

# 宁南旱区沟垄微型集水种植谷子最优沟垄宽度的确定

丁瑞霞, 贾志宽\*, 韩清芳, 任广鑫, 王俊鹏

(西北农林科技大学农学院, 陕西 杨凌 712100)

**摘 要:** 研究宁南旱区沟垄微型集水种植谷子比较适宜的沟垄宽度, 是为了进一步提高降水利用率和产量。以大同 14 号谷子为材料, 设计垄沟比值为 1, 四种不同宽度的带型。结果表明: 在 2004~2005 年的试验中, 微集水处理的蓄水量在谷子不同生育期均比对照增加, 水分利用效率平均分别比对照高  $10.30 \text{ kg}/(\text{mm} \cdot \text{hm}^2)$  (2004)、 $6.76 \text{ kg}/(\text{mm} \cdot \text{hm}^2)$  (2005); 由于降雨量不同且降雨分布不均匀, 使 2004~2005 年度沟垄微型集雨种植谷子产量有所差异, 但在两年试验中, 谷子增产趋势基本一致, 不同带型的产量分别比对照平均提高 108.48% (2004) 和 135.28% (2005)。通过回归分析, 得出在宁南半干旱地区微集水种植谷子比较适宜的沟垄宽度为 45 cm。

**关键词:** 谷子; 沟垄微集水; 产量; 水分利用效率; 最佳沟垄宽度; 半干旱地区  
**中图分类号:** S515.048   **文献标识码:** A   **文章编号:** 1000-7601(2007)02-0012-05

宁南旱农区农业生产主要依赖于天然降水, 该区年均降水量 250~400 mm, 气候干燥, 蒸发强烈, 无效、微效降水日数多, 有效降水日数少, 降水分布不均匀, 是农业生产的限制因素<sup>[1,2]</sup>。旱作农田的研究要从水分要素入手, 集水蓄水节水, 从时间和空间上, 充分接收和贮存有限的降水, 减少无效蒸发, 提高自然降水的利用效率, 这是旱区农业发展的基本途径。通过田间沟垄微型集雨可以使垄上降雨顺垄流入沟中, 这样会把两个面上的降雨集中到一个面上, 使其入渗得更深, 蒸发损失变小<sup>[2,3]</sup>。近十几年来, 胡希远、陶士珩、刘正辉、樊廷录等<sup>[4~7]</sup>对农田微集水水分生产潜力的增进机理作了进一步研究, 明确了如何确定垄沟比值, 在此基础上刘正辉、王俊鹏等<sup>[1,8~10]</sup>在宁南旱区对小麦、玉米、谷子、豌豆和糜子进行的农田微集水种植技术研究, 表明窄带型的增产效果优于同一沟垄比值下的宽带型; 通过人工模拟降雨提出: 相同的降雨量下, 对同一沟垄比值, 随着带型的窄化, 降水在沟内水平分布的不均匀性会减小, 解释了窄带型增产的主要原因。据我们的试验观察, 带型 60 cm:60 cm (沟宽: 垄宽, 下同) 沟内谷子长势同 75:75 的相比较, 其边两行谷子长势比 75:75 的差, 而中行谷子则大大强于 75:75 的, 所以 60:60 的单位面积产量会高于 75:75 的, 但王俊鹏等对带型窄化的下限还没有明确。为此本文设计垄沟比值为 1, 四种沟垄宽度, 通过对不同生育

时期的蓄水量, 水分利用效率和产量的增幅比较, 研究在宁南半干旱偏旱区沟垄微型集雨种植谷子比较适宜的沟垄宽度。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验点概况

试验于 2004~2005 年在宁南旱农试区 (海原县贾塘北山注村) 进行, 海拔高度为 1 800 m 左右, 年均农田潜在蒸发量高达 1 000~1 100 mm, 为年平均降水量的 3 倍以上<sup>[2]</sup>。试验地地面平坦, 土壤为黄绵土, 质地为轻壤, 0~200 cm 土层平均土壤容重为  $1.27 \text{ g}/\text{cm}^3$ , 土壤有机质含量为  $14.3 \text{ g}/\text{kg}$ , 碱解氮为  $47.0 \text{ mg}/\text{kg}$ , 速效磷为  $7.6 \text{ mg}/\text{kg}$ , 速效钾为  $158.0 \text{ mg}/\text{kg}$ 。试验地当年谷子生育时期降水情况见表 1。

### 1.2 试验设计

试验沟垄宽度比为 1:1, 设一个对照和四种带型处理 (详细见表 2)。各处理垄上覆膜, 沟内种植谷子, 垄高 15 cm, 以不起垄平地不覆膜为对照 (CK)。采用随机区组排列, 重复 3 次。用耧播, 行距 15 cm。2004 年 4 月 30 日播种, 9 月 28 日收获; 2005 年 4 月 24 日播种, 9 月 21 日收获。处理和对照每公顷留苗约 30 万株和 40 万株 (间苗期大约在 5 月 25 日至 30 日), 由于谷子为忌连播作物, 因此两年的试验分别在相距较近的田块内进行。

收稿日期: 2006-06-30  
基金项目: 国家 863 项目“区域节水型农作制度与节水高效旱作保护耕作技术研究” (2002AA2Z3021-2); 农业科技成果转化项目“西北旱区农田高效微集水种植技术示范与开发” (02EFN216901259); 杨凌国家农业高新技术产业示范区科技专项“旱作农田微集水种植示范与开发” (99KG16)  
作者简介: 丁瑞霞 (1975-), 女, 山西交城人, 博士, 主要从事旱区农业方面的研究。E-mail: dingruixia@sohu.com。  
\* 通讯作者: 贾志宽 (1962-), 男, 山西朔州人, 博士, 教授, 主要从事旱区农业方面的研究。E-mail: zhikuan@tom.com。

表 1 2004~2005 年生育期降水量资料(mm)

Table 1 Rainfall during foxtail millet growth in 2004~2005

| 年份 Years     | 5 月 May | 6 月 June | 7 月 July | 8 月 August | 9 月 September | 总计 Total |
|--------------|---------|----------|----------|------------|---------------|----------|
| 多年平均 Average | 29.1    | 32.7     | 76.1     | 82.9       | 60.2          | 281.0    |
| 2004         | 36.5    | 50.3     | 46.9     | 62.1       | 28.2          | 224.0    |
| 2005         | 22.8    | 5.2      | 58.2     | 27.8       | 4.3           | 118.3    |

表 2 沟垄微型集雨种植谷子试验设计

Table 2 Experimental design for planting foxtail millet in ridges and furrows through micro-catchment

| 处理 Treatment   | 沟垄比(cm) Furrow : Ridge | 沟、垄条数/小区 Number of furrow and ridge in plot | 小区面积(m <sup>2</sup> ) Plot area | 播种行数 Number of rows |
|----------------|------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------|---------------------|
| CK             | —                      | —                                           | 20.0                            | —                   |
| T <sub>1</sub> | 30:30                  | 6                                           | 15.0                            | 2                   |
| T <sub>2</sub> | 45:45                  | 5                                           | 22.5                            | 3                   |
| T <sub>3</sub> | 60:60                  | 4                                           | 24.0                            | 4                   |
| T <sub>4</sub> | 75:75                  | 4                                           | 30.0                            | 5                   |

1.3 试验材料

供试谷子品种为大同 14 号,采用 0.008 mm 厚塑料薄膜。处理和对照均按尿素 75 kg/hm<sup>2</sup>、磷酸二铵 75 kg/hm<sup>2</sup> 的施肥量于播前 5 d 用条播机施入沟中,深度为 10 cm。

1.4 计算方法

2004 年谷子生育期每个带型分垄中、沟中两个位置取土样,测定含水量。拔节期取土深度为 0~100 cm;抽穗期和成熟期取土深度为 0~200 cm。2005 年谷子生育期每个带型分垄中、膜侧、沟中三个位置取土样,测定含水量。苗期和拔节期取土深度为 0~100 cm;抽穗期和灌浆期取土深度为 0~140 cm。0~20 cm 每 10 cm 取 1 个土样,20 cm 以下每 20 cm 取 1 个土样。土壤水分测定采用烘干法。根据农田水分平衡原理和农田微型集水种植技

术,地膜覆盖后垄面的集水效率为 90%<sup>[11]</sup>,假设垄下土壤与种植沟内土壤水分处于平衡状态,土壤供水量( $W_s$ )、作物耗水量( $W_c$ )和水分利用效率( $WUE$ )的计算参考文献[12,13]的方法。

2 结果与分析

2.1 生育时期不同处理的蓄水量

2004 年生育期降雨量只有 224 mm,但分布比较均匀。不同生育时期各带型的蓄水量均比平作(对照)多。图 1a 反映的是拔节期不同带型的蓄水量。不同带型垄中平均蓄水量和沟中平均蓄水量分别比对照高 3.11 mm,20.67 mm;在抽穗期带型 60:60 沟内的蓄水量最高,比对照高 76.40 mm(图 1b);在成熟期不同带型垄中平均蓄水量和沟中平均蓄水量分别比对照高 42.38 mm,35.28 mm(图 1c)。

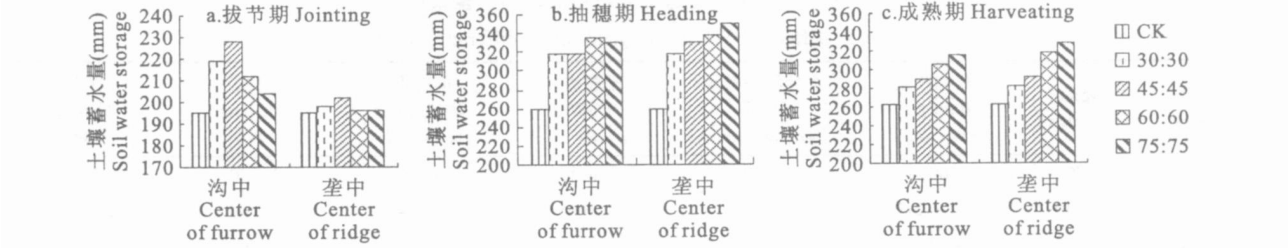


图 1 2004 年不同带型的蓄水量

Fig.1 Soil water storage of different treatments in 2004

2005 年生育期降水量仅有 118.3 mm,且分布极不均匀。与 2004 年相比,不同带型的蓄水量都有所下降,但趋势基本一致。在苗期不同带型垄中、膜侧、沟中的平均蓄水量比对照分别高 23.25 mm、24.56 mm、22.34 mm(图 2a);在拔节期不同带型垄

中、膜侧、沟中的平均蓄水量比对照分别高 16.60 mm、24.41 mm、17.04 mm(图 2b);在抽穗期不同带型垄中、膜侧、沟中的平均蓄水量比对照分别高 24.44 mm、16.75 mm、11.13 mm(图 2c);在灌浆期不同带型垄中、膜侧、沟中的平均蓄水量比对照分别

高 16.22 mm、4.98 mm、1.58 mm(图 2d)。连续两年结果均表明,微集水处理的蓄水量在不同生育期

均比对照增加。

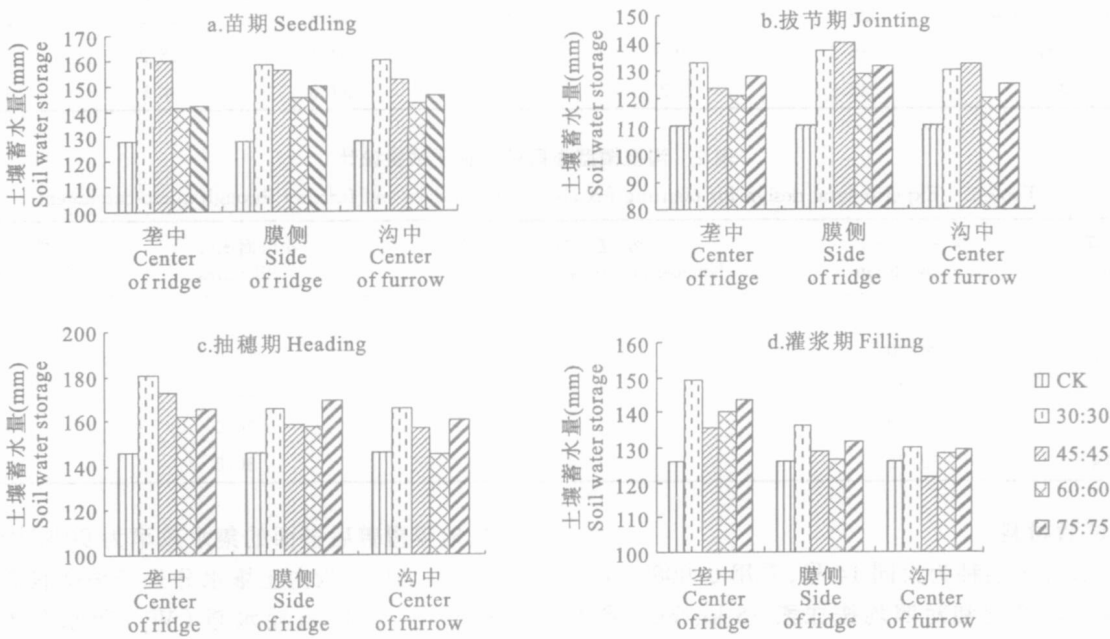


图 2 2005 年不同带型的蓄水量

Fig.2 Soil water storage of different treatments in 2005

2.2 不同处理的产量效应及水分利用效率

据已有的研究<sup>[8,9,14]</sup>,沟垄宽度比值一定,则集雨效果一定,作物耗水量也基本相同;但在同一沟垄宽度比值下,宽度值不同,其蓄水、保墒效果有别,相应的作物生育、产量和水分利用效率也差别明显。在 2004~2005 年的试验中,各集水处理产量均较对照增产,增幅达 85.7%~132.0%(2004 年)和 83.8%~178.9%(2005 年)。带型 45:45 的产量连续两年最高,与对照相比达到显著水平;同时,各处

理的水分利用效率平均较对照提高 10.30 kg/(mm·hm<sup>2</sup>)(2004 年)、6.76 kg/(mm·hm<sup>2</sup>)(2005 年),各集水处理千粒重平均分别较对照提高 22.28%(2004 年)、21.14%(2005 年),各集水处理穗粒重平均分别较对照提高 8.17 g(2004 年)、4.32 g(2005 年),各集水处理的穗长平均分别较对照提高 3.61 cm(2004 年)、2.87 cm(2005 年),连续两年集水处理群体植株的高度明显的高于对照(见表 3)。

表 3 不同处理的水分利用效率和产量效应

Table 3 Effect of WUE and yield under different treatments

| 年份<br>Years | 处理<br>Treatment | 籽粒产量<br>Grain yield<br>(kg/hm <sup>2</sup> ) | 水分利用效率<br>WUE<br>[kg/(mm·hm <sup>2</sup> )] | 千粒重<br>TGW<br>(g) | 穗粒重<br>Weight per<br>spike (g) | 穗长<br>Spike length<br>(cm) | 株高<br>Height<br>(cm) |
|-------------|-----------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------|--------------------------------|----------------------------|----------------------|
| 2004        | CK              | 2160.4c                                      | 7.02                                        | 3.01b             | 4.85                           | 12.40                      | 82.30                |
|             | 30:30           | 4585.2ab                                     | 16.49                                       | 3.70a             | 12.94                          | 16.60                      | 113.00               |
|             | 45:45           | 5028.0a                                      | 18.66                                       | 3.73a             | 14.18                          | 16.63                      | 116.03               |
|             | 60:60           | 4468.0ab                                     | 17.61                                       | 3.67a             | 12.75                          | 15.45                      | 104.65               |
|             | 75:75           | 4022.0b                                      | 16.50                                       | 3.65a             | 12.21                          | 15.34                      | 103.26               |
| 2005        | CK              | 744.3d                                       | 4.95                                        | 2.92b             | 4.05                           | 10.56                      | 73.00                |
|             | 30:30           | 1821.9b                                      | 12.09                                       | 3.52a             | 8.75                           | 13.20                      | 97.60                |
|             | 45:45           | 2075.6a                                      | 14.06                                       | 3.58a             | 9.49                           | 14.71                      | 92.27                |
|             | 60:60           | 1738.6b                                      | 11.01                                       | 3.55a             | 8.23                           | 13.83                      | 92.40                |
|             | 75:75           | 1368.4c                                      | 9.70                                        | 3.50a             | 7.03                           | 11.98                      | 92.81                |

2.3 谷子最佳沟垄宽度的确定

为了确定在沟垄微型集雨种植体系中的最佳垄沟宽度, 以平作和集水处理单位面积的籽粒产量为  $y$ , 以垄宽(或沟宽)  $x$  ( $x$  分别为 0, 30, 45, 60 和 75 cm, 这里的 0 cm 是指垄宽为零, 也就是平作) 作散点图(图 3), 发现它们之间的关系可用一元二次回归方程表达。其回归方程为:  $y = -1.243x^2 + 116.455x + 2181.274$  ( $R^2 = 0.985$ ) (2004 年),  $y = -0.652x^2 + 56.975x + 740.957$  ( $R^2 = 0.985$ )

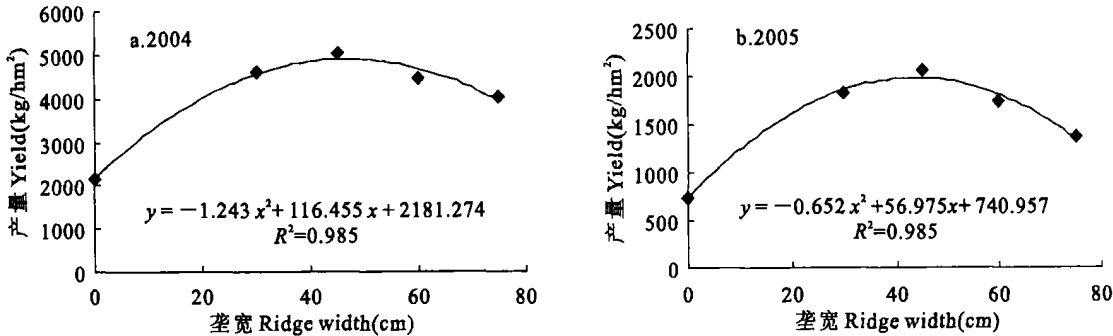


图 3 各处理产量与垄宽(沟宽)的关系  
Fig.3 Relationship between foxtail millet yields and width of ridge of different treatments

3 结论

连续两年结果都表明, 微集水处理的蓄水量在不同生育期均比对照增加; 各处理产量增幅达 85.7%~132.0% (2004 年) 和 83.8%~178.9% (2005 年); 各处理的水分利用效率平均较对照提高 10.30 kg/(mm·hm<sup>2</sup>) (2004 年)、6.76 kg/(mm·hm<sup>2</sup>) (2005 年); 不同处理的千粒重、穗粒重、穗长、株高都比常规种植对照的结果好。微集水种植技术集水保水效果好, 将生育期农田的微小降雨资源化, 发挥小雨量的叠加增值效应, 最大限度地储存于农田土壤中, 把农田的蓄水、保水、供水和用水融为一体, 是有效利用自然降水的途径之一。与修建大型的水库和径流场相比, 它省工、省料, 在小雨时也能有效地就地提供径流, 而且农田微集水种植技术可用机械操作, 在任何地形条件下都能应用。所以值得在我国广大的旱农地区推广应用。

通过产量和垄(沟)的宽度进行回归分析, 发现在生育期降雨量小于 250 mm 的半干旱地区, 沟垄宽度最佳 45 cm 时, 谷子产量可以达到最大值。最佳沟垄宽度的确定与当地的降雨特点, 耕作习惯和作物品种等相关, 在其它类型区如何根据降雨量等因素合理确定最佳沟垄宽度有待进一步研究。

(2005 年)。对回归方程求导, 发现当垄宽(沟宽)为 44 cm (2004 年), 47 cm (2005 年) 时, 产量最大, 其期望值可以达到 4909.35 kg/hm<sup>2</sup> (2004 年), 1985.84 kg/hm<sup>2</sup> (2005 年)。取其两年的平均值, 确定在半干旱地区沟垄微型集雨种植谷子比较适宜的沟垄宽度为 45 cm。显然, 微集水种植谷子比较适宜的沟垄宽度与降雨量、降雨强度等环境因素有关, 因此在这一方面还有相当多的研究工作需要进行。

参考文献:

[1] 王俊鹏, 蒋 骏, 韩清芳, 等. 宁南半干旱地区春小麦农田微集水种植技术研究[J]. 干旱地区农业研究, 1999, 17(2): 8—13.

[2] 李 军, 王龙昌, 孙小文, 等. 宁南半干旱偏旱区旱作农田沟垄径流集水蓄墒效果与增产效应研究[J]. 干旱地区农业研究, 1997, 15(1): 16—20.

[3] 李凤民, 王 静, 赵松岭. 半干旱黄土高原给水高效农业的发展[J]. 应用生态学报, 1999, 19(2): 152—157.

[4] 胡希远. 宁南旱平地沟垄径流种植技术研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 1997.

[5] 陶士珩. 径流农业主要类型农田水分机理及生产力的研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 1998.

[6] 刘正辉. 半干旱区农田微集水种植带型优化设计研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2001.

[7] 樊廷录. 旱地农田微集水种植的水分生产潜力增进机理研究[J]. 水土保持研究, 2003, 10(1): 98—100.

[8] 王俊鹏, 马 林, 蒋 骏, 等. 宁南半干旱地区谷子微集水种植技术研究[J]. 水土保持通报, 2000, 20(3): 41—43.

[9] 王俊鹏, 韩清芳, 王龙昌, 等. 宁南半干旱区农田微集水种植技术效果研究[J]. 西北农业大学学报, 2000, 28(4): 16—20.

[10] 王俊鹏, 马 林, 蒋 骏, 等. 宁南半干旱区农田微集水种植技术研究[J]. 西北农业大学学报, 1999, 27(8): 22—27.

[11] 王 琦, 张恩和, 李凤民. 半干旱地区膜垄和土垄的集雨效率和不同集雨时期土壤水分比较[J]. 生态学报, 2004, 24(8): 1816—1819.

[12] 王 琦, 张恩和, 李凤民, 等. 半干旱地区沟垄微型集雨种植马铃薯最优沟垄比的确定[J]. 农业工程学报, 2005, 21(1): 38—41.

[13] 陈志雄. 农田水量平衡[J]. 土壤学进展, 1985, (1): 1—5.

控效果研究[J]. 农业工程学报, 2004, 20(2): 78—82.

[14] 韩清芳, 李向拓, 王俊鹏, 等. 微集水种植技术的农田水分调

Optimum width of ridge and furrow for planting foxtail millet in micro-water harvesting systems in arid area of the South Part of Ningxia Province

DING Rui-xia, JIA Zhi-kuan<sup>\*</sup>, HAN Qing-fang, REN Guang-xin, WANG Jun-peng  
(College of Agronomy, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** This paper studied the optimum width of ridge and furrow for foxtail millet in semi-arid area of south Ningxia, which aimed at increasing water availability to crops and yield farther. In the experiment there were four stripshapes (that is 30 cm, 45 cm, 60 cm, and 75 cm), the ratio of ridge to furrow was 1. Results showed that different widths of ridges and furrows had significant effects on foxtail millet yields, water storage and WUE. The mean WUE of different treatments increased by 10.30 kg/(mm·hm<sup>2</sup>) (2004) and 6.76 kg/(mm·hm<sup>2</sup>) (2005) compared with those of CK, respectively, and water storage was obviously increased during foxtail millet growth. Although the yields are different because of precipitation difference in 2004 and 2005, yield increase has the same tendency. On the average the yields of different treatments increased by 108.48% in 2004 and 135.28% in 2005 compared with those of CK. By regression analysis, the optimum width of ridge and furrow was about 45 cm.

**Keywords:** foxtail millet; ridge and furrow water micro-catchment; yield; WUE; optimum width of ridge and furrow; semi-arid area

(上接第 11 页)

Study on corn no-till planting mode of double ridge mulching “one film used for two years” on dryland

ZHANG Lei, NIU Jian-biao, ZHANG Cheng-rong, XU Wei-cheng, ZHANG Ji-zu  
(Center for Agricultural Technology Spread of Yuzhong County, Lanzhou, Gansu 730100, China)

**Abstract:** Based on the technology of double ridges whole film rainfall harvesting cultivation for corn on upland, the corn no-till planting mode of double ridge mulching “one film used for two year” on upland was studied. The results showed that compared with the conventional film mulching cultivation, this technology had better agronomical characters, increased corn yield by 956.1 kg/hm<sup>2</sup> (16.31%), and the soil water content of early period was increased. In comparison with the double ridges whole film rainfall harvesting cultivation and the conventional film mulching cultivation, this technology enhanced seeding rate by 2.58% and 14.5%, respectively; reduced investment by 1 350 yuan/hm<sup>2</sup> and 1 860 yuan/hm<sup>2</sup>, respectively; increased net profit by 703.9 yuan/hm<sup>2</sup> and 3 055.1 yuan/hm<sup>2</sup>, respectively.

**Keywords:** dryland corn; double ridge mulching; “one film used for two years”; no-till planting