsmxcsz@163.com

通讯作者:刘广才(1966-),男,甘肃镇原人,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

20.5%, 36.8%, and 23.6% compared with CK. The techniques of WFMR could improve the absorbing ability of soybeans to soil nutrients and increase the relative yield remarkably in nutritional deficiency zones, thus reducing the fertilization adherence of soybeans. Under the mode of WFMR, the average relative yield reached 79.1%, 47.3%, and 88.7% for N, P, and K fertilizer, respectively, being 4.6%, 4.3%, and 1.9% higher compared with CK. Under the treatment of WFMR, the average adherence degree was 20.9%, 52.7%, and 11.3%, respectively, for N, P, and K fertilizer decreased of 18.0%, 7.5%, and 14.4%, respectively, compared with CK. Therefore, it made a key breakthrough for highly efficient fertilizer use techniques in arid-land soybean.

Key words: arid-land soybean; whole-plastic-film mulching on microridges; planting in catchment furrows; N, P, K fertilization; yield; economic effect

Corresponding author: Liu Guang-cai E-mail: lgc633@163.com

大豆(*Glycine max*)通称黄豆,起源于中国,中国各地均有栽培,亦广泛栽培于世界各地^[1]。美国、巴西、阿根廷、中国、印度是世界上大豆主产国^[1]。大豆是世界上优质饲草饲料作物、高蛋白作物、油料作物、食品加工原料以及工业原料的重要来源^[1-2]。大豆蛋白质含量一般为40%,高者达50%;大豆含油量一般20%,高者达24%,大豆为世界提供了30%的脂肪和60%的植物蛋白质^[1]。世界80%以上大豆用于榨油,榨油后的大豆饼粕含有50%左右的蛋白质,是优质的饲料来源^[1-2]。大豆脱粒后的秸秆和荚壳也含有较高的蛋白质和矿物质,是很好的饲草来源,其营养成分高于麦秸、稻草、谷糠等粗饲料^[3-6]。同时,大豆亦是重要的轮作^[7]、间作^[8]作物,其对培肥地力、提高间作作物水分、养分利用效率具有重要的生态经济效益。

目前,我国大豆面临着面积减少、总产不足、单产低、种豆效益低、豆农种豆积极性严重受挫的现状^[9-10],全国大豆面积600万hm²,总产1200万t,而进口大豆突破8000万t,自给率不足13%。而大豆面积减少、总产不足的直接原因在于品种退化、耕作管理粗放、栽培技术落后,特别是旱地大豆面积比重大(约占总面积的70%)、土壤水分利用率和肥料利用率低,导致产量低而不稳^[9-10]。大豆是关系国计民生的基础性、战略性物资,又是最具经济效益的作物,其延长的产业链和价值链在农产品贸易领域扮演着举足轻重的角色。稳定面积、提高单产、增加总产是我国大豆产业发展的迫切需要。在耕地资源日趋紧张的情况下,振兴我国大豆产业,提高大豆生产能力依靠增加面积是不现实的,必须改进栽培技术水平,提高土壤水分利用率和肥料利用率,增加单产,从而实现大豆增产。旱地大豆面积大、单产低,但增产潜力巨大,以往关于旱地大豆的研究主要集中在露地栽培和半膜覆盖栽培上,而缺乏对旱地大豆全膜覆盖下的集雨保墒和肥料高效利用研究。“全膜微垄沟播技术”是由甘肃省农业技术

推广总站在多年研究的基础上提出的一项旱作大豆等中等密植作物抗旱高产栽培新技术^[11],其技术要点是地表微垄集雨、全地面地膜覆盖保墒、沟播雨水富集叠加利用^[11],能够实现旱地大豆农田降水和土壤养分的高效利用和大幅度增产。本研究于2013—2015年连续3年开展田间试验研究,以期揭示旱地大豆全膜微垄沟播技术增产的肥料效应。

1 材料与方法

1.1 试验区概况及供试土壤

试验于2013—2015年在甘肃旱作农业区的会宁县中川乡、镇原县孟坝镇、岷县马坞乡(年平均降水量分别为350、450和550mm)进行,分别代表半干旱偏旱、半干旱、半湿润偏旱3个降水区域。试验区域海拔1420—1982m,无霜期112~175d,年平均气温6.1~9.2℃,日照时数2580~3325h,≥10℃的有效积温为2150~3207℃·d,年降水量352~554mm。土壤类型为黑垆土、黄绵土,土地类型为旱川地、旱塬条田、梯田,前茬作物为玉米(*Zea mays*)、马铃薯(*Solanum tuberosum*),耕层土壤有机质10.5~15.8g·kg⁻¹、全氮0.67~0.98g·kg⁻¹、碱解氮38.1~45.6mg·kg⁻¹、速效磷14.6~19.9mg·kg⁻¹、速效钾129.5~150.1mg·kg⁻¹。

1.2 试验设计

采用栽培模式与施肥水平二因素随机区组设计,设两种栽培模式:露地条播(M₁)、全膜微垄沟播(M₂),5个施肥水平:N₀P₀K₀、N₀P₁K₁、N₁P₀K₁、N₁P₁K₀、N₁P₁K₁,N₀、P₀、K₀分别表示不施氮、磷、钾肥,N₁、P₁、K₁分别表示按标准用量施用氮、磷、钾肥(即:3个试验点N₁分别为90、120、150kg·hm⁻²,P₁分别为90、120、150kg·hm⁻²,K₁分别为30、45、60kg·hm⁻²),共10个处理(表1)。小区面积6m×4.5m,3次重复,随机区组排列。

表 1 大豆肥料效应试验处理

Table 1 Treatments of fertilizer effect applied to soybean cultivation

处理号 Treatment	栽培模式 Cultivation mode	施肥水平 Fertilizing level/(kg·hm ⁻²)		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
I	全膜微垄沟播 Whole mulching on micro-ridges	0	0	0
II	全膜微垄沟播 Whole mulching on micro-ridges	0	90~150	30~60
III	全膜微垄沟播 Whole mulching on micro-ridges	90~150	0	30~60
IV	全膜微垄沟播 Whole mulching on micro-ridges	90~150	90~150	0
V	全膜微垄沟播 Whole mulching on micro-ridges	90~150	90~150	30~60
VI	露地条播 No mulching cultivation	0	0	0
VII	露地条播 No mulching cultivation	0	90~150	30~60
VIII	露地条播 No mulching cultivation	90~150	0	30~60
IX	露地条播 No mulching cultivation	90~150	90~150	0
X	露地条播 No mulching cultivation	90~150	90~150	30~60

全膜微垄沟播:顶凌覆膜,采用起垄机全田等距离起垄,垄宽 50 cm、垄高 5~10 cm,用厚度 0.01 mm、宽 120 cm 的农用地膜全地面覆膜,膜与膜相接处在垄面中间位置。人工点播器播种,行距 50 cm,株距 15~18 cm,每穴播种 2 粒,播种深度为 3~4 cm,密度 11.1 万~13.3 万穴·hm⁻²,保苗 16.7 万~20.0 万株·hm⁻²。露地条播(CK):采用人工点播器等行距种植,行距 50 cm,株距 15~18 cm,其他播种规格同全膜微垄沟播,保苗 16.7 万~20.0 万株·hm⁻²。供试大豆品种为中黄 35。露地条播、全膜微垄沟播大豆均于 5 月 5 日至 10 日播种,9 月 20—30 日收获。肥料品种为过磷酸钙、尿素、磷酸二铵、氯化钾及硫酸钾。全部肥料按小区称量于播前混合均匀撒在地表,一次深耕翻入做底肥。

1.3 测定项目及数据分析

1.3.1 肥料利用率与缺肥区相对产量计算公式

肥料利用率=(完肥区养分吸收量-缺素区养分吸收量)/肥料施用量×100%=[(完肥区产量-缺素区产量)/100×100 kg 产量吸收养分量]/肥料施用量×100%。

每生产 100 kg 大豆籽粒及其相应的茎、叶、荚壳等,从土壤中需要吸收的 N、P₂O₅、K₂O 量按 8.71、2.10、3.49 kg^[12] 计算。缺素区相对产量=缺素区产量/完肥区产量×100%。

施肥依从度=100%-缺素区相对产量。

1.3.2 肥料利用效率计算公式

肥料利用效率=(完肥区产量-缺素区产量)/施肥量。

1.3.3 产投比计算公式

产投比=产出/投入=(籽粒产量×籽粒价格+秸

秆产量×秸秆价格)/(种子成本+化肥成本+农膜成本+农药成本+物化劳动费用)。

1.3.4 测产及考种 按小区单收单打,测定生物产量和籽粒产量,每小区取 5 株考种。

1.3.5 数据处理与分析 采用 Excel 2007 软件处理基础数据,利用 SPSS 17.0 软件进行双因子方差分析。

2 结果与分析

2.1 全膜微垄沟播大豆的氮、磷、钾肥料利用率

全膜微垄沟播大豆氮肥利用率为 38.0%~43.9%,平均为 41.1%,较露地条播平均提高了 7.3 个百分点,增长了 21.6%;大豆磷肥利用率为 23.1%~26.8%,平均为 25.0%,较露地条播平均提高了 6.7 个百分点,增长了 36.6%;大豆钾肥利用率为 21.7%~25.7%,平均为 23.9%,较露地条播平均提高了 4.9 个百分点,增长了 25.7%(表 2)。较露地条播,全膜微垄沟播模式能显著提高大豆氮、磷、钾肥料利用率($P<0.05$),特别是在 3 种肥料中磷肥利用率增幅最高。

从降水区域看,降水量越少,全膜微垄沟播大豆氮、磷、钾肥料利用率越高。3 个试验区年降水量由高到低降低约 200 mm,大豆氮肥利用率平均增加了 5.9 个百分点、磷肥利用率增加 3.7 个百分点、钾肥利用率增加了 4.0 个百分点。表明降水量越少,全膜微垄沟播技术的水肥耦合效应越强,使大豆对土壤养分吸收效果更显著,肥料利用率更高。

2.2 全膜微垄沟播大豆的氮、磷、钾肥料利用效率

全膜微垄沟播大豆氮肥利用效率为 4.4~5.0 kg·kg⁻¹,平均为 4.7 kg·kg⁻¹,较露地条播增加 0.8 kg·kg⁻¹,增长了 20.5%;大豆磷肥利用效率为 11.0~12.8 kg·kg⁻¹,平均为 11.9 kg·kg⁻¹,较露地条播增

表 2 大豆肥料利用率与肥料利用效率
Table 2 Fertilizer use rate and use efficiency of soybean

试验点 Experiment location	栽培模式 Planting mode	施肥量 Rate of fertilizer application/ (kg · hm ⁻²)			肥料利用率 Fertilizer use rate/%			肥料利用效率 Fertilizer use efficiency/(kg · kg ⁻¹)		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P	K	N	P	K
会宁中川 Zhongchuan, Huining County	全膜微垄沟播 Whole mulching on micro-ridges	90.0	90.0	30.0	43.9a	26.8a	25.7a	5.0a	12.8a	7.4a
	露地条播 No mulching cultivation	90.0	90.0	30.0	35.1b	20.1b	21.3b	4.0b	9.6b	6.1b
镇原孟坝 Mengba, Zhenyuan County	全膜微垄沟播 Whole mulching on micro-ridges	120.0	120.0	45.0	41.4a	25.1a	24.2a	4.7a	12.0a	6.9a
	露地条播 No mulching cultivation	120.0	120.0	45.0	34.2b	18.1b	18.7b	3.9b	8.6b	5.4b
岷县马坞 Mawu Minxian County	全膜微垄沟播 Whole mulching on micro-ridges	150.0	150.0	60.0	38.0a	23.1a	21.7a	4.4a	11.0a	6.2a
	露地条播 No mulching cultivation	150.0	150.0	60.0	32.2b	16.8b	17.1b	3.7b	8.0b	4.9b
平均 Average	全膜微垄沟播 Whole mulching on micro-ridges	120.0	120.0	45.0	41.1a	25.0a	23.9a	4.7a	11.9a	6.8a
	露地条播 No mulching cultivation	120.0	120.0	45.0	33.8b	18.3b	19.0b	3.9b	8.7b	5.5b

表中数据为 2013—2015 年的平均值,下表同;表中同列数字后不同字母表示在相同地点不同处理间差异显著($P<0.05$),下表同。
The data are means of every treatment in 2013—2015; Different lowercase letters in the same site indicate significant difference among different treatments at the 0.05 level, similarly for the following tables.

加 3.2 kg · kg⁻¹,增长了 36.8%;大豆钾肥利用效率为 6.2~7.4 kg · kg⁻¹,平均为 6.8 kg · kg⁻¹,较露地条播增加 1.3 kg · kg⁻¹,增长的 23.6%(表 2)。

不同降水区域降水量越少,全膜微垄沟播大豆氮、磷、钾肥料利用效率越高。3 个试验区年降水量由高到低降低约 200 mm,大豆氮肥利用效率增加 0.6 kg · kg⁻¹、磷肥利用效率增加 1.8 kg · kg⁻¹、钾肥利用效率增加 1.2 kg · kg⁻¹。说明降水量较少情况下,水肥耦合效应促进大豆对土壤养分吸收效果更显著,氮、磷、钾肥料利用效率提高。

2.3 全膜微垄沟播大豆的产量

不论是完肥区还是缺素区,全膜微垄沟播大豆产量均显著地高于露地条播。3 个降水区域产量平均结果,完全施肥区、缺氮区、缺磷区、缺钾区分别高出露地条播 867.1、771.0、555.4、804.0 kg · hm⁻²,分别增产了 47.9%、57.1%、75.0%、51.1%(表 3)。

2.4 全膜微垄沟播大豆缺素区相对产量

全膜微垄沟播大豆缺氮区相对产量为 78.2%~80.3%,平均为 79.1%,较露地条播增加 4.6 个百分

点,增长了 6.2%;缺磷区相对产量为 45.0%~50.1%,平均为 47.3%,较露地条播增加 4.3 个百分点,增长了 10.0%;缺钾区相对产量为 87.6%~90.4%,平均为 88.7%,较露地条播增加 1.9 个百分点,增长了 2.2%(表 3)。全膜微垄沟播模式大豆氮、磷、钾缺素区相对产量明显高于露地条播大豆。

不同降水区域氮、磷、钾缺素区相对产量均表现为全膜微垄沟播大豆>露地条播大豆。另外,无论全膜微垄沟播大豆,还是露地条播大豆,均表现为缺钾区相对产量>缺氮区相对产量>缺磷区相对产量(缺钾区相对产量超过 85%,缺氮区相对产量超过 70%)。这表明,磷养分是限制大豆生产的最主要因子。

2.5 全膜微垄沟播大豆施肥依从度

全膜微垄沟播大豆氮肥依从度为 19.7%~21.8%,平均为 20.9%,较露地条播平均减少 4.6 个百分点,降低了 18.0%;磷肥依从度为 49.9%~55.0%,平均为 52.7%,较露地条播平均减少 4.3 个百分点,降低了 7.5%;钾肥依从度为 9.6%~12.4%,平均为 11.3%,较露地条播平均减少 1.9 个百分点,降低了

表 3 大豆缺素区相对产量及施肥依从度分析

Table 3 Analysis of relative yield and fertilization adherence of soybean on nutrient deficient plots

试验点 Experiment location	栽培模式 Planting mode	籽粒产量 Grain yield/(kg·hm ⁻²)				相对产量 Relative yield/%			施肥依从度 Fertilization adherence/%		
		N ₁ P ₁ K ₁	N ₀ P ₁ K ₁	N ₁ P ₀ K ₁	N ₁ P ₁ K ₀	N ₀ P ₁ K ₁	N ₁ P ₀ K ₁	N ₁ P ₁ K ₀	N	P	K
会宁中川 Zhongchuan, Huining County	全膜微垄沟播 Whole mulching on micro-ridges	2 301.1b	1 848.0a	1 119.0a	2 079.9a	80.3a	50.1a	90.4a	19.7b	49.9b	9.6b
	露地条播 No mulching cultivation	1 570.5b	1 207.5b	637.5b	1 387.7b	76.9b	45.2b	88.4b	23.1a	54.8a	11.6a
镇原孟坝 Mengba, Zhenyuan County	全膜微垄沟播 Whole mulching on micro-ridges	2 730.1a	2 160.3a	1 325.6a	2 417.4a	79.1a	47.5a	88.5a	20.9b	52.5b	11.5b
	露地条播 No mulching cultivation	1 822.6b	1 351.8b	727.5b	1 581.2b	74.2b	43.2b	86.8a	25.8a	56.8a	13.2a
岷县马坞 Mawu Minxian County	全膜微垄沟播 Whole mulching on micro-ridges	3 006.0a	2 352.0a	1 443.0a	2 632.5a	78.2a	45.0a	87.6a	21.8b	55.0a	12.4b
	露地条播 No mulching cultivation	2 043.0b	1 488.0b	856.5b	1 749.0b	72.8a	41.2b	85.6a	27.2a	58.8a	14.4a
平均 Average	全膜微垄沟播 Whole mulching on micro-ridges	2 679.1a	2 120.1a	1 295.9a	2 376.6a	79.1a	47.3a	88.7a	20.9b	52.7b	11.3b
	露地条播 No mulching cultivation	1 812.0b	1 349.1b	740.5b	1 572.6b	74.5b	43.0b	86.8a	25.5a	57.0a	13.2a

14.4%(表 3)。表明,全膜微垄沟播大豆氮、磷、钾施肥依从度明显低于露地条播。

不同降水区域氮、磷、钾施肥依从度均表现为全膜微垄沟播大豆<露地条播大豆;同一栽培模式则表现为:钾肥依从度<氮肥依从度<磷肥依从度。可见,大豆对磷肥的依赖程度最高,氮肥次之,生产上应把重施磷肥作为提高旱地大豆产量的重要措施。

2.6 全膜微垄沟播大豆的经济效益

按照 2017 年初价格,对全膜微垄沟播、露地条播全肥处理(N₁P₁K₁)大豆进行经济效益分析得出(表 4),3 个降水区域全膜微垄沟播大豆产值平均为 18 003.3元·hm⁻²,较露地条播大豆产值平均增加 5 826.4元·hm⁻²;投入平均为 7 661.7 元·hm⁻²,较露地条播大豆平均新增生产费用 870.0 元·hm⁻²,纯收入平均为 10 341.6 元·hm⁻²,较露地条播大豆平均增加 4 956.5 元·hm⁻²;产投比平均为 2.35,较露地条

播大豆增加 0.56。进一步分析得出,全膜微垄沟播大豆新增产投比(新增产出/新增投入)平均为 6.7。这表明,与露地条播技术相比,全膜微垄沟播大豆经济效益明显,而露地条播大豆经济效益较低。

3 讨论

大豆根瘤有共生固氮作用,根瘤菌能够将空气中的分子态氮经固氮酶作用转化为铵态氮供大豆生长^[13]。大豆的氮素营养主要有 3 个来源,即根瘤菌所固定的氮、土壤中的氮素和施入的氮肥^[13]。研究认为,每 667 m² 大豆根瘤能从空气中固定 3~12 kg 的氮素,平均可固氮 8 kg 左右,相当于施用 18 kg 尿素,其中有 2/3 左右被大豆当季利用,剩余养分可有效供给间作、后茬轮作作物^[13]。研究还认为,根瘤菌固定供给大豆的氮素占大豆需氮总量的 50%~60%。这就决定了大豆氮素养分来源、施氮量、氮肥效应不同于其他作物^[14]。

表 4 不同区域不同栽培模式大豆经济效益

Table 4 Economic benefits of soybean under different planting modes in different experiment spots

试验点 Experiment location	栽培模式 Planting mode	籽粒产量 Grain yield/ (kg · hm ⁻²)	秸秆产量 Straw yield/ (kg · hm ⁻²)	产值 Output value/ (CNY · hm ⁻²)
会宁中川 Zhongchuan, Huining County	全膜微垄沟播 Whole mulching on micro-ridges	2 301.1±112.6	2 761.3±203.9	15 463.4±1 325.7
	露地条播 No mulching cultivation	1 570.5±135.2	1 884.6±136.7	10 553.8±1 125.1
镇原孟坝 Mengba, Zhenyuan County	全膜微垄沟播 Whole mulching on micro-ridges	2 730.1±126.7	3 276.1±287.3	18 346.3±1 563.5
	露地条播 No mulching cultivation	1 822.6±202.3	2 187.1±152.1	12 247.9±1 024.3
岷县马坞 Mawu Minxian County	全膜微垄沟播 Whole mulching on micro-ridges	3 006.0±336.8	3 607.2±256.8	20 200.3±1 293.2
	露地条播 No mulching cultivation	2 043.0±125.5	2 451.6±176.2	13 729.0±1 054.8
平均 Average	全膜微垄沟播 Whole mulching on micro-ridges	2 679.1±199.2	3 214.9±285.6	18 003.3±1 652.2
	露地条播 No mulching cultivation	1 812.0±154.2	2 174.4±134.1	12 176.9±754.6

试验点 Experiment location	栽培模式 Planting mode	投入 Input/ (CNY · hm ⁻²)	纯收入 Net income/ (CNY · hm ⁻²)	产投比 Ratio of output to input
会宁中川 Zhongchuan, Huining County	全膜微垄沟播 Whole mulching on micro-ridges	7 661.7±521.8	7 801.7±692.1	2.02±0.15
	露地条播 No mulching cultivation	6 791.7±326.7	3 762.1±263.4	1.55±0.16
镇原孟坝 Mengba, Zhenyuan County	全膜微垄沟播 Whole mulching on micro-ridges	7 661.7±452.6	10 684.6±968.4	2.39±0.11
	露地条播 No mulching cultivation	6 791.7±448.2	5 456.2±332.5	1.80±0.13
岷县马坞 Mawu Minxian County	全膜微垄沟播 Whole mulching on micro-ridges	7 661.7±463.2	12 538.6±886.2	2.64±0.22
	露地条播 No mulching cultivation	6 791.7±556.2	6 937.3±446.5	2.02±0.13
平均 Average	全膜微垄沟播 Whole mulching on micro-ridges	7 661.7±432.5	10 341.6±820.6	2.35±0.18
	露地条播 No mulching cultivation	6 791.7±500.3	5 385.2±405.9	1.79±0.16

大豆籽粒 6.0 元 · kg⁻¹, 秸秆 0.60 元 · kg⁻¹, 地膜 13.33 元 · kg⁻¹, 纯氮 4.51 元 · kg⁻¹, 五氧化二磷 6.25 元 · kg⁻¹, 大豆种子 7.0 元 · kg⁻¹, 农药 20.00 元 · kg⁻¹, 人工费 60.0 元 · 天⁻¹。

Soybean grain 6.0 CNY · kg⁻¹, stalk 0.60 CNY · kg⁻¹, plastic film 13.33 CNY · kg⁻¹, pure N 4.51 CNY · kg⁻¹, pure P₂O₅ 6.25 CNY · kg⁻¹, soybean seeds 7.0 CNY · kg⁻¹, pesticide 20.00 CNY · kg⁻¹, labor cost 60.0 CNY · d⁻¹.

关于大豆肥料效应已有大量研究,以往的研究主要集中在露地栽培。马庶晗^[15]采用“3414”最优回归设计研究了大豆氮磷钾肥最佳施用量,结果得出,大豆最适宜的氮、磷、钾施用量分别为 N 46.41 kg · hm⁻²、P₂O₅ 58.42 kg · hm⁻²、K₂O 66.66 kg · hm⁻², N : P₂O₅ : K₂O = 1 : 1.26 : 1.44, 最佳经济产量为 4 129.45 kg · hm⁻²。孙广林等^[16]采用大量田间肥料回归试验研究得出,当大豆氮素施用量为 30~90 kg · hm⁻²时,利用率为 54.1%~30.4%;当大豆磷素

施用量为 45~135 kg · hm⁻²时,利用率为 20.0%~12.0%;当大豆钾素施用量为 45~135 kg · hm⁻²时,利用率为 53.0%~32.0%,表明大豆氮、磷、钾肥料利用率均随施肥水平的提高而明显降低。杨勇和张春芝^[17]采用“3414”肥料效应试验研究得出,大豆经济最佳施肥量为 N 93.0 kg · hm⁻²、P₂O₅ 147.0 kg · hm⁻²、K₂O 99.0 kg · hm⁻², N : P₂O₅ : K₂O = 1 : 1.58 : 1.06。邵彦宾等^[18]采用“3414”最优回归设计研究得出,大豆最适宜的氮、磷、钾施用量分别为 N

55.8、 P_2O_5 68.08 和 K_2O 34.65 $kg \cdot hm^{-2}$, $N : P_2O_5 : K_2O = 1 : 1.22 : 0.62$ 。可见,不同区域不同栽培方式大豆的最适宜施肥量、氮磷钾配比差异是比较明显的,肥料利用率和利用效率等土壤肥料效应也差异较大。近年来,由于北方干旱范围扩大、干旱程度加重,大豆地膜覆盖栽培技术特别是全膜覆盖技术研究和应用不断兴起,全膜覆盖模式在不断改进和完善。范荣等^[19]采用“3414”回归设计研究了旱地全膜覆土穴播大豆肥料效应,结果得出,大豆最适宜的氮、磷、钾施用量分别为 N 98.7、 P_2O_5 99.71 和 K_2O 82.05 $kg \cdot hm^{-2}$, $N : P_2O_5 : K_2O = 1 : 0.99 : 0.83$,最佳经济产量为 2 652.0 $kg \cdot hm^{-2}$ 。任亮和任稳江^[20]采用“3414”回归设计开展了旱地全膜覆土平作穴播大豆田间肥效试验,结果表明,大豆最适宜的氮、磷、钾施用量分别为 N 67.05、 P_2O_5 37.8 和 K_2O 28.65 $kg \cdot hm^{-2}$, $N : P_2O_5 : K_2O = 1 : 0.56 : 0.43$,经济最佳产量为 1 843.5 $kg \cdot hm^{-2}$ 。陈其鲜^[21]在甘肃陇东旱作区通过氮、磷、钾不同配比试验结果得出,大豆全膜双垄沟播最适宜的氮、磷、钾施用量为每 667 m^2 施 N 4.6、 P_2O_5 4.2 和 K_2O 2.5 kg , $N : P_2O_5 : K_2O = 1 : 0.91 : 0.54$ 。但实践中发现,“全膜双垄沟播”和“全膜覆土穴播”两种全膜覆盖模式都有其优点和缺点,“全膜双垄沟播”技术采用大小双垄集雨、沟播种植,优点是双垄面集雨效果好、宽窄行种植通风透光、采光条件好,适宜玉米等稀植作物^[22-24];缺点是大垄太宽,密度小,不适宜密植作物。“全膜覆土穴播技术”优点是地膜平铺有利于密植,适宜小麦等密植作物^[25-26];缺点是集雨保墒效果较差,在稀植作物上应用较少。

全膜微垄沟播技术集雨保墒效果好、通风透光,又利于增加密度,适宜大豆、谷子、蔬菜等中等密植作物^[11]。关于大豆“全膜微垄沟播技术”的增产效果已有研究报道^[27-29]。史志峰等^[27]研究了覆膜方式对陇东旱地大豆的影响,结果表明,全膜微垄沟播栽培产量达到 3 364.7 $kg \cdot hm^{-2}$,较露地条播增产 47.5%;全膜双垄沟播、全膜覆土穴播、全膜平铺穴播产量分别为 3 323.0、3 208.4 和 3 010.5 $kg \cdot hm^{-2}$,较露地条播分别增产 45.7%、40.6%和32.0%。王闯等^[28]研究大豆全膜覆盖覆膜模式的产量效应,结果得出,全膜微垄沟播、全膜双垄沟播、全膜覆土穴播大豆产量分别为 167.7、165.7 和 154.3 $kg \cdot 667 m^{-2}$,分别较露地条播

增产 39.2%、38.1%和 28.6%。邓晓奋^[29]开展旱地大豆不同起垄覆膜方式试验研究,结果表明,全膜微垄沟播栽培方式保墒效果最好,产量达到 3 096.9 $kg \cdot hm^{-2}$,较露地条播增产 27.4%;全膜双垄沟播产量为 3 028.1 $kg \cdot hm^{-2}$,较露地条播增产24.5%。这些研究说明大豆全膜微垄沟播较全膜双垄沟播、全膜覆土穴播具有明显的增产效果。但到目前为止,关于大豆全膜微垄沟播技术的增产机理特别是肥料效应仍未见研究报道。本研究在 3 个不同降水区域连续 3 年试验得出,旱地全膜微垄沟播大豆氮、磷、钾肥料利用率较露地条播分别提高 7.3、6.7、4.9 个百分点,氮、磷、钾肥料利用效率较露地条播分别增长了 20.5%、36.8%、23.6%,氮、磷、钾施肥依从度较露地条播分别降低了 18.0%、7.5%、14.4%。该技术能够大幅度提高大豆肥料利用率和利用效率,实现旱地大豆肥料的高效利用。

4 结 论

1)全膜微垄沟播技术具有垄面集流、覆盖保墒和显著的增温功能,能有效促进大豆生长发育,显著提高旱地大豆氮、磷、钾肥料利用率。大豆氮、磷、钾肥料利用率分别达到 41.1%、25.0%和 23.9%,较露地条播分别提高 7.3、6.7 和 4.9 个百分点。2)全膜微垄沟播技术大豆单位施肥量的增产量大幅度增加,能显著提高旱地大豆肥料利用效率。全膜微垄沟播大豆氮、磷、钾肥料利用效率分别达到 4.7、11.9 和 6.8 $kg \cdot kg^{-1}$,较露地条播分别增长了 20.5%、36.8%和 23.6%。3)全膜微垄沟播技术能促进大豆对土壤养分的吸收利用,显著提高氮、磷、钾缺素区大豆的相对产量。大豆氮、磷、钾缺素区相对产量分别达到 79.1%、47.3%和 88.7%,较露地条播分别增加 4.6、4.3 和 1.9 个百分点。4)全膜微垄沟播技术水肥互促效应促进了大豆养分的吸收利用,从而降低了氮、磷、钾施肥依从度。全膜微垄沟播大豆氮、磷、钾施肥依从度分别为 20.9%、52.7%和 11.3%,较露地条播分别降低了 18.0%、7.5%和 14.4%。5)全膜微垄沟播技术能使旱地大豆大幅度增产,显著提高大豆的经济效益。全膜微垄沟播大豆产值、纯收益分别较露地条播增加 5 826.4、4 956.4 元 $\cdot hm^{-2}$,产投比达到 2.35 元 $\cdot 元^{-1}$,经济效益显著。

参考文献 References:

[1] 于振文.作物栽培学各论.北京:中国农业出版社,2003:264-291.

- Yu Z W. The Theory of Crop Cultivation. Beijing: China Agriculture Press, 2003: 264-291. (in Chinese)
- [2] 谢雄泽, 藕冉, 姜妍, 王绍东, 王浩. 世界大豆需求与生产动向分析: PS & D Online 50 年统计数据. 大豆科技, 2015(2): 30-37.
Xie X Z, Ou R, Jiang Y, Wang S D, Wang H. A trends analysis of the demand and production of soybean in the world: Based on the statistical data from 50-year PS & D online. Soybean Science & Technology, 2015(2): 30-37. (in Chinese)
- [3] 赵云, 谢开云, 万江春, 张英俊. 粮草兼顾型畜牧业饲草料发展现状及展望. 草业科学, 2017, 34(3): 653-660.
Zhao Y, Xie K Y, Wan J C, Zhang Y J. Development and prospects of 'grain-forage supply' in modern animal husbandry. Pratacultural Science, 2017, 34(3): 653-660. (in Chinese)
- [4] 卢焕玉, 李杰. 大豆秸秆作为粗饲料的营养价值评定. 中国畜牧杂志, 2010, 46(3): 36-37.
Lu H Y, Li J. Evaluation of nutritional value of soybean straw as roughage. Chinese Journal of Animal Science, 2010, 46(3): 36-37. (in Chinese)
- [5] 贾存辉, 钱文熙, 吐尔逊阿依·赛买提, 敖维平, 古力皮叶木·阿布都克然木. 粗饲料营养价值指数及评定方法. 草业科学, 2017, 34(2): 415-427.
Jia C H, Qian W X, Tursunay · Samat, Ao W P, Gulpiya · Abdukirem. Roughage nutritional value evaluation indices and research methods. Pratacultural Science, 2017, 34(2): 415-427. (in Chinese)
- [6] 卢道宽, 孙娟, 翟桂玉, 姜慧新. 野生大豆与栽培大豆杂交后代秸秆营养成分研究. 草业科学, 2012, 29(6): 950-954.
Lu D K, Sun J, Zhai G Y, Jiang H X. Nutritive value comparison among straw from different generations of hybrid offspring. Pratacultural Science, 2012, 29(6): 950-954. (in Chinese)
- [7] 周少平, 谭广洋, 沈禹颖, 南志标, 高崇岳, 杨晶. 保护性耕作下陇东春玉米—冬小麦—夏大豆轮作系统土壤水分动态及水分利用效率. 草业科学, 2008, 25(7): 69-76.
Zhou S P, Tan G Y, Shen Y Y, Nan Z B, Gao C Y, Yang J. Dynamics of soil water and water use efficiency within maize—winter wheat—soybean rotation under different tillage treatments in the Longdong Loess Plateau. Pratacultural Science, 2008, 25(7): 69-76. (in Chinese)
- [8] 何世伟, 毛玉林, 武得礼, 朱祥清. 大豆、豌豆间作种植模式的生态经济效益研究. 草业科学, 2000, 17(3): 23-27.
He S W, Mao Y L, Wu D L, Zhu X Q. Eco-economic efficiency of soybean-pea intercropping system. Pratacultural Science, 2000, 17(3): 23-27. (in Chinese)
- [9] 张振华, 刘志民. 我国大豆供需现状与未来十年预测分析. 大豆科技, 2009(4): 16-21.
Zhang Z H, Liu Z M. Supply and demand situation of soybean in China and forecast analysis in the next ten years. Soybean Science & Technology, 2009(4): 16-21. (in Chinese)
- [10] 周德录, 李城德. 发展甘肃大豆产业的思考与建议. 甘肃农业, 2014(15): 4-6.
Zhou D L, Li C D. Thoughts and suggestions on the development of soybean industry in Gansu. Gansu Agriculture, 2014(15): 4-6. (in Chinese)
- [11] 刘广才, 马彦, 刘生学, 张小红. 旱地大豆全膜微垄沟播栽培技术规程. 甘肃农业科技, 2014(7): 56-57.
Liu G C, Ma Y, Liu S X, Zhang X H. Cultivation techniques of whole film mulching on micro-ridges and planting in catchment furrows of dryland soybean. Gansu Agricultural Science and Technology, 2014(7): 56-57. (in Chinese)
- [12] 董钻. 大豆产量生理. 北京: 中国农业出版社, 2012: 73-74.
Dong Z. Yield Physiology of Soybean. Beijing: China Agriculture Press, 2012: 73-74. (in Chinese)
- [13] 吕显龙, 付青山. 大豆营养需求特点与施肥. 黑龙江科技信息, 2010(10): 121.
Lyu X L, Fu Q S. Nutrient requirement characteristics and fertilization of soybean. Heilongjiang Science and Technology Information, 2010(10): 121. (in Chinese)
- [14] 王强. 大豆高效施肥技术研究进展综述. 农家科技, 2011(3): 30.
Wang Q. Research progress of soybean efficient fertilization technology. Farm Science and Technology, 2011(3): 30. (in Chinese)
- [15] 马庶晗. 大豆氮、磷、钾肥最佳施用量研究. 河北农业科学, 2009, 13(10): 47-49.
Ma S H. Study on optimum application amount of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizer in soybean. Journal of Hebei Agricultural Sciences, 2009, 13(10): 47-49. (in Chinese)
- [16] 孙广林, 夏永胜, 张中原. 关于大豆配方施肥的研究与应用. 土壤通报, 2007, 38(3): 527-530.
Sun G L, Xia Y S, Zhang Z Y. Study and application of formula fertilization on soybean. Chinese Journal of Soil Science, 2007, 38(3): 527-530. (in Chinese)

- [17] 杨勇,张春芝.大豆“3414”肥料效应试验研究.现代农业科技,2010(5):33.
Yang Y,Zhang C Z.Experimental study on “3414” fertilizer effect of soybean.Modern Agricultural Sciences and Technology, 2010(5):33.(in Chinese)
- [18] 邵彦宾,刘美娜,朱红伟.大豆测土配方施肥肥料效应研究.现代农业科技,2008(23):185-186.
Shao Y B,Liu M N,Zhu H W.Study on fertilizer effect of soil testing and formulated fertilization in Soybean.Modern Agricultural Sciences and Technology,2008(23):185-186.(in Chinese)
- [19] 范荣,杜霄,白宏鹏.旱地大豆全膜覆土穴播最佳施肥量试验总结.农业科技与信息,2012(15):6-7.
Fan R,Du X,Bai H P.Experimental summary of optimum fertilizer amount on the techniques of whole plastic-film mulching combined with soil overlying and bunch planting of dryland soybean.Agricultural Science and Technology and Information, 2012(15):6-7.(in Chinese)
- [20] 任亮,任稳江.旱地全膜覆土平作穴播大豆配方施肥试验研究.现代农业科技,2013(4):36,40.
Ren L,Ren W J.Experimental study on formula fertilization for dryland soybean planting in all membrane covering soil flat. Modern Agricultural Sciences and Technology,2013(4):36,40.(in Chinese)
- [21] 陈其鲜.大豆全膜双垄沟播关键技术及其保水增温效应研究.北京:中国农业科学院硕士学位论文,2013.
Chen Q X.Research on soybean whole plastic-film mulching on double ridges and planting in catchment furrows technique and water retention and warming effect.Master Thesis,Beijing:Chinese Academy of Agricultural Sciences,2013.(in Chinese)
- [22] 李来祥,刘广才,杨祁峰,赵小文,朱永永.甘肃省旱地全膜双垄沟播技术研究与应用进展.干旱地区农业研究,2009,27(1): 114-118.
Li L X,Liu G C,Yang Q Y,Zhao X W,Zhu Y Y.Research and application development for the techniques of whole plastic-film mulching on double ridges and planting in catchment furrows of dry land.Agricultural Research in the Arid Areas,2009, 27(1):114-118.(in Chinese)
- [23] 刘广才,杨祁峰,李来祥,段襄全,朱永永.旱地玉米全膜双垄沟播技术增产效果研究.农业现代化研究,2009,30(6):739-743.
Liu G C,Yang Q F,Li L X,Duan R Q,Zhu Y Y.Effects of yield-increasing on techniques of whole plastic-film mulching on double ridges and planting in catchment furrows of dry-land maize.Research of Agricultural Modernization,2009,30(6):739- 743.(in Chinese)
- [24] 李春喜,冯海生,郭万春,裴剑民,武玫玲.青海旱作全膜双垄沟播甜高粱和复种产量及土壤养分含量.草业科学,2015,32(9): 1530-1535.
Li C X,Feng H S,Guo W C,Pei J M,Wu M L.The yield of sweet sorghum and soil nutrient after planting with multiple cropping,completely mulched and double furrow in Qinghai dryland.Pratacultural Science,2015,32(9):1530-1535.(in Chinese)
- [25] 段襄全,刘广才,王凤山.旱地莜麦全膜覆土穴播技术肥料效应.草业科学,2014,31(10):2003-2008.
Duan R Q,Liu G C,Wang F S.The fertilizer effects of full plastic-film mulching overlying soil and bunch planting of dryland hulless oat.Pratacultural Science,2014,31(10):2003-2008.(in Chinese)
- [26] 郭振斌,刘广才,李诚德,高应平.旱地小麦全膜覆土穴播技术肥料效应研究.干旱地区农业研究,2014,32(4):163-168,255.
Guo Z B,Liu G C,Li C D,Gao Y P.Fertilizer effects of whole plastic-film mulching combined with soil overlying and bunch planting of dry-land wheat.Agricultural Research in the Arid Areas,2014,32(4):163-168,255.(in Chinese)
- [27] 史志峰,段进宝,尹强,雷宗昌,吕培泽.覆膜模式对陇东旱地大豆的影响初报.中国种业,2012(7):44-45.
Shi Z F,Dun J B,Yin Q,Lei Z C,Lyu P Z.Effects of plastic film mulching model on dryland soybean in East Gansu.Chinese Seed,2012(7):44-45.(in Chinese)
- [28] 王闯,强世军,翟富民.旱地大豆全膜覆盖覆膜模式试验研究.中国农业信息,2013(1):60-61.
Wang C,Qiang S J,Zhai H M.Experimental study on full film mulching model of dryland soybean.Chinese Agricultural Information,2013(1):60-61.(in Chinese)
- [29] 邓晓奋.平凉市崆峒区旱地大豆起垄覆膜方式试验初报.甘肃农业科技,2015(9):71-73.
Deng X F.Preliminary reports on the experiment of film mulching mode of dryland soybean in Pingliang City Kongtong District.Gansu Agricultural Science and Technology,2015(9):71-73.(in Chinese)

(责任编辑 武艳培)