

# 冷凉区旱地玉米微垄覆膜土壤水热及产量效应研究

张冬梅 黄学芳 姜春霞 张伟 王晓娟

刘化涛 闫六英 刘恩科 翟广谦

(山西省农业科学院旱地农业研究中心, 030031, 山西太原)

**摘 要** 针对冷凉区旱地玉米生产中存在的干旱缺水和低温冷凉两大主要限制因子, 于2016年采用单因素随机区组设计, 在山西省旱作节水农业试验示范基地阳曲县河村, 采用地膜半覆盖模式, 设置5种不同覆膜起垄高度处理, 进行了冷凉区旱地玉米微垄覆膜土壤水热及产量效应研究。结果表明, 覆膜垄高每增加5cm, 玉米苗期垄侧播种行8cm日平均地温降低0.3℃; 当覆膜垄高从0cm增加到5和10cm时, 膜侧播种行0~20cm土壤含水量分别极显著( $P<0.01$ )增加3.6和5.3个百分点; 覆膜垄高每增加10cm, 玉米拔节期推迟1d, 抽雄吐丝期相应推迟1d; 覆膜垄高5cm处理的经济产量极显著( $P<0.01$ )高于垄高15cm、垄高20cm和地膜平铺处理, 与垄高10cm处理之间没有显著差异; 覆膜垄高5和10cm处理的水分利用效率最高, 极显著( $P<0.01$ )高于地膜平铺和垄高20cm处理, 平均较地膜平铺和垄高20cm处理分别提高2.1和2.2kg/(hm<sup>2</sup>·mm), 增幅分别为6.8%和7.2%。研究认为, 微垄覆膜(垄高5~10cm)可以协调垄高增加引起的增温和微集水之间的矛盾, 同时兼顾地膜覆盖增温、保墒和微集水效应, 增产增效, 是冷凉区旱地玉米适宜的地膜覆盖方式。

**关键词** 冷凉区; 旱地玉米; 微垄覆膜; 土壤水热; 产量

山西省属半干旱半湿润大陆性季风气候, 十年九旱, 常年春旱, 年均降水量为370~560mm, 70%的降水主要集中在7~9月份, 降水总量偏少加上降水分布不均, 导致春旱接连夏旱、秋旱, 严重影响该区粮食的持续稳产和高产。玉米是该区域的第一大粮食作物, 总产量占山西省粮食总产的70%以上, 在山西省粮食生产和国民经济中占有举足轻重的地位。此外, 低温还是冷凉区旱地玉米生产的主要限制因子之一, 地膜覆盖是该区域多年来主要的增温保墒栽培技术措施<sup>[1-2]</sup>。过去生产上以地膜平铺为主, 近年来, 为了充分发挥地膜覆盖的微集水效应, 起垄覆膜被广泛应用在生产中, 特别是在小雨比例比较大、多以无效降水形式蒸发的地区<sup>[3-12]</sup>, 但起垄高度随意性较强。研究过程中发现, 随着覆膜起垄高度的增加, 虽然微集水效果明显, 但是垄侧膜下播种行的地温明显降低, 出现了增温和微集水之间的矛盾<sup>[13-14]</sup>。因此, 为了更好地将起垄覆膜技术应用于冷凉区旱地玉米生产中, 开展了不同覆膜起垄高度对土壤环境和玉米产量的影响研究。前

人更多的是研究起垄覆膜、平作覆膜和不覆膜处理对土壤环境及作物产量影响的差异<sup>[3-4,8,10]</sup>, 而针对不同覆膜起垄高度的研究较少, 更鲜有涉及能兼顾土壤温度和土壤水分效应的微垄覆膜模式研究。为此, 于2016年在山西省旱作节水农业试验示范基地阳曲县河村, 采用地膜半覆盖模式, 研究不同覆膜起垄高度对旱地玉米土壤水分、土壤温度、玉米生育时期、产量及水分利用效率的影响, 以期明确该区域能兼顾保墒、增温和微集水效应的微垄覆膜模式, 充分发挥地膜覆盖的增产增效作用, 为冷凉区旱地玉米增产增效提供理论和技术支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验于2016年在山西省旱作节水农业试验示范基地阳曲县河村进行。试验地位于山西省中部, 属典型的半干旱区, 海拔1270m, 无霜期120d左右, 年平均降水量450mm, 年均蒸发量1995mm, 年平均气温6℃~7℃, 昼夜温差大, 大于10℃活动积温约2600℃, 属玉米早熟区。干旱缺水和低温冷凉是该区农业生产的主要限制因子。土壤为黄土质淡褐土, 2016年试验地耕层土壤有机质含量为12.1g/kg, 全氮、全磷、全钾含量分别为1.20、0.82、

作者简介: 张冬梅, 副研究员, 主要从事旱作栽培技术研究

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFD0300305); 山西省农业科学院攻关项目(YCX2017D2401); 山西省科技攻关计划项目(201703D221001-5); 国家公益性行业(农业)科研专项(201503124)

收稿日期: 2018-08-08; 修回日期: 2019-01-03

21.3g/kg, 有效氮、磷、钾含量分别为 75.3、6.4、139.3mg/kg, 基础肥力中等。2016 年及多年平均玉米生育期 5-9 月份的降水及 0~200cm 的底墒情况见

表 1, 属底墒较好的平水年, 玉米苗期和灌浆期受旱。试验开始实施前, 试验区连续多年平铺地膜种植春玉米。

表 1 多年平均降水 (1960-2005 年)、2016 年降水及 0~200cm 底墒情况  
Table 1 Precipitation distribution in 1960-2005 and 2016, 0-200cm soil water storage in 2016 mm

年份 Year	5 月 May	6 月 June	7 月 July	8 月 August	9 月 September	5-9 月 From May to September	降水年型 Precipitation year type	底墒 (0~200cm) Base soil moisture
2016	19.1	47.2	241.0	44.4	28.6	380.3	平水年	386.4 (好)
1960-2005	33.2	57.0	102.9	103.7	62.2	359.0	-	-
2016- (1960-2005)	-14.1	-9.8	138.1	-59.3	-33.6	21.3	苗期、灌浆期受旱	

1.2 试验设计

试验采用单因素随机区组设计, 以覆膜起垄高度为试验处理因素, 共有 5 个处理, 起垄 0 (地膜平铺, RH0)、5 (RH5)、10 (RH10)、15 (RH15)、20cm (RH20)。所有覆膜处理都为半覆盖, 选用幅宽 80~90cm、厚度 0.008mm 的白色普通聚乙烯薄膜。其中起垄 0、5 和 10cm 处理选用幅宽 80cm 地膜, 起垄 15 和 20cm 处理选用幅宽 90cm 地膜。垄侧膜下播种, 播种行距为等行距 60cm。以不覆膜 (NPM, CK) 为对照。小区面积为 24m<sup>2</sup> (4.8m × 5m), 3 次重复, 共 18 个小区。覆膜后所有小区用点播器播种, 每穴两粒种子。供试品种为山西省大丰种业提供的大丰 30, 播种日期为 2016 年 4 月 27 日, 早霜日期为 10 月 2 日, 收获日期为 10 月 10 日。所有处理在耕作前撒施肥料, 肥料种类为硝酸磷肥 (N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O: 26.5-11.5-0), 施用量为 900kg/hm<sup>2</sup>, 一次性全部施入。试验全部在自然降水条件下进行, 无补充灌溉, 按照常规措施进行田间中耕。

1.3 测定项目与方法

降水量: 气象站自动记录试验年份生育期内每次降水量, 同时查阅该区多年平均降水量。

土壤水分: 每小区中部各埋设一根中子管, 深度 200cm。用 CPN-503 中子仪 (20~200cm) 和 6050X1Trase 系统 (0~20cm) 测定播种行土壤含水量, 每隔 20cm 为一层, 测定土壤水分。土壤水分贮存量  $H=Vh$ , 其中:  $V$  为土壤体积含水量 (%),  $h$  为土层厚度 (mm)。0~20cm 土壤含水量测定日期为 5 月 3 日、5 月 8 日、5 月 19 日、5 月 29 日。分别在出苗、拔节、抽雄、灌浆和收获期测定 0~200cm 土壤贮水量。

土壤温度: 在地温较低的玉米苗期用 U 盘式土壤温度记录仪测定土壤温度变化较大的 8cm 土壤温

度, 测定位置为每个处理的播种行, 观测时间为 5 月份和 6 月份, 每小时记录一次数据。

子粒产量: 按小区测定各处理实际经济产量 (折算成子粒含水量为 14%)。每小区连续取样 20 株, 进行室内考种, 测定穗长、穗粗、穗行数、行粒数等穗部性状以及百粒重等产量构成因子等指标, 并计算收获指数和出子率。收获指数 = 20 穗子粒重 / 20 株地上干物质重 × 100%, 出子率 = 20 穗子粒重 / 20 穗穗重 × 100%。生物产量按照 10 株地上部干物质重折算。

水分利用效率: 水分利用效率 [WUE, kg/(hm<sup>2</sup> · mm)] = 玉米子粒经济产量 / 耗水量。耗水量 (mm) = 播前 200cm 土壤贮水量 - 收获时 200cm 土壤贮水量 + 生育期降水量。

1.4 数据处理

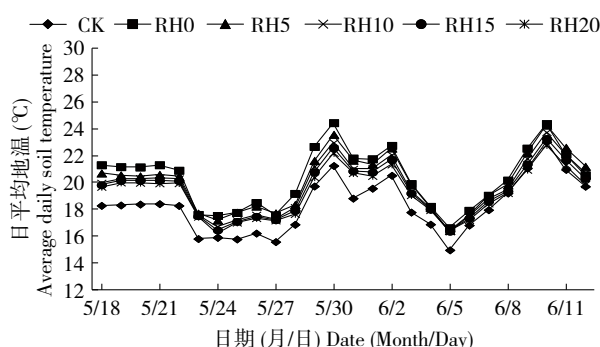
用 Excel 进行试验数据处理, 用 DPS 统计软件进行试验数据方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同处理对旱地玉米苗期表层土壤温度的影响

不同处理对玉米苗期表层 8cm 土壤温度的影响明显不同, 且随着玉米生育进程的推进和气温的逐步升高, 不同处理间差异逐步变小 (图 1)。从图 1 可以看出, 覆膜提高了播种行日平均地温, 不同垄高覆膜处理平均较不覆膜提高了 8cm 日平均地温 1.5℃。不同覆膜起垄高度对播种行 8cm 地温的影响也有明显差异, 随着覆膜起垄高度从 0cm 增加到 5、10、15、20cm, 5-6 月份播种行 8cm 日平均地温从 20.3℃ 分别逐渐降低为 20.0℃、19.7℃、19.5℃、19.2℃, 即垄高每增加 5cm, 日平均地温降低约 0.3℃, 这对冷凉区旱地玉米生产是非常不利的。日平均地温降低的原因主要是日最高气温的降

低(图2),当起垄高度从0cm增加到5、10、15、20cm时,平均日最高地温从25.7℃分别逐渐降低为24.1℃、23.8℃、23.3℃、22.8℃,而平均日最低地温之间差异不大。随着垄高的增加,日最高地温和日最低地温的差值逐步降低,起垄高度为0cm,即地膜平铺的日平均地温差为10.3℃,当覆膜起垄高度增加至5cm时,日平均地温差降低至7.7℃,当覆膜起垄高度增加至10、15和20cm时,日平均地温差缓慢降低,分别为7.6℃、7.1℃和6.6℃。综合日平均地温和日平均地温差,认为增温和稳温效果最好的处理为覆膜垄高5cm。



RH0 为起垄 0cm, RH5 为起垄 5cm, RH10 为起垄 10cm, RH15 为起垄 15cm, RH20 为起垄 20cm, CK 为不覆膜(对照),下同  
RH0, RH5, RH10, RH15 和 RH20 indicate ridge height of 0, 5, 10, 15 and 20cm, respectively, CK indicates no plastic film mulching, the same below

图1 不同覆膜处理玉米苗期 8cm 土层日平均地温变化  
Fig.1 Average daily soil temperature of maize seedling stage at 8cm soil depth under different treatments

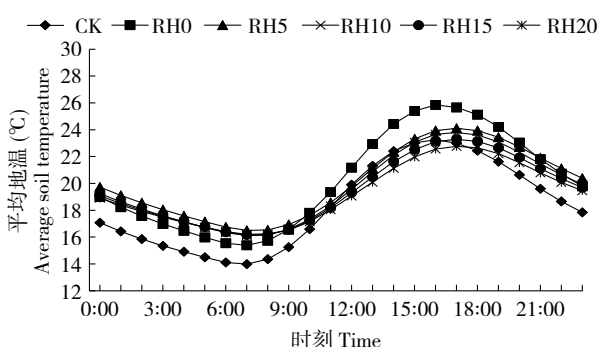
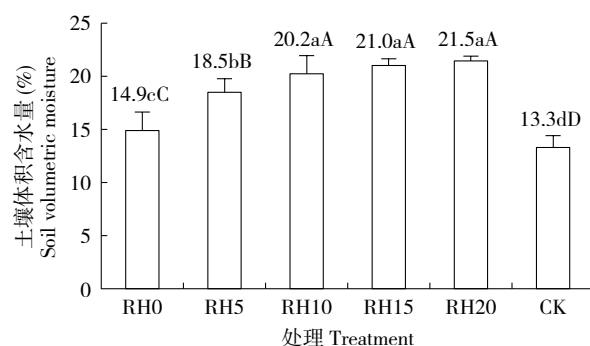


图2 不同覆膜处理玉米苗期 8cm 土层平均整点地温变化  
Fig.2 Average the hour soil temperature of maize seedling stage at 8cm soil depth under different treatments

## 2.2 不同处理对旱地玉米苗期 0~20cm 土壤含水量的影响

春旱是影响旱地春玉米生产的主要因素之一。合理的覆膜方式有利于改善土壤水分状况,为春玉米出苗保苗和前期生长创造良好的土壤水分条件。地膜覆盖的保墒作用毋庸置疑,但不同覆膜起垄

高度对土壤含水量的影响也明显不同(图3)。其中5个不同覆膜起垄高度处理的平均0~20cm土壤含水量为19.2%,极显著( $P<0.01$ )大于不覆膜处理土壤含水量13.3%。而起垄覆膜由于改变了地面的微地形状况,不仅有保墒效应,还有明显的微集水效果,且随着覆膜起垄高度的变化,微集水效应明显不同,当覆膜起垄高度从0cm逐级增加到5和10cm时,膜侧播种行0~20cm土壤含水量极显著( $P<0.01$ )增加,分别较地膜平铺增加了3.6和5.3个百分点,但当覆膜起垄高度从10cm逐渐增加到15和20cm时,膜侧播种行土壤含水量虽有所增加,但并没有显著变化。



不同小写字母表示差异达显著水平( $P<0.05$ ),不同大写字母表示差异达极显著水平( $P<0.01$ ),下同

Different lowercase letters indicate a significant difference ( $P<0.05$ ); uppercase letters indicate a significant difference ( $P<0.01$ ), the same below

图3 不同处理玉米苗期 0~20cm 土壤含水量  
Fig.3 0~20cm soil moisture content at maize seedling stage under different treatments

## 2.3 不同处理对旱地玉米不同生育时期 0~200cm 土壤贮水量的影响

不同处理旱地玉米 0~200cm 土壤贮水量是降水入渗、地面蒸发、作物蒸腾等共同作用的结果。覆膜起垄的目的是通过垄膜的微集水作用达到雨水叠加效应,将有限降水资源直接供应作物根系,避免地膜平铺带来膜上雨水的无效蒸发,最终提高旱地玉米雨水资源的利用率和利用效率。从表2可以看出,不同处理对旱地玉米不同生育时期 0~200cm 土壤贮水量的影响不同,差异主要在玉米拔节期和收获期。拔节期垄高5cm处理贮水量极显著( $P<0.01$ )小于其他处理,可能由于该处理协调了土壤增温和微集水之间的矛盾,同时兼顾了土壤温度和水分效应,因此,生长发育较快,耗水量较大,导致0~200cm土壤贮水量最小。拔节期垄高20cm土壤贮水量最高,一方面与垄高20cm表层土壤温度

低造成的生长发育缓慢有关，另一方面与其微集水效果最好有关。由于试验年份 7 月份降水量是多年平均的 2.3 倍，不同处理 0~200cm 土壤贮水量在抽雄期和灌浆期都得到了补充，因此处理间没有显著差异。收获期不同覆膜处理土壤贮水量都极显著 ( $P<0.01$ ) 高于不覆膜处理,平均较不覆膜处理增加

表 2 不同处理旱地玉米不同生育时期 0~200cm 土壤贮水量  
Table 2 0~200cm soil water storage at different growth stages in dryland maize under different treatments mm

处理 Treatment	出苗期 Emergence	拔节期 Jointing	抽雄期 Heading	灌浆期 Filling	收获期 Harvesting	平均值 Average
RH0	371.1aA	333.2bB	418.2aA	386.1aA	339.1aA	369.5aA
RH5	372.0aA	321.5cC	417.4aA	388.3aA	340.5aA	367.5aA
RH10	371.3aA	335.4bB	412.8aA	385.4aA	347.7aA	370.1aA
RH15	373.4aA	336.1bB	413.4aA	379.2aA	348.9aA	369.8aA
RH20	373.3aA	346.4aA	416.6aA	387.8aA	340.2aA	372.4aA
CK	366.7aA	338.6bB	413.0aA	391.9aA	325.1bB	366.7aA
平均值 ± 标准偏差 Average ± Standard deviation	371.2 ± 2.6	335.3 ± 8.2	415.4 ± 2.5	386.3 ± 4.2	340.5 ± 8.0	369.3 ± 2.0

注: 不同小写字母表示差异达显著水平 ( $P<0.05$ ), 不同大写字母表示差异达极显著水平 ( $P<0.01$ ), 下同  
Note: Different lowercase letters indicate a significant difference at  $P=0.05$ ; uppercase letters indicate a significant difference at  $P=0.01$ ; the same below

18.2mm, 但不同覆膜起垄高度之间没有显著差异。

2.4 不同处理对旱地玉米生育进程的影响

由于不同处理改变了土壤水热状况, 因此对玉米生育进程的影响明显不同 (表 3)。不同覆膜处理出苗期没有差异, 都较不覆膜提前了 2d。覆膜处理中, 随着起垄高度的增加, 垄侧播种行日平均地温降低, 因此拔节期逐步推迟, 以地膜平铺处理最早, 垄高 5cm 和垄高 10cm 较地膜平铺推迟 1d, 垄高 15cm 和垄高 20cm 推迟 2d。不覆膜处理土壤温度最低, 因此拔节期最迟, 较地膜平铺推迟 5d。随着玉米生育进程的推进, 不同覆膜处理抽雄期和吐丝期相应推迟, 可能与地面封垄后, 不同覆膜起垄高度处理间地温差异逐渐变小有关, 而不覆膜处理由于和覆膜处理间有显著的地温差异, 同时由于不同生育时期地温差异的累加效应, 因此不覆膜处理的抽雄期和吐丝期都较地膜平铺推迟了 7d。由于该区域属于冷凉区, 虽然进行了地膜覆盖, 在早霜期不同处理都没有达到完全生理成熟的标准, 但成熟

表 3 不同处理旱地玉米生育进程  
Table 3 Growing process of dryland maize under different treatments

处理 Treatment	播种期 Sowing	出苗期 Emergence	拔节期 Jointing	抽雄期 Heading	吐丝期 Silking	成熟期 Maturity
RH0	4 月 27 日	5 月 11 日	6 月 23 日	7 月 23 日	7 月 24 日	未成熟
RH5	4 月 27 日	5 月 11 日	6 月 24 日	7 月 24 日	7 月 25 日	未成熟
RH10	4 月 27 日	5 月 11 日	6 月 24 日	7 月 24 日	7 月 25 日	未成熟
RH15	4 月 27 日	5 月 11 日	6 月 25 日	7 月 25 日	7 月 26 日	未成熟
RH20	4 月 27 日	5 月 11 日	6 月 25 日	7 月 25 日	7 月 26 日	未成熟
CK	4 月 27 日	5 月 13 日	6 月 28 日	7 月 30 日	7 月 31 日	未成熟

度有所不同。

2.5 不同处理对旱地玉米产量及相关性状的影响

不同处理由于改变了土壤水热状况和玉米生育进程, 因此最终对产量及相关性状的影响明显不同 (表 4), 不同处理中覆膜垄高 5cm 经济产量和生物产量最高, 主要是其穗长最长, 穗粒数和百粒重都极显著 ( $P<0.01$ ) 大于其他处理的原因, 其中经济产量分别较地膜平铺、垄高 10、15 和 20cm 增产 6.3%、0.9%、5.5% 和 6.3%。其原因是垄高 5cm 处理协调了土壤增温和微集水间的矛盾, 既缓解了由于覆膜起垄引起土壤温度降低的问题, 又可以通过起垄起到微集水的效应。地膜平铺处理经济产量极显著 ( $P<0.01$ ) 低于覆膜垄高 5cm 和垄高 10cm, 主要和百粒重极显著 ( $P<0.01$ ) 降低有关, 且生物产量极显著 ( $P<0.01$ ) 低于其余所有处理。地膜平铺处理虽然播种行地温最高, 但由于其没有微集水效应, 对春旱严重且小雨比例较高的旱地玉米来讲, 没有兼顾地膜覆盖的增温、保墒和微集水作用。覆膜垄高 15cm 和垄高 20cm 经济产量极显著 ( $P<0.01$ ) 低于覆膜垄高 5cm 和覆膜垄高 10cm, 而生物产量也极显著低于 ( $P<0.01$ ) 覆膜垄高 5cm, 这两个处理虽然微集水效应较好, 但由于起垄高度

偏高，造成了垄侧播种行地温明显降低，这对冷凉区玉米产量的形成非常不利。不覆膜处理经济产量极显著 ( $P<0.01$ ) 低于其他所有处理，平均较覆膜处理减产 11.0%。不同处理出子率之间没有显著差异，收获指数以地膜平铺、垄高 5cm 和垄高 10cm 较高，极显著 ( $P<0.01$ ) 高于垄高 15cm、垄

表 4 不同处理旱地玉米产量及相关性状  
Table 4 Grain yield and related yield traits under different treatments in dryland

处理 Treatment	穗长 (cm) Ear length	穗粗 (cm) Ear diameter	穗行数 Ear row number	行粒数 Grain number per row	穗粒数 Grain number per spike	百粒重 (g) 100-grain weight	经济产量 (kg/hm <sup>2</sup> ) Grain yield	生物产量 (kg/hm <sup>2</sup> ) Shoot biomass	出子率 (%) Shelling percentage	收获指数 (%) Harvest index
RH0	14.9abA	7.0aA	17.0aA	34.2aA	579.7bB	32.4cC	12 643.4bB	23 766.9cC	86.6aA	49.9aA
RH5	15.2aA	7.0aA	17.5aA	34.2aA	597.7aA	34.9aA	13 444.0aA	27 540.4aA	87.4aA	48.8abA
RH10	14.5bB	7.1aA	17.4aA	33.2aA	576.0bB	33.7bB	13 330.7aA	25 536.1bB	87.3aA	49.5aA
RH15	14.3bB	7.1aA	17.4aA	32.9aA	573.6bB	33.9bB	12 742.0bB	25 849.6bB	87.1aA	47.7bB
RH20	14.5bB	7.1aA	17.1aA	32.9aA	560.3cC	33.6bB	12 645.0bB	26 506.6bB	86.7aA	44.9cC
CK	13.3cC	7.1aA	17.0aA	30.3bB	514.0dD	33.8bB	10 514.3cC	25 923.0bB	87.1aA	45.6cC

高 20cm 和不覆膜处理。

2.6 不同处理对旱地玉米水分利用效率的影响

由于不同处理间耗水量差异不大，因此不同处理间水分利用效率的差异和经济产量有相同的趋势 (图 4)。不同覆膜处理水分利用效率都极显著 ( $P<0.01$ ) 高于不覆膜处理，平均增加 6.7kg/(hm<sup>2</sup>·mm)，增幅为 26.6%。覆膜处理中，以垄高 5cm 和垄高 10cm 处理水分利用效率最高，极显著 ( $P<0.01$ ) 高于地膜平铺和垄高 20cm 处理，分别平均较地膜平铺和垄高 20cm 处理提高 2.1 和 2.2kg/(hm<sup>2</sup>·mm)，增幅分别为 6.8% 和 7.2%。

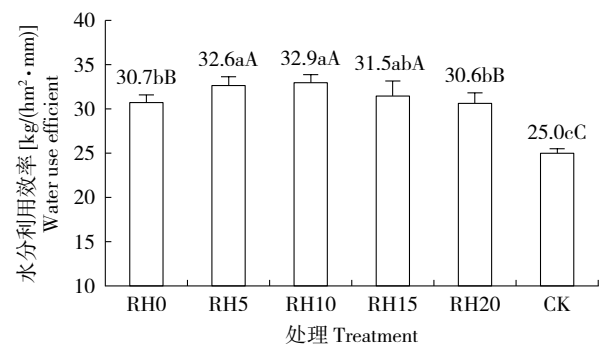


图 4 不同处理旱地玉米水分利用效率  
Fig.4 Water use efficient of dryland maize under different treatments

3 讨论

春季低温是影响冷凉区春玉米增产的一个重要因素<sup>[15]</sup>。玉米作为喜温作物，对低温的耐受程度较低，即使 1℃ 的温度差异也会对玉米生长发育造成影响<sup>[16]</sup>。本研究结果表明，覆膜可显著提高垄侧播种行日平均地温，不同垄高覆膜处理平均较不覆

膜处理提高了玉米苗期 8cm 日平均地温 1.5℃。但当覆膜起垄高度从 0cm 增加到 5、10、15、20cm 时，播种行 8cm 日平均地温从 20.3℃ 逐渐降低为 20.0℃、19.7℃、19.5℃、19.2℃，即垄高每增加 5cm，日平均地温就降低约 0.3℃，这对冷凉区旱地玉米生产来说是非常不利的。其中，日平均地温降低的主要原因是日最高气温的降低，可能随着起垄高度的增加，垄内土壤容量变大，土壤热容量一定的前提下，升温需要的热量就越大，因此升温较慢。刘恩科等<sup>[14]</sup>在冷凉区旱地玉米的研究中也得到了同样的结果。张德奇等<sup>[9]</sup>对旱区谷子的研究也表明苗期地膜平铺较起垄覆膜沟播有更好的增温效果。而李尚中等<sup>[17]</sup>和谢孟林等<sup>[18]</sup>研究表明，玉米生育前期起垄覆膜较平铺地膜土壤温度高，这可能与地膜覆盖程度、当地气候条件以及测定温度的位置和深度有关<sup>[14]</sup>。

起垄覆膜改变了地面的微地形状况，不仅有保墒效应，还有明显的微集水效果，可将小于 5mm 的无效降水转化为有效水贮存于土壤中，提高降水利用率<sup>[9,17,19]</sup>。本研究中，当覆膜起垄高度从 0cm 逐级增加到 5 和 10cm 时，膜侧播种行 0~20cm 土壤含水量分别较地膜平铺增加了 3.6 和 5.3 个百分点，但当覆膜起垄高度从 10cm 逐渐增加到 15 和 20cm 时，膜侧播种行土壤含水量虽有所增加，但并没有显著变化。表明覆膜起垄高度为 5~10cm 的微垄时，即可起到明显的微集水效应。如果起垄高度过高，除了会出现播种时动土量较大引起的机械能耗较大问题外，可能还会出现播种行的熟土大量转移到垄内而影响玉米生长发育的情况<sup>[20]</sup>，另外可能会对残

膜回收增加一定的难度。

微垄覆膜协调了土壤增温和微集水间的矛盾,既缓解了由于覆膜起垄引起的土壤温度降低问题,又可以通过起垄起到微集水的作用,同时兼顾了地膜覆盖的保墒、增温和微集水效应,充分发挥了地膜覆盖的最大增产增效作用<sup>[13]</sup>。本研究中,覆膜垄高 5cm 经济产量最高,显著大于地膜平铺、垄高 15cm 和垄高 20cm,分别增产 6.3%、5.5% 和 6.3%,其次为垄高 10cm,但和垄高 5cm 之间没有显著差异。覆膜垄高 5cm 生物产量也显著大于其他处理。白秀梅等<sup>[10]</sup>在晋北旱作区的研究也得到类似结果,覆膜垄高 10cm 在不同年份分别较地膜平铺增产 21.7% 和 5.9%,但并没有不同覆膜起垄高度间的比较,增产幅度的不同可能和不同气候年型以及土壤条件有关。

起垄覆膜协调了根际土壤水分和土壤温度状况,在耗水量一定的情况下增加了蒸腾/蒸发比,有利于提高水分利用效率<sup>[21-22]</sup>。本研究覆膜处理中,以垄高 5cm 和垄高 10cm 处理水分利用效率最高,显著高于地膜平铺和垄高 20cm 处理,平均较地膜平铺和垄高 20cm 处理分别提高 2.1 和 2.2kg/(hm<sup>2</sup>·mm),增幅分别为 6.8% 和 7.2%。本研究仅为 1 年的试验研究结果,不同年份的试验结果可能会因底墒、降水分、气温状况、土壤肥力等状况有差异,这有待进一步研究。

## 4 结论

干旱缺水、低温冷凉是冷凉区旱地玉米生产中的主要限制因子,微垄覆膜(垄高 5~10cm)可以缓解由于起垄高度增加引起的地温降低问题,同时兼顾地膜覆盖增温、保墒和微集水效应,增产增效,是冷凉区旱地玉米适宜的地膜覆盖方式。

随着覆膜起垄高度增加,垄侧播种行日平均地温逐渐降低,垄高每增加 5cm,玉米苗期播种行 8cm 日平均地温降低 0.3℃;当覆膜垄高从 0cm 逐步增加到 5 和 10cm 时,微集水效应显著增加,但当覆膜高度从 10cm 增加到 15 和 20cm 时,微集水效应没有显著变化;随着覆膜起垄高度增加,玉米生育期推迟,垄高 20cm 玉米拔节期较地膜平铺推迟 2d,抽雄吐丝期相应推迟 2d;覆膜垄高 5cm 和 10cm 经济产量显著大于垄高 15cm、垄高 20cm 和地膜平铺,且覆膜垄高 5cm 处理的生物产量也显

著大于其他处理;覆膜处理中,以垄高 5cm 和垄高 10cm 水分利用效率最高,显著高于地膜平铺和垄高 20cm,平均较平铺和垄高 20cm 分别提高 2.1 和 2.2kg/(hm<sup>2</sup>·mm),增幅分别为 6.8% 和 7.2%。

## 参考文献

- [1]张冬梅,张伟,刘恩科,等.早熟区不同播期旱地玉米产量对施肥水平和种植密度的响应.中国生态农业学报,2013,21(12):1449-1458.
- [2]张冬梅,姜春霞,黄学芳,等.早熟区不同熟期玉米品种产量对播期和施肥方式的响应.中国农学通报,2015,31(24):59-66.
- [3]崔石新,樊明寿,贾立国,等.沟垄集雨技术研究进展及其在旱作马铃薯生产中的应用潜力.作物杂志,2016(5):8-12.
- [4]张维国.不同类型地膜覆盖对马铃薯产量及品质的影响.作物杂志,2013(1):87-90.
- [5]郭满平,刘生瑞,白宏鹏.不同覆膜栽培对玉米土壤水分温度及产量的影响.干旱地区农业研究,2015,33(2):50-55.
- [6]李尚中,樊廷录,王磊,等.不同覆膜方式对旱地玉米生长发育、产量和水分利用效率的影响.干旱地区农业研究,2013,31(6):22-27.
- [7]李小燕,张雷,牛芬菊,等.旱地组合型微垄全膜不同覆盖时期对土壤水分及胡麻生长的影响.干旱地区农业研究,2015,33(2):16-21.
- [8]杨祁峰,岳云,熊春蓉,等.不同覆膜方式对陇东旱塬玉米田土壤温度的影响.干旱地区农业研究,2008(6):29-33.
- [9]张德奇,廖允成,贾志宽,等.宁南旱区谷子地膜覆盖的土壤水温效应.中国农业科学,2005,38(10):2069-2075.
- [10]白秀梅,卫正新,郭汉清.旱地起垄覆膜微集水种植玉米技术研究.山西农业大学学报(自然科学版),2011,31(1):13-17.
- [11]张平良,郭天文,曾骏,等.一种北方旱区密植作物微垄覆膜穴播集雨栽培方法:中国,106171386A. 2016-12-07.
- [12]秦永林,贾立国,崔亚超,等.旱作马铃薯微垄覆膜侧播农艺方法:中国,103460967A. 2013-12-25.
- [13]张冬梅,王娟玲,黄学芳,等.一种冷凉区旱地玉米微垄覆膜播种方法:中国,103843557A. 2014-06-11.
- [14]刘恩科,姜春霞,黄学芳,等.覆膜方式对土壤环境及玉米产量的影响.中国农学通报,2015,31(27):46-52.
- [15]Qin R J, Stamp P, Richner W. Impact of tillage on maize rooting in a Cambisol and Luvisol in Switzerland. Soil and Tillage Research, 2006, 85(1/2):50-61.
- [16]Barlow E W R, Boersma L, Young J L. Photosynthesis, transpiration, and leaf elongation in corn seedlings at suboptimal soil temperatures. Agronomy Journal, 1977, 69(1):95-100.
- [17]李尚中,王勇,樊廷录,等.旱地玉米不同覆膜方式的水温及增产效应.中国农业科学,2010,43(5):922-931.
- [18]谢孟林,查丽,郭萍,等.垄作覆膜对川中丘区土壤物理性状和春玉米产量的影响.干旱地区农业研究,2017,35(2):31-38.
- [19]韩清芳,李向拓,王俊鹏,等.微集水种植技术的农田水分调控效果模拟研究.农业工程学报,2004,20(2):78-82.
- [20]张友昌,张教海,王孝纲,等.垄作的生理生态效应研究进展.棉花科学,2012,34(6):3-8.
- [21]Ramakrishna A, Tam H M, Wania S P, et al. Effect of mulch on soil temperature, moisture, weed infestation and yield of groundnut in northern Vietnam. Field Crops Research, 2006, 95(2/3):115-125.
- [22]谢军红,柴强,李玲玲,等.黄土高原半干旱区不同覆膜连作玉米产量的水分承载时限研究.中国农业科学,2015,48(8):1558-1568.

# Effects of Micro-Ridge Film Mulching on Soil Water and Temperature and Yield of Dryland Maize in Cold Areas

Zhang Dongmei, Huang Xuefang, Jiang Chunxia, Zhang Wei, Wang Xiaojuan, Liu Huatao, Yan Liuying, Liu Enke, Zhai Guangqian

(Dryland Agriculture Research Center, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Taiyuan 030031, Shanxi, China)

**Abstract** Aiming at the two main limiting factors of drought or water shortage and low-temperature in dryland maize production in cold areas, an experiment of single factor random block design was conducted in the demonstration base of water-saving agriculture of Yangqu County, Shanxi Province. Five half-mulching treatments with different ridge heights were set up to study the effects of micro-ridge film mulching on soil water and temperature and yield of dryland maize in cold areas. The results showed that the average soil temperature of film side sowing line 8cm decreased by 0.3 for every 5cm mulching-ridge increase by 5cm; when the ridge height increased from 0cm to 5cm and 10cm, the soil water content of 0-20cm was significantly increased by 3.6 and 5.3 percentage points ( $P<0.01$ ); For every 10cm of mulching ridge height increase, the jointing stage of maize was delayed by 1d, and the stage of sprouting and silking was delayed by 1d. The economic yield ( $P<0.01$ ) of the ridge height 5cm treatment was significantly higher than that of the ridge height of 15, 20 and 0cm treatments, and there was no significant difference with the treatment of 10cm ridge height. The water use efficiencies (WUE) of the treatments of 5cm and 10cm ridge heights, which was significantly higher than that of the 0 and 20cm ridge height, and the average increase was 2.1 and 2.2kg/(hm<sup>2</sup>·mm), which were increased by 6.8% and 7.2%, respectively. The results showed that micro-ridge mulching (ridge height 5-10cm) could coordinate the contradiction between the two of increasing soil temperature and micro-collecting water by increasing the ridge height. And at the same time, it can take into account the effects of mulching of increasing soil temperature, preserving soil moisture and micro-collecting water, and increase yield and WUE. It is an appropriate mulching method for dryland maize in cold areas.

**Key words** Cold areas; Dryland maize; Micro-ridge film mulching; Soil water and temperature; Yield