

覆膜与沟垄种植模式对旱作马铃薯产量形成及水分运移的影响^{*}

秦舒浩¹ 张俊莲¹ 王 蒂^{1**} 蒲育林² 杜全中¹

(¹ 甘肃省干旱生境作物学重点实验室/甘肃农业大学农学院, 兰州 730070; ² 定西市旱作农业研究所, 甘肃定西 743300)

摘 要 研究了覆膜及不同沟垄种植模式对黄土高原西部半干旱区旱作马铃薯产量形成和水分运移的影响. 结果表明: 平畦覆膜(T₂)、全膜双垄沟播(T₃)、全膜双垄垄播(T₄)、半膜膜侧种植(T₅)和半膜沟垄垄播(T₆)种植方式的产量分别比传统平畦不覆膜(T₁)方式高50.1%、75.9%、86.8%、69.6%和60.6%; 水分利用效率(WUE)分别提高47.0%、82.7%、84.0%、75.2%和54.3%, 其中, T₄、T₃产量和WUE增加幅度最大. 与传统方式相比, 各覆膜及沟垄处理普遍优化了马铃薯各产量构成性状, 其中T₄和T₃最有利于大薯率和中薯率的提高、绿薯率和烂薯率的降低, 其单株结薯数和单株薯产量也较高. 因此, 全膜双垄垄播和全膜双垄沟播为半干旱区马铃薯适宜的抗旱节水高产种植模式.

关键词 覆膜 沟垄种植 旱作马铃薯 产量 蒸散量 水分利用效率

文章编号 1001-9332(2011)02-0389-06 **中图分类号** S274.1 **文献标识码** A

Effects of different film mulch and ridge-furrow cropping patterns on yield formation and water translocation of rainfed potato. QIN Shu-hao¹, ZHANG Jun-lian¹, WANG Di¹, PU Yu-lin², DU Quan-zhong¹ (¹Gansu Provincial Key Laboratory of Aridland Crop Science, College of Agronomy, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China; ²Dingxi Institute of Rainfed Agriculture, Dingxi 743300, Gansu, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2011, 22(2): 389–394.

Abstract: This paper studied the effects of different film mulch and ridge-furrow cropping patterns on the yield formation and water translocation of rainfed potato in the semi-arid area of west Loess Plateau. Comparing with those under traditional harrowed bedding without film mulch (T₁), the potato yield under harrowed bedding with film mulching (T₂), completely mulched alternating narrow and wide ridges with furrow planting (T₃), completely mulched alternating narrow and wide ridges with ridge planting (T₄), mulched raised bedding with furrow planting (T₅), and mulched raised bedding with bedding planting (T₆) was increased by 50.1%, 75.9%, 86.8%, 69.6%, and 60.6%, and the water use efficiency (WUE) was increased by 47.0%, 82.7%, 84.0%, 75.2%, and 54.3% respectively, with the increments being the highest under T₄ and T₃. All the film much and ridge-furrow cropping patterns improved the yield component of potato, and T₄ and T₃ were most beneficial to the increase of mid and big tubers, tuber number per plant, and tuber yield per plant, and to the decrease of the proportions of green and blet tubers. It was concluded that completely mulched alternating narrow and wide ridges with ridge planting (T₄) and completely mulched alternating narrow and wide ridges with furrow planting (T₃) were the two better cropping patterns in water-saving and high yielding for potato cultivation in semiarid areas.

Key words: film mulch; ridge-furrow cropping; rainfed potato; yield; evapotranspiration; water use efficiency.

^{*} 现代农业产业技术体系建设专项(Nycytx-15)、甘肃省教育厅项目(0902B-06)、甘肃省农牧厅科技创新项目和甘肃省干旱生境作物学重点实验室开放基金项目(GAU-CX1009)资助.

^{**} 通讯作者. E-mail: wangdi@gsau.edu.cn

2010-07-01 收稿, 2010-11-13 接受.

马铃薯是甘肃陇中半干旱区的特色优势作物,该区生产的马铃薯以品质优、风味佳而闻名^[1-2].但由于该区降雨稀少且无效降雨(<5 mm)较多,导致降雨的利用效率不高,加之旱作栽培技术落后,使马铃薯的产量长期处于较低水平,其他资源的利用效率也不高^[3-4].影响半干旱区作物产量的主要因素是土壤水分,土壤水分不足的主要原因是降雨稀少及土壤水分蒸发强烈^[5].因此,在黄土高原西部半干旱区,如何应用集水、蓄水和保水措施来提高作物生产力,是提高该区农业生产力的关键^[6-8].将天然降水尽可能多地蓄积于土壤中供作物生长发育,是提高旱地作物产量的重要措施^[9].覆膜栽培蓄积降水能变“无效为有效、小水为中水、中水为大水”,效率较高,自1978年我国从日本引进地膜覆盖栽培技术至今,已经在蔬菜、玉米、棉花等作物上大面积推广应用,保水增产效果显著^[10-12].

近年来,甘肃陇中旱作农业区结合该区的降雨及栽培特点在马铃薯栽培中引进地膜覆盖栽培技术,使马铃薯的产量显著提高,增产幅度最高可达60.5%,水分利用效率也同步提高^[13].但由于缺乏规范、高效、统一的种植模式,该区马铃薯生产中采用的地膜覆盖种植方式多种多样,使马铃薯生产存在盲目性,其产量和水分利用效率仍不高,不同气候年型间产量波动仍然很大,同时对马铃薯机械化种植也产生了极大障碍^[14-15].为此,本试验对包括传统种植方式(平畦不覆膜)在内的6种植植模式下旱作马铃薯生长特征、产量形成特性及水分运移规律进行比较研究,以期为提高旱区马铃薯产量和水分利用效率及筛选适宜种植模式提供参考资料.

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

试验于2009年4—10月在甘肃省定西市旱作农业研究所试验站(104°35' N, 35°33' E)进行.该区土壤类型为黄绵土,土层深厚,肥力均匀,贮水性能良好,凋萎含水率7.3%,土壤肥力中等.该区年均辐射592.85 kJ·cm⁻²,年均气温6.4℃,≥10℃积温2239.1℃,年均降水量415 mm,年蒸发量1531 mm,干燥度2.53,为典型的半干旱雨养农业区.该区水土流失严重,生产力水平较低.2007—2009年及近10年各月平均降雨量如图1所示.

1.2 试验设计

本试验共设6个处理,平畦不覆膜(T₁):宽行70 cm,窄行40 cm,作为对照;平畦覆膜(T₂):宽行

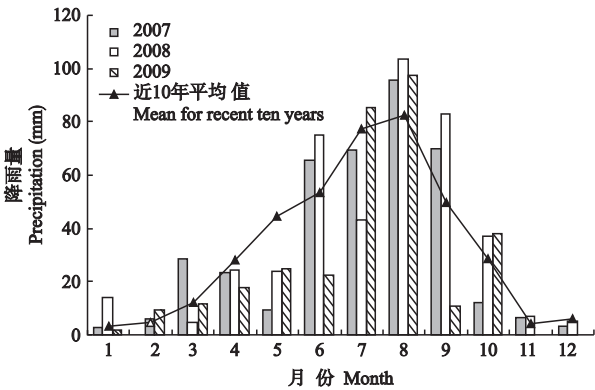


图1 研究区2007—2009年及近10年月平均降雨量
Fig. 1 Mean monthly precipitation in 2007–2009 and for recent 10 years in study area.

70 cm,窄行40 cm,膜上播种2行,膜宽60 cm;全膜双垄沟播(T₃):大小垄种植,垄、沟均覆膜,播种在沟中,大垄高15 cm,垄宽70 cm,小垄高8 cm,垄宽40 cm;全膜双垄垄播(T₄):大小垄种植,垄、沟均覆膜,播种在垄上,并在沟中膜上打孔以利于水分渗入,大垄高15 cm,垄宽70 cm,小垄高8 cm,垄宽40 cm;半膜膜侧种植(T₅):垄上覆膜,垄高15 cm,垄宽70 cm,沟宽40 cm,播种在沟中膜侧位置;半膜沟垄垄播(T₆):垄上覆膜,垄高15 cm,垄宽70 cm,沟宽40 cm,播种在垄上.

以当地主栽品种“新大坪”为供试材料.各处理的株距均为40 cm,密度为45465株·hm⁻²,小区面积为8.0 m×5.5 m,区组间距100 cm,小区间距70 cm,周边留有150 cm的保护行,3次重复,随机排列.播前施马铃薯专用肥750 kg·hm⁻²(N:P₂O₅:K₂O=8:7:10),同时基施优质有机肥30 m³·hm⁻².

1.3 测定项目与方法

1.3.1 产量及产量性状 产量按小区单收计产.每小区取10株考种,计算经济产量(块茎产量),分析产量构成性状,大、中、小薯的评价标准为:大薯250 g以上,中薯50~250 g,小薯50 g以下;只要薯块出现绿色,不管面积多大均记为绿薯.

1.3.2 地上部干物质 采用烘干法测定,样品采回后首先在105℃下杀青5 h,然后在85℃下烘干至恒量.并计算相对生长率(RGR)=(lnW_{t2}-lnW_{t1})/(t₂-t₁),其中,W_{t1}、W_{t2}分别为时间t₁、t₂时的干物质质量.

1.3.3 土壤水分参数 土壤含水量用土钻取土烘干法测定,测定部位与马铃薯种植部位一致,深度为

0~150 cm,其中0~30 cm 每10 cm 一层,30 cm 以下每20 cm 一层. 水分利用效率(WUE)= Y/ET_a ,其中, Y 为马铃薯鲜薯产量; ET_a 为全生育期实际蒸散量; ET_a =播前土壤贮水量+有效降雨量+播前补水量-收获后土壤贮水量;土壤贮水量(mm)=质量含水量(%) \times 土壤容重($g\cdot cm^{-3}$) \times 土层厚度(mm). 土壤容重采用坑测法测定,在试验地的保护区挖一深度为180 cm 的土壤剖面,用体积为200 cm³ 的环刀每10 cm 为一层分层取样,测定深度为150 cm,每层重复3 次,测定相应层次的土壤容重($g\cdot cm^{-3}$).

1.4 数据处理

采用 Microsoft Excel 2003 软件对数据进行处理;采用 SPSS 统计软件进行相关性分析;用 DPS 7.05 统计软件进行方差分析,LSD 法进行差异显著性多重比较($P<0.05$).

2 结果与分析

2.1 沟垄与覆膜种植模式对马铃薯产量及水分利用效率的影响

由表1可知,与传统平畦不覆膜方式(T_1)相比,各沟垄与覆膜种植模式下马铃薯产量均不同程度增加,增幅在50.1%~86.8%. 其中,全膜双垄垄播(T_4)的增产率高达86.8%,其次为全膜双垄沟播(T_3),增产率为75.9%. 可见,全膜双垄垄播和全膜双垄沟播有利于旱作马铃薯产量的提高;如果采用半膜覆盖,则宜选用半膜膜侧种植方式(T_5),其与 T_3 产量差异不显著. 各种植模式下马铃薯水分利用效率(WUE)的高低顺序为 $T_4>T_3>T_5>T_6>T_2>T_1$,其中 T_4 的WUE最高,分别比 T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_5 和 T_6 高83.9%、25.1%、0.7%、5.0%和19.2%, T_3 、 T_4 与 T_1 、 T_2 、 T_5 、 T_6 间差异均达显著水平, T_5 与 T_1 、 T_2 、 T_6 间差异达显著水平.

表2 不同种植模式下马铃薯产量构成要素

Table 2 Yield components of potato under different cropping patterns

处理 Treatment	大薯个数 百分率 Big tuber number rate (%)	大薯质量 百分率 Big tuber mass rate (%)	中薯个数 百分率 Middle tuber number rate (%)	中薯质量 百分率 Middle tuber mass rate (%)	小薯个数 百分率 Small tuber number rate (%)	小薯质量 百分率 Small tuber mass rate (%)	绿薯率 Green tuber rate (%)	烂薯率 Blet tuber rate (%)	单株结薯数 Potato number per plant	单株薯产量 Potato yield per plant (kg)
T_1	14.2c	37.6c	39.7d	46.1d	46.2a	16.3a	3.9a	6.5a	5.1b	0.58b
T_2	14.3c	35.3d	60.2b	59.2a	25.5b	5.5b	1.8c	1.0c	6.5ab	0.88ab
T_3	17.2b	38.6c	61.6ab	58.0a	21.2c	3.4cd	2.0b	4.0b	6.6a	1.03a
T_4	18.5b	38.5c	63.8a	56.5b	18.6c	5.0bc	1.0c	3.4b	7.9a	1.09a
T_5	18.8b	41.6b	53.5c	56.1b	27.7b	2.3d	3.1a	4.2b	6.4ab	0.99a
T_6	20.4a	46.0a	53.4c	49.2c	26.2b	4.8bc	2.6b	5.8a	6.9a	0.94a

表1 不同种植模式下马铃薯产量及水分利用效率
Table 1 Yield and water use efficiency (WUE) of potato under different cropping patterns

处理 Treatment	薯块产量 Tuber yield ($kg\cdot hm^{-2}$)	水分利用 效率 WUE ($kg\cdot hm^{-2}\cdot mm^{-1}$)	增产率 Yield growth rate (%)	WUE 增幅 WUE increment (%)
T_1	26590.1d	77.8d	—	—
T_2	39909.2c	114.4c	50.1	47.0
T_3	46764.1ab	142.1a	75.9	82.7
T_4	49657.8a	143.1a	86.8	83.9
T_5	45107.6b	136.3b	69.6	75.2
T_6	42708.0bc	120.1c	60.6	54.4

同列不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$) Different small letters in the same column meant significant difference among treatments at 0.05 level. 下同 The same below.

2.2 沟垄与覆膜种植模式对马铃薯产量构成要素的影响

种植模式对旱作马铃薯产量性状有显著影响(表2). 沟垄与覆膜种植模式下马铃薯的大薯个数率均不同程度提高,提高幅度为0.8%~43.8%,除 T_2 外,各种植模式的大薯质量百分率均不同程度高于 T_1 ;各种植模式的中薯个数率和中薯质量百分率也明显高于 T_1 ,其中,中薯个数率增幅为41.8%~68.7%, T_4 最高,而中薯质量百分率增幅为6.6%~28.4%, T_2 最高; T_1 的小薯率显著高于其他处理. T_4 的大薯个数率与中薯个数率之和最高,而 T_5 的大薯质量百分率与中薯质量百分率最高. 绿薯率和烂薯率以 T_1 最高,分别达3.9%和6.5%, T_4 的绿薯率最低, T_2 的烂薯率最低;其他5种植植模式的单株结薯数和单株结薯产量均不同程度高于 T_1 , T_4 的单株结薯数和单株结薯产量均为最高.

2.3 不同种植模式下马铃薯地上部干物质积累特征与相对生长率(RGR)

不同种植模式下旱作马铃薯干物质积累特征存在明显差异(图2). 在初期,各处理之间的差异不

大,但随马铃薯生育进程的推进,处理之间的差异增大.整个生育期 T_4 的干物质积累量最大,其次为 T_3 、 T_5 和 T_6 居中,两者之间差异不大, T_2 较低, T_1 最低.在马铃薯生长初期(6月16日), T_4 干物质积累分别比 T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_5 和 T_6 高116.9%、68.0%、1.4%、21.4%和9.3%;而到生长后期(8月28日), T_4 分别比 T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_5 和 T_6 高231.6%、103.5%、19.9%、67.9%和64.8%.可见,从地上部生长量看,全膜双垄垄播(T_4)显著高于其他处理,其次为全膜双垄沟播(T_3).

由图2可知,在马铃薯生长初期, T_2 、 T_3 和 T_4 的相对生长率(RGR)明显高于 T_1 、 T_5 和 T_6 ;到生长中期,RGR以 T_4 最高,其次为 T_2 、 T_3 和 T_5 , T_1 和 T_6 较低;生长后期,RGR高低顺序为 $T_4>T_3>T_5>T_6>T_2>T_1$, T_4 分别比 T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_5 和 T_6 高31.2%、25.4%、13.3%、20.6%和22.7%;到收获时, T_1 的RGR为正值,其余处理均为负值,说明在干物质的输出效率上其他处理均高于 T_1 ,且以 T_4 最高.

2.4 沟垄与覆膜种植模式下马铃薯田水分运移特征

2.4.1 马铃薯各生育阶段0~50 cm 平均土壤贮水量 由图3可知,不同种植模式马铃薯田0~50 cm 土壤贮水量在不同生育时期的变化规律基本一致,播种后到6月30日土壤蒸发量较小,并且由于幼苗营养体较小植株耗水量不大,各处理土壤贮水量呈上升趋势;在6月30日到7月20日间没有降雨,各处理土壤贮水量均降到最低点.之后虽然降雨增多,但由于马铃薯植株耗水量增大,各处理土壤贮水量上升不明显,但各处理间差异显著.在马铃薯整个生育期, T_4 、 T_3 和 T_5 处理0~50 cm 土壤贮水量均高于其他处理,而 T_1 处理始终最低.可见,覆膜及起垄

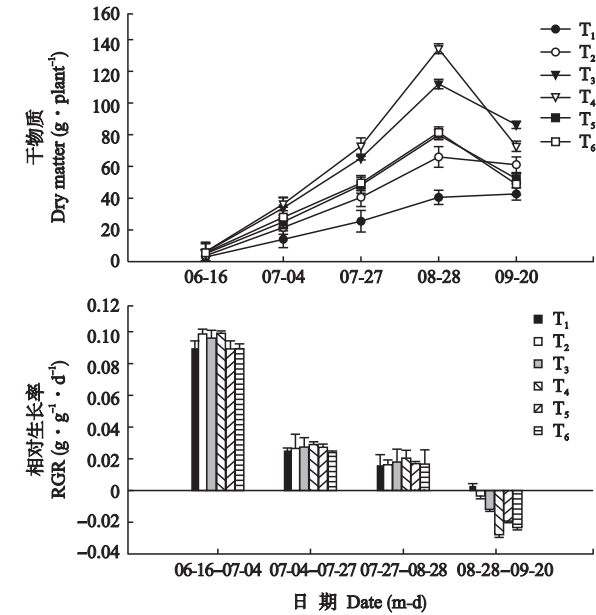


图2 不同种植模式下马铃薯地上部干物质积累特征与相对生长率

Fig. 2 Accumulation characteristics of dry matter and relative growth rate (RGR) of aboveground organs for potato under different cropping patterns.

能不同程度提高土壤贮水量.

2.4.2 马铃薯收获后土壤贮水量与总蒸散量(ET_a)

由表3可以看出,不同种植模式下旱作马铃薯田蒸散量有较大差异,实际蒸散量的高低顺序为 $T_6>T_2>T_4>T_1>T_5>T_3$.其中, T_6 与各处理间的差异均达显著水平,除 T_2 与 T_4 , T_3 与 T_5 间差异不显著外,其他处理间差异均达显著水平.

2.4.3 马铃薯不同生育阶段实际蒸散量(ET)

由图4可知,不同种植模式下马铃薯田在不同生育阶段的蒸散量存在较大差异.在生长初期, T_1 的蒸散量较高,此期地面覆盖度不大,蒸散以土壤蒸发为

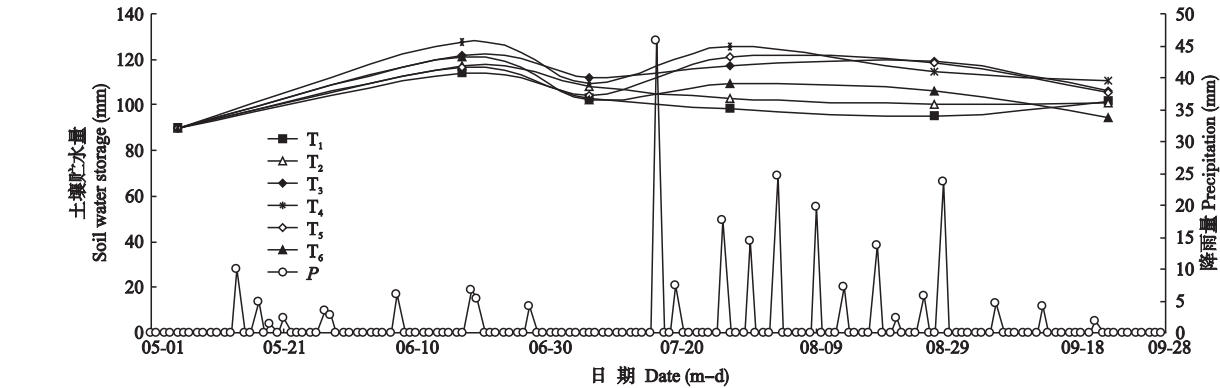


图3 不同种植模式下马铃薯各生育阶段0~50 cm 土壤平均贮水量

Fig. 3 Average water storage at 0-50 cm soil layer at different growth stages of potato under different cropping patterns.

P:降雨量 Precipitation.

表 3 不同种植模式下马铃薯田土壤贮水量与总蒸散量
Table 3 Soil water storage and total evapotranspiration (ET_a) in potato field under different cropping patterns (mm)

处理 Treat- ment	播前土壤 贮水量 Soil water storage before sowing	收获后 土壤贮水量 Soil water storage after harvesting	生育期降 雨量 Precipitation during growth stage	生育期蒸散量 Evapotrans- piration during growth stage
T ₁	255. 2	301. 9a	278. 8	341. 7c
T ₂	255. 2	294. 7a	278. 8	348. 9b
T ₃	255. 2	314. 5a	278. 8	329. 1d
T ₄	255. 2	296. 7a	278. 8	346. 9bc
T ₅	255. 2	312. 8a	278. 8	330. 9d
T ₆	255. 2	287. 9a	278. 8	355. 7a

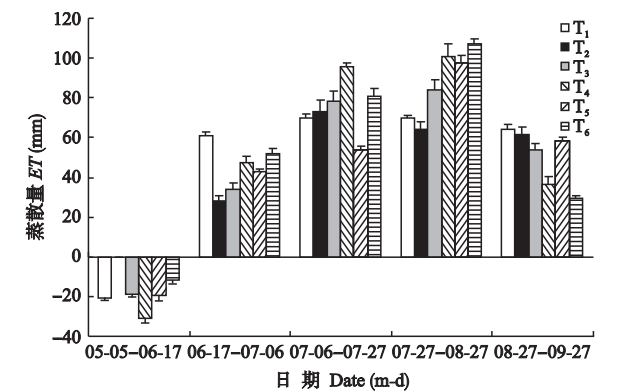


图 4 不同种植模式下马铃薯不同生育阶段实际蒸散量
Fig. 4 Evapotranspiration in potato field at different growth stages under different cropping patterns.

主;随地面覆盖度的增大,各覆盖处理的蒸散量逐渐增大,在马铃薯生长盛期达到最大;生长末期,随马铃薯植株的衰老,地表覆盖度逐渐降低,T₁的蒸散量又达到最高.各处理中,T₃、T₄、T₅和T₆在生长中期较高,末期较低,T₂在生长前期较低,中后期较高.

3 讨 论

在水分为农业生产主要限制因子的半干旱农业区,获取较高的作物产量及高资源利用率是人们追求的主要目标^[16].覆膜能提高作物产量已经在玉米、棉花和蔬菜等经济作物上得到证实^[7,9-10].本研究结果表明,覆膜与沟垄种植模式能显著提高旱作马铃薯产量,增幅为 50.1% ~ 86.8%,其中以全膜双垄垄播产量最高,其次为全膜双垄沟播(表 2).由于马铃薯的产品器官在地下,且栽培过程中需要培土,所以在保证降水能充分入渗的条件下,全膜双垄

垄播更适合马铃薯种植,这一点与玉米略有区别.
研究表明,黄土高原西部半干旱区在马铃薯苗期集雨限灌 45 mm 能改善其产量构成性状,尤其是大薯率与中薯率总和得到显著提高,小薯率明显下降,绿薯率和烂薯率降低,从而显著提高了马铃薯产量和 WUE^[17].本试验中覆膜及沟垄种植模式下马铃薯的大薯个数百分率、大薯质量百分率、中薯个数百分率和中薯质量百分率均不同程度提高(表 3);其中,中薯个数百分率和单株结薯数对产量的贡献最大(表 4),这一点与集雨限灌研究结果稍有差异^[18-19],可能是覆膜及沟垄种植模式在提高土壤贮水量(图 3)的同时也改变了土壤温度所致^[20-21].覆膜及沟垄种植方式下土壤水分含量提高后,不但促进了块茎生长,同时也促进了地上部生长,表现为全膜双垄垄播和全膜双垄沟播地上部干物质积累量和 RGR 较高(图 2).覆膜及沟垄种植模式能显著提高旱作马铃薯的 WUE,其中以全膜双垄垄播和全膜双垄沟播较高.这两种模式在农田 ET 增加不大或略有降低的情况下(图 3),由于全田覆膜增加了植株蒸腾耗水率,降低了土壤水分无效蒸发,进而提高了 WUE^[3,22].综合分析马铃薯产量、WUE 及农田蒸散量,全膜双垄垄播和全膜双垄沟播两种种植模式是适合陇中半干旱区马铃薯生产的抗旱高产种植模式.另外,半膜膜侧种植的马铃薯产量和 WUE 增幅分别达 69.6% 和 75.2%,并可以节省部分地膜,所以如果采用半膜种植,则半膜膜侧种植也可以作为一个备选方案.

参考文献

[1] Zhao Y-P (赵永平), Han J-M (韩建民). Competitive power of Gansu potato industry. *Journal of Gansu Agricultural University* (甘肃农业大学学报), 2005, **40** (2): 250-255 (in Chinese)

[2] Li J-W (李建武), Wang D (王 蒂), Si H-J (司怀军). Physiological response of test-tube plantlets of potato under water stress. *Journal of Gansu Agricultural University* (甘肃农业大学学报), 2005, **40** (3): 319-323 (in Chinese)

[3] Tian Y (田 媛), Li F-M (李凤民), Liu X-L (刘效兰). Effects of different ridge-furrow planting patterns of potato on soil evaporation in semiarid area. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2007, **18** (4): 795-800 (in Chinese)

[4] Chen G-R (陈光荣), Gao S-M (高世铭), Zhang X-Y (张晓艳). The effect of potassium application and water supplement in different stages on potato yield and WUE in semiarid area. *Agricultural Research in the Arid Areas* (干旱地区农业研究), 2009, **26** (5): 41-46

- (in Chinese)
- [5] Rockstrom J, Barron J, Fox P. Rain water management for increased productivity among small-holder farmer in drought prone environments. *Physics and Chemistry of the Earth*, 2002, **27**: 949–959
 - [6] Qin S-H (秦舒浩), Li L-L (李玲玲). Accumulation and distribution of dry matter and grain filling of spring wheat postanthesis under supplementary irrigation catchments rainfall. *Journal of Soil and Water Conservation* (水土保持学报), 2005, **19**(4): 173–177 (in Chinese)
 - [7] Li L-L (李玲玲), Qin S-H (秦舒浩). Yield and water use efficiency of wheat/corn compound colony under supplementary irrigation with catchment rainfall. *Agricultural Research in the Arid Areas* (干旱地区农业研究), 2005, **23**(6): 38–41 (in Chinese)
 - [8] Hou XY, Wang FX, Han JJ, *et al.* Duration of plastic mulch for potato growth under drip irrigation in an arid region of Northwest China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2010, **150**: 115–121
 - [9] Ren Y-J (任杨俊), Li J-L (李建牢), Zhao J-X (赵俊侠). Summary of rainfall resources utilization. *Journal of Soil and Water Conservation* (水土保持学报), 2000, **14**(1): 88–92 (in Chinese)
 - [10] Wang C-R (王彩绒), Tian X-H (田霄鸿), Li S-X (李生秀). Effects of plastic sheet-mulching on ridge for rainwater-harvesting cultivation on WUE and yield of winter wheat. *Scientia Agricultura Sinica* (中国农业科学), 2004, **37**(2): 208–214 (in Chinese)
 - [11] Ren X-L (任小龙), Jia Z-K (贾志宽), Chen X-L (陈小莉). Effects of ridge and furrow planting for rainfall harvesting on photosynthetic characteristics and yield in corn in semi-arid regions. *Acta Agronomica Sinica* (作物学报), 2008, **34**(5): 838–845 (in Chinese)
 - [12] Zhu G-Q (朱国庆), Shi X-G (史学贵), Li Q-Z (李巧珍). Techniques of water micro-collection spring wheat farmland in semiarid areas of Dingxi. *Chinese Journal of Agrometeorology* (中国农业气象), 2002, **22**(3): 6–9 (in Chinese)
 - [13] Liang X-W (梁馨文), Ren R-L (任瑞丽), Zhang L-Q (张丽清). Application and generalization of film cover practice for potato. *Modern Agricultural Science & Technology* (现代农业科技), 2009 (23): 143–144 (in Chinese)
 - [14] Chen Z-Q (陈仲全). An experiment of covered ridge-planted flute for catching the precipitation in the semi-arid field. *Advances in Water Science* (水科学进展), 1995, **6**(3): 243–247 (in Chinese)
 - [15] Li S-Q (李树青). The problem of mechanization of farming and agricultural art for potato standardization production. *Agricultural Technology & Equipment* (农业技术与装备), 2009(21): 28–31 (in Chinese)
 - [16] Ledoigt G, Griffaut B, Debiton E, *et al.* Analysis of secreted protease inhibitors after water stress in potato tubers. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2006, **38**: 268–271
 - [17] Wang FX, Kang YH, Liu SP. Effects of drip irrigation frequency on soil wetting pattern and potato growth in North China Plain. *Agricultural Water Management*, 2006, **79**: 248–264
 - [18] Qin S-H (秦舒浩), Zhang J-L (张俊莲), Wang D (王蒂), *et al.* Effects of limited supplemental irrigation with catchment rainfall on potato growth in rainfed areas of western Loess Plateau. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2009, **20**(11): 2665–2670 (in Chinese)
 - [19] Qin S-H (秦舒浩), Zhang J-L (张俊莲), Wang D (王蒂), *et al.* Effects of limited supplemental irrigation using harvested rainfall on rainfed potato yield and water use efficiency. *Journal of Irrigation and Drainage* (灌溉排水学报), 2009, **28**(4): 93–95 (in Chinese)
 - [20] Wang Q (王琦), Zhang E-H (张恩和), Li F-M (李凤民). Runoff efficiency and soil water comparison of plastic-covered ridge and ridge with compacted soil at different rainfall harvesting stages in semiarid area. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2004, **24**(8): 1816–1819 (in Chinese)
 - [21] Wang FX, Feng SY, Hou XY, *et al.* Potato growth with and without plastic mulch in two typical regions of Northern China. *Field Crops Research*, 2009, **110**: 123–129
 - [22] Tian Y, Su DR, Li FM, *et al.* Effect of rainwater harvesting with ridge and furrow on yield of potato in semi-arid areas. *Field Crops Research*, 2003, **84**: 385–391

作者简介 秦舒浩,男,1972年生,博士,副教授。主要从事蔬菜栽培与农田水分生理研究,发表论文30篇。E-mail:qin-sh@gsau.edu.cn

责任编辑 张凤丽
