

黄土丘陵区垄沟改良措施对玉米水分利用效率的影响

方 锋¹, 黄占斌^{2,3}

(1. 兰州区域气候中心, 甘肃 兰州 730020; 2. 中国矿业大学北京校区, 北京 100083;

3. 中国科学院 水利部 西北水土保持研究所 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 选择延安地区作为黄土丘陵区的代表, 在延安地区应用地膜、液态地膜、保水剂、PAM(土壤改良剂)和间作套种措施优化大垄沟种植方式种植玉米, 分析了不同优化措施种植玉米的水分利用效率。结果表明, 地膜、保水剂、PAM 和间作方式有利于大垄沟较好地保持土壤水分, 其保水能力分别比平种高出 17.4%、8.5%、11.6%、5.3%; 液态地膜、地膜、间作和 PAM 表现出很好的增产效果, 其产量分别比平种高出 77.7%、72.0%、64.1%、30.8%。

关键词: 玉米; 垄沟; 地膜; 保水剂; 土壤改良剂; 间作; 水分利用效率; 黄土丘陵区

中图分类号: S352.5⁺4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2006)05-0020-05

我国的黄土高原是世界上黄土面积最大、黄土层最深厚的黄土区, 也是我国干旱半干旱地区农业生产中独具特色的地区。近千年来, 黄土高原由于长期的人类活动及自然气候变迁, 形成了沟壑纵横, 塬、梁、峁交错分布的景观。该地区地形地貌复杂多样, 山坡、沟道、河川居多, 大面积的台田和平原较少, 农业可利用的土地少, 加上降水量少且时空分布不均, 常发性的干旱和暴雨经常导致严重的水土流失, 造成本地区土壤结构差、土壤肥力低, 土地生产力整体水平难以提高。为了改进该地区的传统生产方式, 提高土地综合生产力、增加粮食产量, 一些学者经过多年实践提出了大垄沟、水平沟等水土保持型耕作措施, 并取得了较好的效果^[1~2]。1999年国务院提出退耕还林草试点工程, 2002年又下发了《退耕还林工程由试点转向全面启动的通知》, 这使得农业用地本来就少的黄土高原地区的粮食需求面临更大的挑战, 传统耕作方式显然难以保证粮食产量的持续稳定增长, 发展集约高效型农业成为唯一出路。

为此, 我们在黄土高原典型代表区——延安设立试点, 延安地区地处黄土高原腹地, 其地形地貌可以反映黄土高原的丘陵沟壑特征, 其年平均温度和降水量接近黄土高原的总体平均水平, 可以作为黄土高原的代表。我们在本地区以水保型耕作措施大垄沟种植为基础, 使用塑料地膜, 和近年来突现出来的农用化学材料液态地膜(又名乳化沥青)、土壤改良剂(聚丙烯酰胺, 英文简写 PAM)、保水剂以及间作套种等措施与大垄沟种植模式相结合, 以期改进大垄沟种植模式, 增强垄沟的种植效益, 并探究这些种

植模式的水分生态状况。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试玉米品种为沈单 10 号, 大豆品种为晋豆 20; 液态地膜由陕西科瑞公司提供, 是一种多功能可降解液态地膜; 保水剂为西北工业大学提供的钠盐保水剂; PAM 为澳大利亚生产的 Flbonda³⁰; 地膜为 0.05 mm 厚度的农膜。液膜用量为 300~525 kg/hm², 用原液以 1:5~10 兑水形成溶液喷洒垄表面; 保水剂用量 45 kg/hm², 使用时以 1:20 拌细土撒施于垄表面; PAM 使用量及方法与保水剂相同; 地膜覆于垄表面, 留出垄沟; 所有覆盖处理都在玉米出苗后进行。

1.2 试验点概况及试验设计

试验于 2002 年 4~10 月在陕北延安市柳林镇飞马河村进行。试点降水量在 330~870 mm 之间变化, 降水变率大, 年平均降水量 550 mm, 降水量主要集中在 7~10 月, 常发生春旱、伏旱和秋旱; 年平均温度 9.4℃; 无霜期 140~165 d。试区土壤为黄绵土, 土壤有机质含量 0.83%, 速效磷含量 5.8 mg/kg, 交换性钾含量 160 mg/kg, 土壤田间持水量 22.9%, 土壤容重为 1.31 g/cm³。

试验设计: 以大垄沟(Big ridge, BR)为基础, 分别配合以地膜(Plastic film, PF), 液态地膜(Emulsion asphalt, EA), 保水剂(Aquasorb, A), 土壤改良剂(Polyacrylamide, P), 间作大豆(Intercropped, I)等措施。即: ①地膜+大垄沟, ②液态地膜+大垄沟, ③保水剂+大垄沟, ④土壤改良剂+大垄沟, ⑤间作

收稿日期: 2006-02-15

基金项目: 兰州区域气候中心业务创新基金资助

作者简介: 方 锋(1977-), 男, 陕西咸阳人, 硕士, 研究方向为农业生态与气候变化。

大豆十大垄沟,⑥大垄沟,⑦平种(CK)共计7个处理。在本文图表中分别表示为:PFR、EAR、AR、PR、IR、BR和CK。每处理3个重复,小区面积 $5 \times 15 \text{ m}^2$ 。地膜、液膜、保水剂、PAM等都为垄表面覆盖,玉米在垄上种植,大豆为沟内种植。

玉米在垄上种植,行距为1 m,株距为0.3 m,密度为30 000株/ hm^2 ;大豆为沟内种植,行距1 m,株距0.15 m,密度为60 000株/ hm^2 。肥料使用量:过磷酸钙 $750 \text{ kg}/\text{hm}^2$,作为底肥在播种时一次性施入;尿素 $300 \text{ kg}/\text{hm}^2$,在玉米拔节期和孕穗期追肥,每次 $150 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 。玉米生长期不进行灌溉,其他管理同当地农民管理。

1.3 测定项目及仪器

测定项目:玉米籽粒产量(抽样产量)、土壤水分含量(整地至收获每隔20 d测定)、土壤耕层温度(在玉米各生育期分别测定)。

测定仪器:电子天平(感量0.005 kg),国产CNC100中子水分仪,地温仪。

1.4 水分蒸散量和水分利用效率计算

本文中水分蒸散量是指土壤表面蒸发和玉米蒸腾量之和,计算如下:

$$ET = R + W_{\text{soil}_i} - W_{\text{soil}_j}$$

式中, ET 为蒸散量; R 为该时期的降雨量; W_{soil_i} 为前一时期的土壤水分总量(1.4 m土体内总水量); W_{soil_j} 为该时期的土壤水分总量。所选地块为台地,地面平整,地下水埋很深,玉米生育期内最大降水量不超过30 mm,垄沟内可以截留所有降水,因此,略去地表径流和地下水影响;同时,地下1~1.4 m的水分含量变化很小,说明深层土壤水分的出入量很少,所以土壤水分垂直交换也忽略不计。

本文中水分利用效率用籽粒产量和生育期内水分消耗总量的比值表示:

$$WUE = Y/ET$$

式中, Y 为籽粒产量(kg/hm^2); ET :生育期内消耗水分总量(蒸散总量, m^3/hm^2)。

2 结果与分析

2.1 各处理土层水分总量

地膜覆盖作为一种常规覆盖措施在我国旱地农业中已经有多年使用经验,它主要被用于干旱冷凉的中高纬度和高海拔地区,以往的应用中都表现出了较好的增产效果^[3~4]。在本试验中地膜显示出很好的效果,在所有处理中PFR处理的保蓄水能力最强(见图1),PFR处理的土壤水分总量在玉米生长的各个时期内都为最高,它比CK(平作处理)高出:苗期20.4%、拔节期21.4%、孕穗期20.5%、成熟期6.2%。其次,保蓄水能力依次为PR、AR、IR、CK、BR、EAR液。PAM和保水剂近年来在旱地农业中表现出不错的效果,特别是在目前全球气候暖干化的背景下,干旱、低温等灾害天气出现越来越频繁,粮食生产受到较大影响^[5],而PAM和保水剂由于特有的理化性质,能够保持土壤水分并改善土壤性质,提高粮食的稳产和高产保证率^[6~10]。

本试验结果表明,PR与AR这两个处理(成熟期除外)在玉米生长期土壤水分总量比对照高出10.5%~19.4%。IR处理土壤水分总量在玉米生育期内也较对照高,其增幅随时间推移而逐渐减小。纯粹大垄沟(BR)处理的土壤水分总量与平作基本无差别,只在成熟期表现出土壤水分状况差于平作,较平作少12.3%。EAR处理与单纯大垄沟处理效果接近,只在玉米成熟期较平作少16.8%。在全生育期,PFR、AR、PR、IR、BR、EAR等处理的土壤水分总量平均比对照高:17.4%、8.5%、11.6%、5.3%、-2.3%、-5.6%。

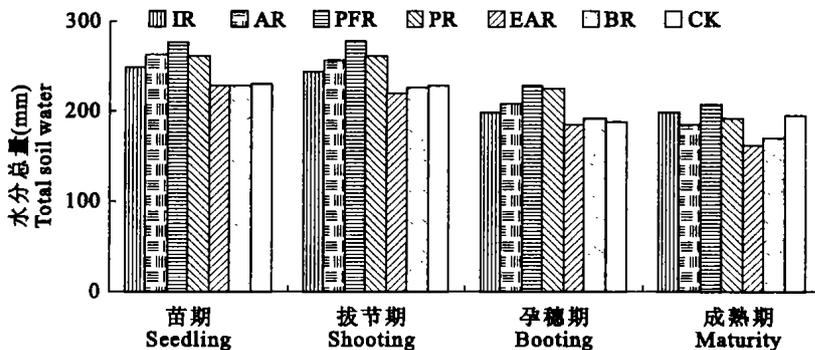


图1 各处理不同时期土壤水分总量

Fig. 1 Total soil water of various treatments in different periods

2.2 各处理土壤相对湿度

土壤耕层(0~50 cm)的相对湿度(土壤水分含量与田间持水量的比值)一般在 60%~90%之间为宜,此范围的土壤水分对于作物生长最为有利,当相对湿度在 50%~60%之间时作物出现轻旱;40%~50%为中旱;小于 40%为重旱^[11]。由图 2 可以看出,IR、AR、PFR、PR 等 4 个处理土壤相对湿度相对较好,特别是 PFR 和 PR 处理整个生育期的湿度都

在 57.3%以上,完全可以满足玉米的水分需求;AR 和 IR 处理则都处在 52.0%以上,也基本满足玉米正常生长;而 EAR、BR 和 CK 处理的土壤湿度在孕穗~成熟期的大部分时间都处在轻度和中度干旱状态,可能会对玉米产量造成一定影响。不同处理的土壤相对湿度的状况与土层内水分总量结果大体一致,其处理的土壤湿度大小顺序为 PFR>AR=PR>IR>CK>BR>EAR。

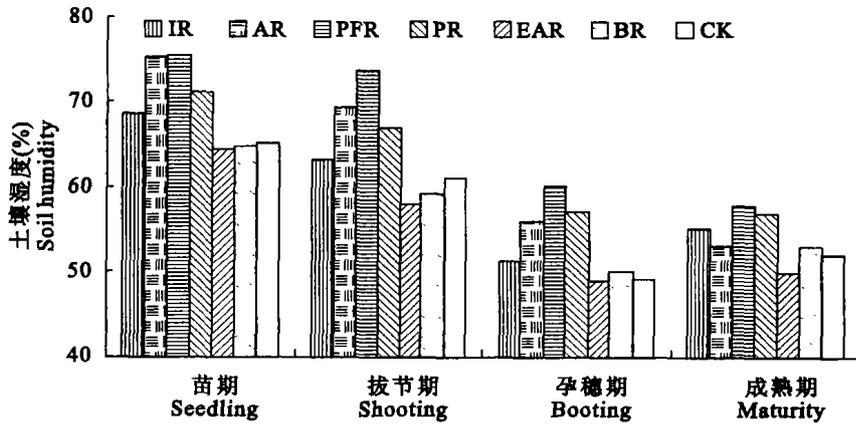


图 2 土壤湿度

Fig. 2 Soil humidity of various treatments in different periods

2.3 各处理的水分蒸散量

图 3(a)反映出,苗期和孕穗抽雄期是玉米消耗水分最多的两个时期,其水分消耗分别占玉米总耗水量的 1/4 和 1/3 左右。苗期土壤表面裸露面积大,地表升温快,这一时期持续时间长,降水量多(表 1),造成了蒸散量大;孕穗抽雄期是玉米生理活动最活跃的时期,这个时期是玉米营养生长和生殖生长并进的时期,对水肥需求旺盛,所以该时段为玉米生育期内耗水最多的时期。在拔节期土表温度降低,蒸发显著减少,加之降水量较少,因此,蒸散量较少。而灌浆成熟期玉米的生理活动大大减弱,以及该时期降水量相对较少共同导致蒸散量的减少,拔节期和成熟期各占玉米总蒸散量的 1/5 左右。

表 1 玉米各生育期的降水量

Table 1 Rainfall in different periods

项目 Item	苗期 Seedling	拔节期 Shooting	孕穗期 Booting	成熟期 Maturity	总计 Total
降雨量(mm) Rainfall	151.1	86.8	108.6	84.0	430.5

同时,图 3(b)反映出,不同农艺措施蒸散总量差异并不大,但是,各个时期的差异非常明显。地膜、保水剂、PAM 和间作配合大垄沟处理在苗期的蒸散量较小,这是因为,地膜有效地阻止了土壤表面

蒸发,减少了水分的无效消耗,另外,薄膜表面可以汇集雨水,能够把一次降雨量小于 10 mm 的无效降水汇集起来,并通过膜孔渗入土壤中,提高了对降雨的利用率^[3];间作大豆可以在地表面形成遮荫,降低土壤温度(见图 4),同时,生物覆盖效应与降温共同促使土壤表面蒸散减少;保水剂和 PAM 是一类高分子化合物,具有较强的吸水性和吸附型,它们覆盖于土壤后,通过吸水使表层的土壤微粒相互连接起来形成一层覆盖层,从而大大减少了土壤表面蒸发^[7~8]。EAR、BR 和平作处理的蒸散量在苗期比较大,三者差异不大,这与预期结果有一定差异,液膜处理并不像有些文章指出的:能够很好地保持土壤水分^[12],大垄沟处理也没有因为蒸发面积增大而增加水分消耗。可能是由于大垄沟处理后土壤入渗加强,降水快速入渗保蓄在较深土层中,避免了水分的大量无效消耗^[13]。液膜在大田中的表现不如某些室内试验结果好,可能的原因在于:液膜发挥作用需要土壤表面非常平整,没有大的土块,在喷洒之后及时灌溉或者有降雨,使其形成的膜具有较好的完整性和延展性^[14],而在干旱与半干旱地区的大田试验中难以满足这种苛刻的条件,另外,液膜的增温作用可能也增加了土壤水分的散失,所以其效用没有很好地发挥出来(图 4)。

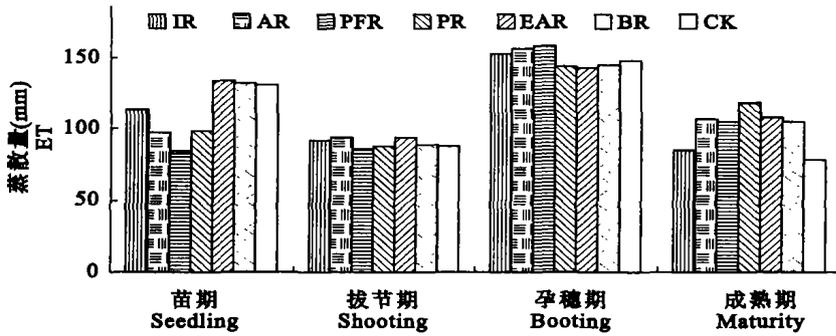


图 3(a) 各处理不同时期蒸散量

Fig. 3(a) ET of various treatments in different periods

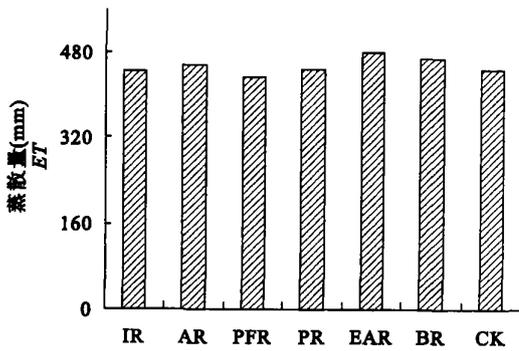


图 3(b) 各处理蒸散总量

Fig. 3(b) Total ET of various treatments

和表 2), PFR、AR、PR 和 IR 因为可以很好地保持水分,蒸散量较少;而 BR、EAR 和 CK 水分消耗则比较大。拔节期各处理水分蒸散量差异不显著,此时期玉米叶片已能遮满土地表面,地面蒸发差别不明显,此时段较短,降雨量在时间上分布均匀,各处理土壤收支相近,可能导致了蒸散量差异不显著。孕穗期的水分消耗与拔节期相似,间作、地膜和保水剂等配合大垄沟的处理由于玉米生理活动旺盛,耗水量较多一些。在灌浆至成熟期,IR 处理由于成熟较早,蒸散量减少,而平作因为长势相对较差,蒸散量也较少,其他处理生长良好,成熟期稍晚,耗水量相应增多。

苗期各处理的水分蒸散量差别较大(见图 3(b))

表 2 不同处理的蒸散总量与产量结果

Table 2 The yield and total evapotranspiration of different treatments

项目 Item	IR	AR	PFR	PR	EAR	BR	CK
产量 Yield (kg/hm ²)	10560.0	7132.5	11071.5	8415.0	11436.0	6709.5	6435.0
水分蒸散总量 Total evapotranspiration(m ³ /hm ²)	4426.5	4548.0	4342.5	4488.0	4788.0	4699.5	4461.0

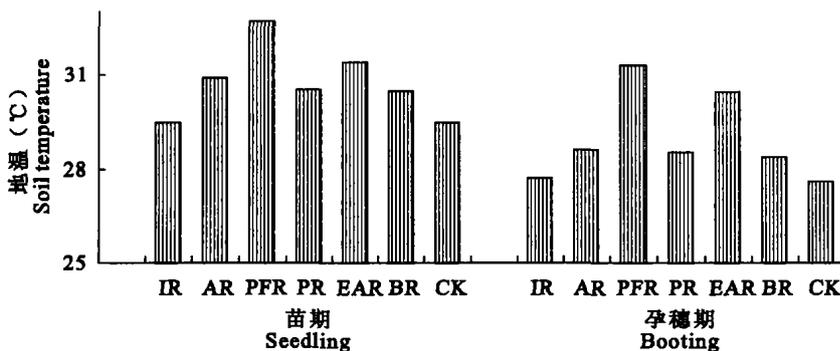


图 4 土壤耕层平均地温

Fig. 4 Average soil temperature in plowed layer

3 各处理玉米的水分利用效率

水分利用效率结果显示:几种农艺措施中,水分生产效率最高的为间作、地膜和液膜与大垄沟配合

的三种处理,其水分利用效率比 CK 分别高 65.41%、76.79%和 65.59%;PAM 与大垄沟配合的处理也表现了较好的保水增产效果,其水分利用效率比 CK 高出 29.94%;而 AR 和 BR 与 CK 处理

水分生产效率差异不明显,表明其对水分的利用效率的提高作用不大,AR 较 CK 高 8.75%,BR 比平作低 1.01%。本研究中 IR 处理的水分利用效率没有剔除大豆的影响,原因是本研究中大豆的群体数量少,长势较弱,其对水分的消耗远不及玉米的消耗,另外,难以从总的水分消耗中将其定量分离出来。

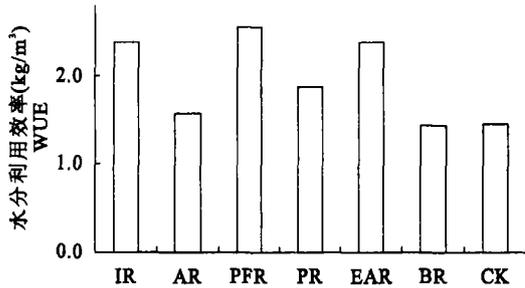


图 5 不同处理水分利用效率
Fig. 5 WUE of various treatments

4 小 结

1) 大垄沟是黄土高原地区正在推行的一种水土保持性的耕作措施,本研究发现大垄沟确有增产作用,但是,单一使用大垄沟的增产效果并不理想。利用大垄沟与地膜、液膜、间作和 PAM 处理相结合能够充分发挥大垄沟与各覆盖措施的互利效用,大大提高作物产量。

2) 不同农艺措施的种植效果与作物生育期内的降水量有较大关系,在降水均匀适量时,保水材料的增产效果表现一般,而当降水异常偏离作物需求时,其效果往往表现很好,而本试验期内降水比较有利于玉米的正常生长,这可能是保水剂在本试验中表现不显著的主要原因之一。

3) 液膜配合大垄沟处理在试验中相对 CK 几乎没有发挥更好的保水作用,但是,其处理对于玉米

增产效果却最为显著,其产量甚至超过地膜与大垄沟配合的处理,一方面的原因是其具有肥料和生长素等多种养分物质^[15],另一方面,是因为其对土壤的改善作用。这表明在黄土高原干旱半干旱地区,增强作物水分利用效率、提高产量的方法除了保持水分以外,增加肥料使用量、改善土壤、增施生长素等方法也具有很好的效果。

参 考 文 献:

- [1] 张兴昌. 黄土丘陵沟壑区水平沟耕作效益研究[J]. 水土保持研究, 1998, 5(4): 52-58.
- [2] 刑胜利. 大垄沟种植技术在陕北丘陵沟壑区的推广应用前景[J]. 甘肃农业科技, 1999, 7: 21-22.
- [3] 曹正梅, 董树亭, 刘春生. 覆膜栽培玉米的土壤生态效应研究进展[J]. 山东农业大学学报 1999, 30(4): 489-482.
- [4] 王栓全, 刘普灵, 刘冬梅, 等. 地膜玉米是陕北梯田粮食高产的关键措施[J]. 干旱地区农业研究, 2001, 19(1): 25-28.
- [5] 李海涛, 于贵瑞, 袁嘉祖. 中国现代气候变化的规律及未来情景预测[J]. 中国农业气象, 2003, 24(4): 1-4.
- [6] 李云开, 杨培岭, 刘洪禄. 保水剂在农业上的应用技术与效应[J]. 节水灌溉, 2002, 2: 12-16.
- [7] 黄占斌, 张国祯, 李秧秧, 等. 保水剂特性测定及其在农业中的应用[J]. 农业工程学报, 2002, 18(1): 22-26.
- [8] 介晓磊. 保水剂对土壤持水性的影响[J]. 河南农业大学学报, 2000, 34(1): 22-24.
- [9] 夏卫生, 雷霆武, 刘纪根. PAM 防治水土流失的研究现状及评述[J]. 土壤通报, 2002, 33(1): 78-80.
- [10] 冯 浩, 吴普特, 黄占斌. 聚丙烯酰胺(PAM)对黄土坡地降雨产流产沙过程的影响[J]. 农业工程学报, 2001, 17(5): 48-51.
- [11] 中国农业百科全书总编辑委员会. 中国农业百科全书, 农业气象卷[M]. 北京: 农业出版社, 1986.
- [12] 黄鹏. 春小麦液膜覆盖栽培效应研究[J]. 甘肃科学学报, 2001, 13(1): 81-84.
- [13] 潘英华, 康绍忠. 交替隔沟灌溉水分入渗规律及其对作物水分利用的影响[J]. 农业工程学报, 2000, 16(1): 39-43.
- [14] 陈保莲, 王仁祥, 程国香. 乳化沥青在农业上的应用[J]. 石油沥青, 2001, 15(2): 44-47.
- [15] 方 锋, 俞满源, 黄占斌, 等. 化学覆盖与干湿变化对玉米生长及水分利用效率的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2003, 21(1): 61-65.

Effect of improved ridge-furrow planting measures on water use efficiency of maize in loess hilly region

FANG Feng¹, HUANG Zhan-bin^{2,3}

(1. Lanzhou Regional Climate Center, Lanzhou 730020, China; 2. China University of Mining & Technology, Beijing 100083, China; 3. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, CAS and MWR, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Based on the broad ridge planting measure, the effects of plastic film, emulsion asphalt, aquasorb, polyacrylamide (PAM) and intercropping on water use efficiency of maize were studied in the loess hilly region in Yan'an. The results showed that the treatments of plastic film, aquasorb, PAM and intercropping could improve soil water effectively, and the water content of these treatment was 17.4%, 8.5%, 11.6% and 5.3% more than level planting respectively. Moreover, the treatments of emulsion asphalt, plastic film, intercropping and PAM could increase the yield of maize by 77.7%, 72.0%, 64.1% and 30.8%, respectively.

Keywords: maize; ridge-furrow planting; plastic film; emulsion asphalt; aquasorb; polyacrylamide (PAM); intercropping; water use efficiency; loess hilly region