

中图分类号: S532 文献标识码: A 文章编号: 1672-3635(2023)01-0018-08

DOI: 10.19918/j.cnki.1672-3635.2023.01.003

栽培生理

秸秆局部覆盖种植对土壤水热及旱地马铃薯产量的影响

马菊花, 黄彩霞*

(甘肃农业大学水利水电工程学院, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 秸秆覆盖种植是一项新型的绿色环保、可持续发展的旱作农业种植技术。为充分规避秸秆全地面覆盖的低温效应对作物出苗、甚至产量的影响, 通过采用秸秆局部覆盖的种植方式, 研究确定适合旱作马铃薯增产提效的种植模式。在甘肃省定西市以传统露地平作种植为对照, 设高垄秸秆局部覆盖(RM)、平作秸秆局部覆盖(FM)及地膜局部覆盖(PM)研究秸秆局部覆盖种植方式对土壤水热分布变化及马铃薯产量的影响。覆盖较CK提高0~180 cm土层平均土壤贮水6.55%~16.81%, 平均提高12.25%, 覆盖间保墒效果RM>FM>PM。与CK相比, PM提高马铃薯全生育期0~25 cm土层土壤平均温度1.24℃, 秸秆覆盖的降温效应FM高于RM, FM及RM降低土壤平均温度1.82和1.25℃。覆盖较CK显著提高马铃薯产量及水分利用效率(Water use efficiency, WUE), 覆盖较CK增产20.55%~22.65%, WUE提高23.25%~26.67%。可见, 高垄秸秆局部覆盖(RM)是一种增产提效且适宜于西北旱作农业绿色可持续发展的种植模式。

关键词: 马铃薯; 秸秆局部覆盖; 水分; 温度; 产量

Effects of Partial Straw Mulching on Soil Moisture, Temperature and Potato Yield in Dry Land

MA Juhua, HUANG Caixia*

(College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: Straw mulch planting is a new green and sustainable dry farming technology. In order to fully avoid the influence of low temperature effect of straw mulching on crop emergence and even yield, the planting mode of partial straw mulching was adopted to study and determine the planting mode suitable for increasing yield and economic benefit of dry land planting potatoes. In Dingxi City, Gansu Province, compared with the traditional flat planting without mulching (CK), the effects of high ridge with partial straw mulching (RM), flat planting with partial straw mulching (FM) and flat planting with partial plastic film mulching (PM) on soil moisture and temperature distribution, and potato yield were studied. Compared with CK, the average soil water storage by mulching in 0-180 cm soil layer was increased by 6.55%-16.81%, with an average increase of 12.25%. The soil moisture conservation effect with mulching was as RM>FM>PM. Compared with CK, PM increased the average soil temperature in 0-25 cm soil layer by 1.24℃ during the whole growth period. The cooling effect of straw mulching of FM was higher than that of RM, and FM and RM reduced

收稿日期: 2023-02-12

基金项目: 国家自然科学基金项目(31960380); 兰州市科技计划项目(2022-2-62)。

作者简介: 马菊花(1995-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为节水灌溉及旱作农业水资源高效利用。

*通信作者(Corresponding author): 黄彩霞, 博士, 教授, 主要从事节水灌溉及旱作农业水资源高效利用研究, E-mail: xlish2008@163.com。

the average soil temperature by 1.82 and 1.25°C, respectively. Compared with CK, mulching significantly improved potato yield and water use efficiency (WUE), increasing yield by 20.55%-22.65% and WUE by 23.25%-26.67%. Therefore, high ridge with partial straw mulching (RM) is a planting pattern that could increase yield and improve economic benefit and is suitable for the green and sustainable development of dryland agriculture in Northwest China.

Key Words: potato; partial straw mulching; water; temperature; yield

定西市安定区地处祁连山加里东褶皱带东部,属甘肃省中部“陇西盆地”的一部分,是全国最适宜马铃薯种植的三大主产区之一,有“中国马铃薯之乡”之称^[1],属典型的寒旱农业区,主要表现为冬、春季多风干燥少雨,秋季雨多且集中,因区域光、雨、热等特点与马铃薯块茎膨大期高度吻合^[2],使定西市具有适宜不同类型马铃薯栽培生产种植的天然条件^[3,4]。自然降水补给对北方旱区农业是不可或缺的,但由于降水的时空不均匀性导致被作物吸收利用的水分只占总量 1/3 左右^[5]。对此,近年来甘肃省逐渐推广了一些新型地表覆盖措施,使降水得到充分利用,从而达到增产提效目的^[6]。研究表明,地膜覆盖可起到保温、保墒、改善土壤水热状况的作用,从而提高作物产量^[7-9]。但在马铃薯生育中后期可能会出现高温高湿并存胁迫,影响作物产量^[10],且长期使用地膜对作物质量、环境造成很大危害^[11],威胁以牧草为食的动物健康^[12]。因此,探寻一种蓄水保墒、缓冲土壤高温高湿胁迫、高效利用水资源的种植模式是实现旱作马铃薯增产提效的关键。秸秆局部覆盖种植方式是利用“种植带不覆盖,覆盖带不种植”的原则,使种植带与覆盖带相间排列,具有蓄水保墒和调温作用,且绿色环保,适宜作物的生长发育,进而有较高的增产效应^[13],在小麦和马铃薯研究上增产效果显著^[14,15]。基于此,本研究以传统露地平作种植为对照,探明秸秆局部覆盖种植方式改变引起的土壤水热分布的变化对马铃薯产量的影响,为寻求旱作马铃薯绿色环保覆盖种植栽培模式提供理论支撑。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于2020年5~9月在甘肃省定西市安定区

西川灌溉试验站(E 104°36', N 35°33')进行。该试验基地海拔1 900 m,属温带半干旱大陆性气候。该区多年平均降水量450 mm,且降水主要集中在7~9月,蒸发量高达1 500 mm,年均日照时数2 433 h,年平均气温6.3°C。试验区土壤以黄绵土为主,土壤平均容重为1.6 g/cm³。

1.2 试验材料与设计

采用随机区组设计,设高垄、平作2种植方式,有玉米秸秆整秆局部覆盖及覆膜覆盖2种覆盖材料,玉米秸秆覆盖量为6 000 kg/hm²,以传统露地平作为对照(CK),共4个处理(图1),3次重复,小区面积60 m²。高垄秸秆局部覆盖(High ridge with partial straw mulching, RM):垄上种植,垄沟覆盖玉米秸秆整秆,种植带种植马铃薯2行;平作秸秆局部覆盖(Flat planting with partial straw mulching, FM):平作种植,种植带与覆盖带相间排列,种植带上种植马铃薯2行,种植带不覆盖,覆盖带采用玉米秸秆覆盖;地膜局部覆盖(Flat planting with partial plastic film mulching, PM):平作种植,采用黑膜局部覆盖,膜上穴播种植2行马铃薯;传统露地平作(Flat planting without mulching, CK):传统露地平作种植,无覆盖。试验材料为马铃薯品种‘新大坪’,种植行距各处理均为60 cm,穴播深度15 cm,种植密度5万株/hm²。试验地采用传统耕作,播种前7 d整地起垄后即进行秸秆覆盖,试验地为旱作无灌水措施,定期进行人工除草,田间管理同当地一致。

1.3 测定指标与方法

1.3.1 土壤含水量

在马铃薯播种期(4月25日)、块茎形成期(6月18日)、块茎膨大期(8月1日)、淀粉积累期(8月20日)及成熟期(8月26日)于各小区各土层(0~

20、20~40、40~60、60~90、90~120、120~150、150~180 cm)覆盖带及种植带分别钻取土样, 采用 $(105.0 \pm 2.0)^\circ\text{C}$ 的恒温下烘干后计算土壤含水

量, 各处理土壤含水量加权平均计算。

计算公式为: 土壤含水量(%) = (原土重 - 烘干土重)/烘干土重 $\times 100$

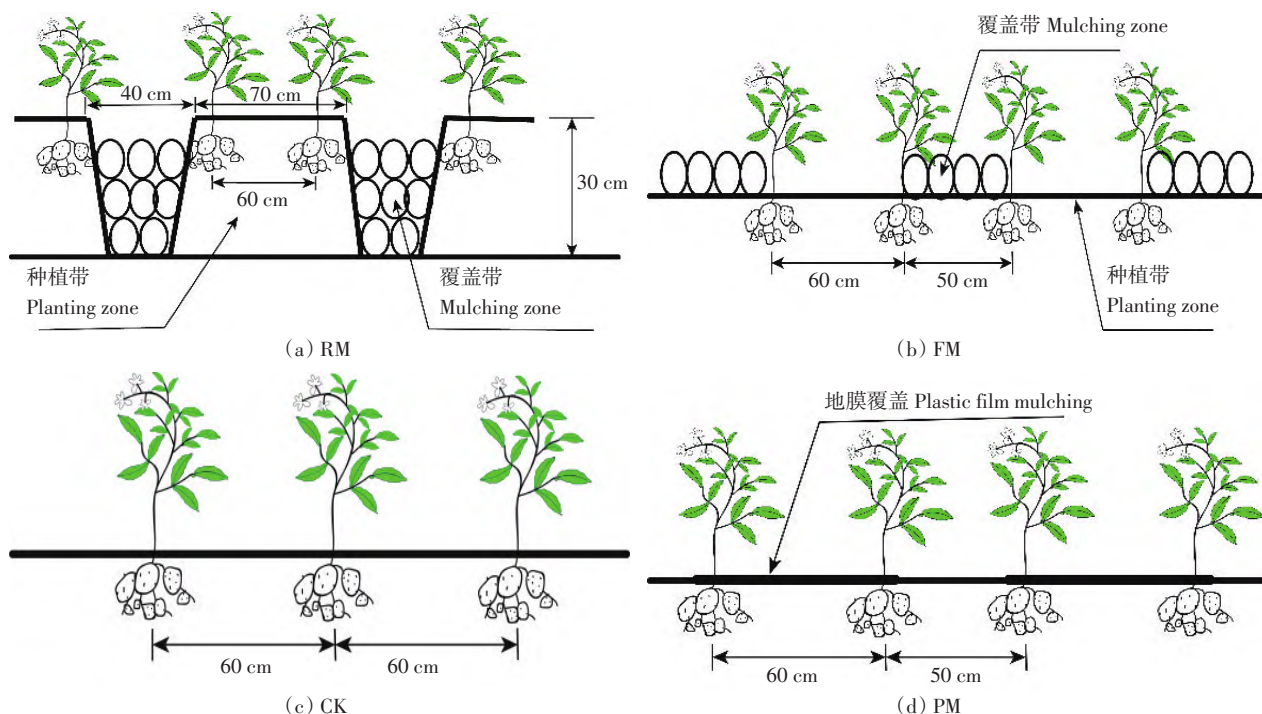


图1 马铃薯田间种植示意图

Figure 1 Schematic diagram of potato field planting

1.3.2 土壤贮水量

土壤贮水量计算公式为: $W = h \times \rho \times \omega \times 0.1$

式中: W 为土壤贮水量(mm); h 为土层深度(cm); ρ 为土壤容重(g/cm^3); ω 为土壤含水量(%).

1.3.3 土壤温度

采用HY-1型直角地温计, 马铃薯播种后于各处理小区种植带和覆盖带内埋设, 埋深分别为5, 10, 15, 20和25 cm, 各生育时期均在干燥晴天分别读取早(7:00)、中(14:00)、晚(19:00)各土层温度计读数, 各处理土壤温度以种植带和覆盖带温度加权平均计算。

1.3.4 马铃薯产量及其性状指标

马铃薯完全成熟后(9月2日), 各小区随机挖取15株, 进行室内考种, 并将单个块茎鲜重按照重量分为大薯(单薯重 $>150\text{ g}$)、中薯($75\text{ g} \leq$ 单薯重 $\leq 150\text{ g}$)和小薯(单薯重 $<75\text{ g}$), 分别计算大、

中、小薯率及商品薯率。收获时产量按3次重复小区实际鲜薯产量的平均值折算。

商品薯率(%) = 单薯鲜重75 g以上的产量/马铃薯鲜薯总产量 $\times 100$

干薯产量(kg/hm^2) = 小区实测鲜薯产量 $\times (1 - \text{块茎含水量})$

1.4 数据整理与分析

采用Microsoft Excel 2019及Origin 2021进行数据整理与作图, SPSS 23.0进行统计分析, 方差分析处理平均值多重比较采用最小显著差数法(Least significant difference, LSD)进行($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 局部覆盖种植对0~180 cm土层土壤贮水的影响

由表1可知, 覆盖显著提高马铃薯全生育时

期0~180cm土层平均土壤贮水。与CK相比，覆盖显著提高土壤贮水量6.55%~16.81%，平均提高12.25%，其中RM在块茎形成期及成熟期提高幅度最大，分别为33.82%和30.71%，其次为FM处理，两个时期分别为29.43%和29.74%。与PM相比，RM及FM分别提高全生育期平均土壤贮水9.63%及6.41%，二者均在成熟期提高幅度最为突出，分别提高24.50%及23.58%。秸秆局部覆盖处理间，RM较FM提高全生育期平均土壤贮水3.03%，其中在块茎膨大期提高幅度最突出，为6.60%。

表1 全生育期马铃薯土壤0~180 cm土层土壤贮水量						
Table 1 Water storage capacity of 0~180 cm soil layer in potato planting soil during whole growth period						
处理 Treatment	播种期(mm) Sowing	块茎形成期(mm) Tuber initiation	块茎膨大期(mm) Tuber bulking	淀粉积累期(mm) Starch accumulation	成熟期(mm) Maturity	全生育时期平均(mm) Average over whole growth period
RM	383.22 a	411.41 a	379.07 a	395.95 a	411.61 a	396.25 a
FM	382.83 a	397.92 b	355.59 ab	378.16 b	408.56 a	384.61 b
PM	384.76 a	387.35 c	345.50 b	359.05 c	330.60 b	361.45 c
CK	380.04 a	307.44 d	335.50 b	358.23 c	314.90 c	339.22 d

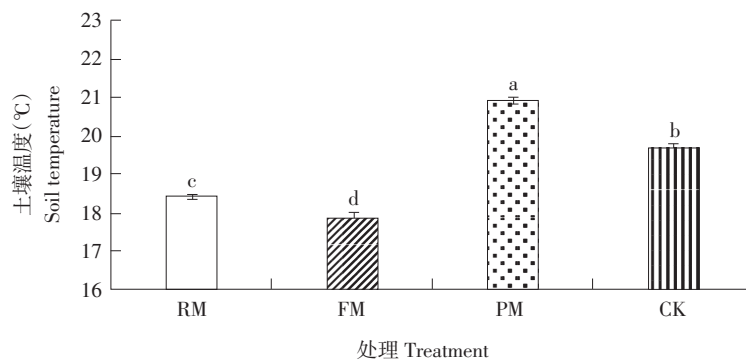
注：同列数据上标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)，采用最小显著差数法(Least significant difference, LSD)。下同。
Note: Treatments with different lowercase letters in the same column indicate significant differences ($P<0.05$) as tested using least significant difference (LSD) method. The same below.

2.2 局部覆盖种植对土壤温度的影响

2.2.1 全生育时期0~25 cm土层平均温度

马铃薯全生育期0~25 cm土层土壤平均温度各处理间以PM土壤平均温度最高，FM最低(图2)。

具体来看，PM具有增温效应，较CK提高0~25 cm土层土壤平均温度1.24℃，秸秆局部覆盖(RM、FM)具有降温效应，RM及FM分别较CK降低1.25和1.82℃，FM降温效应高于RM。



注：处理上标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)，采用最小显著差数(Least significant difference, LSD)法。下同。
Note: Treatments with different lowercase letters indicate significant differences ($P<0.05$) as tested using least significant difference (LSD) method. The same below.

图2 各处理全生育期0~25 cm土层平均温度
Figure 2 Mean soil temperature of 0~25 cm soil layer during whole growth period of each treatment

2.2.2 马铃薯关键生育时期0~25 cm土层土壤剖面温度变化

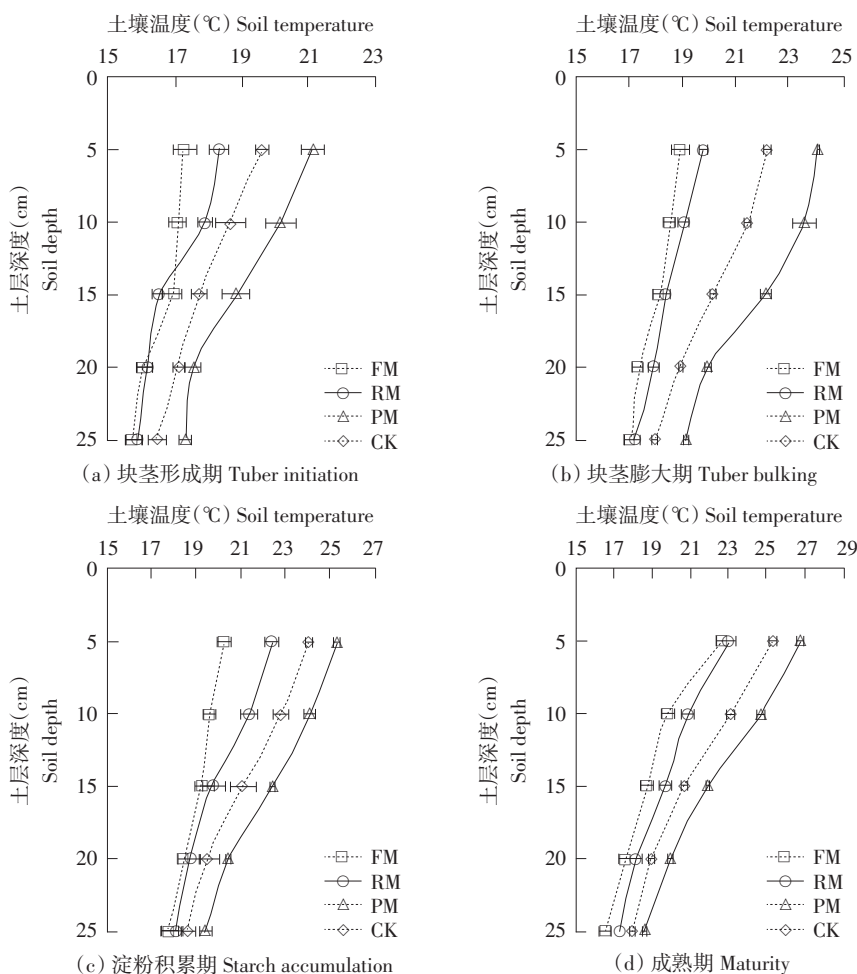
各处理0~25 cm土层土壤剖面温度均随土层

深度的增加表现为降低趋势(图3)。各生育时期各土层土壤温度均以PM最高，FM最低。具体来看，与CK相比，PM在各生育时期各土层均表现

为增温效应, 平均增温 1.26℃, 秸秆局部覆盖处理(RM、FM)均表现为降温效应, 依次降温 1.28 和 1.93℃, 其中, PM 在块茎膨大期 5~10 cm 土层增温最明显, 增温 2.13℃, RM 和 FM 在 5~10 cm 土层降温最为明显, RM 及 FM 分别降温 2.36 和 3.27℃。与 PM 相比, 秸秆局部覆盖处理平均降温 2.86℃, RM 在各生育期降温 2.03~3.30℃, FM 在各生育期降温 2.37~3.77℃, 各生育期降温效应 FM 亦高于 RM。

2.3 局部覆盖种植对马铃薯产量及水分利用效率(WUE)的影响

覆盖显著提高马铃薯产量及水分利用效率(Water use efficiency, WUE)(图4)。与 CK 相比, PM、RM 和 FM 产量分别提高 22.65%、20.55% 和 21.66%, WUE 分别提高 23.25%、25.66% 和 26.67%。与 PM 相比, 秸秆覆盖(RM、FM)分别减产 1.71% 及 0.81%, 但 WUE 却依次提高 1.96% 及 2.77%, 但处理间差异均未达到显著水平。



注: 误差线表示平均值的标准误($n=3$)。

Note: Error bar represents standard error of mean value ($n=3$).

图3 马铃薯关键生育时期0~25 cm土层土壤温度分布

Figure 3 Soil temperature distribution in 0~25 cm soil layer during critical growth period of potato

相关分析可知, 产量与商品薯率 $r = 0.739^{**}$ 、大薯率 $r = 0.720^{**}$ 、水分利用效率 $r = 0.987^{**}$, 均

呈极显著正相关关系。可见, 覆盖增产的主要原因在于提高了马铃薯商品薯率及水分利用效率。

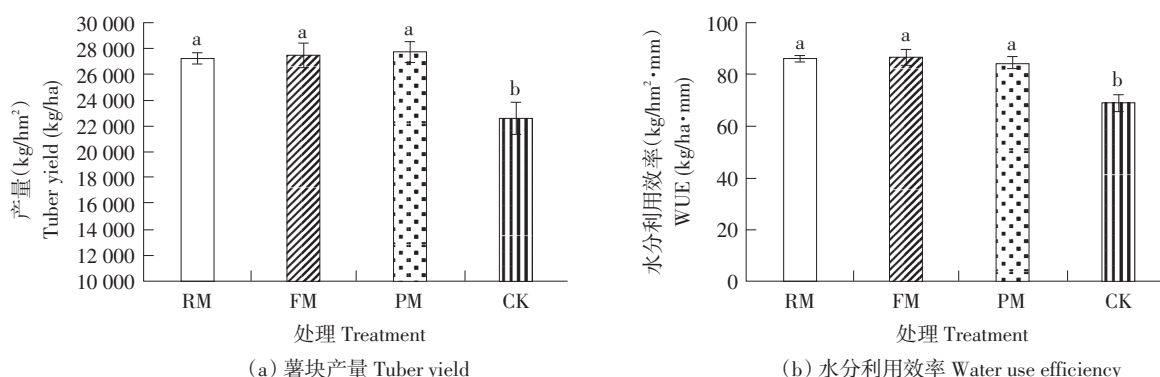


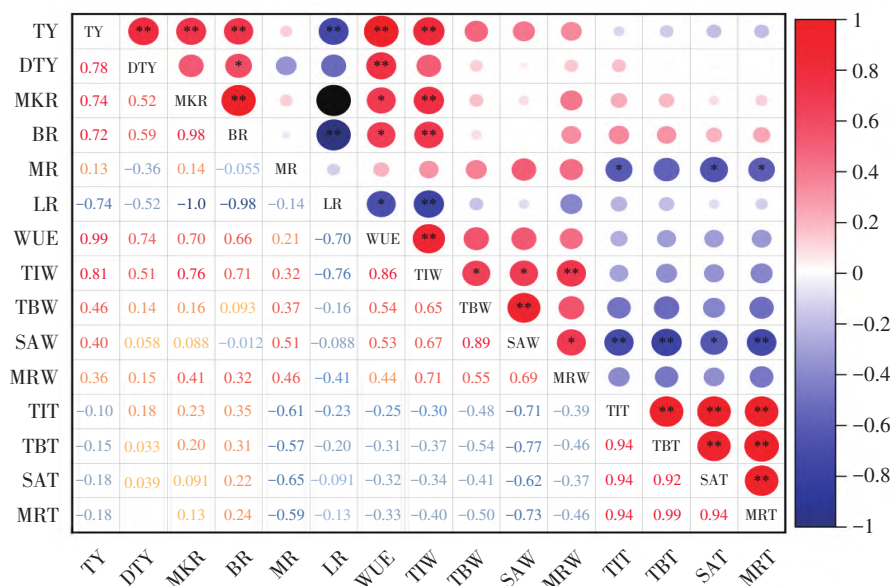
图4 覆盖对马铃薯产量及水分利用效率的影响

Figure 4 Effects of mulching on tuber yield and water use efficiency

2.4 马铃薯关键生育期土壤水温与产量的关系

相关分析显示(图5), 马铃薯产量($r = 0.81^{**}$)、大薯率($r = 0.71^{**}$)、商品薯率($r = 0.76^{**}$)及水分利用效率($r = 0.86^{**}$)与块茎形成期0~180 cm土壤贮水呈极显著正相关, 与其余关键生育时期土壤

贮水未达到显著水平; 马铃薯薯块产量、水分利用效率及中薯率与0~25 cm土壤温度呈负相关, 其中中薯率与关键生育时期土壤温度(除块茎膨大期不显著)均呈显著负相关关系, 其余指标未达到显著水平。



注: *和**分别表示在0.05和0.01水平显著相关。TY: 产量; DTY: 干薯产量; MKR: 商品薯率; BR: 大薯率; MR: 中薯率; LR: 小薯率; WUE: 水分利用效率; TIW: 块茎形成期贮水; TBW: 块茎膨大期贮水; SAW: 淀粉积累期贮水; MRW: 成熟期贮水; TIT: 块茎形成期温度; TBT: 块茎膨大期温度; SAT: 淀粉积累期温度; MRT: 成熟期温度。

Note: * and ** indicate significance at the level of 0.05 and 0.01, respectively. TY: tuber yield; DTY: dry tuber yield; MKR: marketable tuber rate; BR: big tuber rate; MR: medium tuber rate; LR: little tuber rate; WUE: water use efficiency; TIW: water storage during tuber initiation; TBW: water storage during tuber bulking; SAW: water storage during starch accumulation; MRW: water storage during maturity; TIT: temperature during tuber initiation; TBT: temperature during tuber bulking; SAT: temperature during starch accumulation; and MRT: temperature during maturity.

图5 马铃薯关键生育期土壤水温与产量的相关关系

Figure 5 Correlation of soil water and temperature to yield in critical growth period of potato

3 讨 论

水分是制约西北旱地作物发展的瓶颈, 如何最大限度集蓄降水、提高土壤的集雨保墒能力一直是该区覆盖栽培种植研究的关键^[16,17]。适宜的覆盖栽培种植方式利于土壤抑蒸保蓄, 提高降水利用效率^[18], 实现土壤水热的高效利用, 从而达到作物增产提效与农业节水的目的^[19]。研究表明, 覆盖方式能不同程度的改善土壤水热状况进而影响作物生长^[20], 其中, 沟垄覆盖种植方式能有效富集降水, 利于降水入渗, 且具有增温效应, 进而增产^[21]。吴春花等^[22]研究表明, 沟垄集雨结合覆盖模式可显著提高全生育期0~200 cm土层土壤贮水量, 2个生长季均以垄覆地膜沟覆秸秆处理保墒效果最佳, 较对照显著提高马铃薯产量, 且沟覆秸秆马铃薯增产效应优于沟覆地膜处理。李辉等^[23]研究发现, 秸秆局部覆盖均可降低生育期土壤温度, 其中平作与垄作较CK降低全生育期土壤温度1.06和0.59℃, 主要降低了块茎形成期5~10 cm土层的土壤温度。王友生和王多尧^[24]研究表明, 秸秆局部覆盖技术明显改善土壤水热状况, 且各处理土壤温度及含水量随土层深度增加而减弱, 增产效果明显, 纯效益提高。陈志权等^[25]、刘剑金等^[26]研究表明, 起垄协调了土壤水热条件等物理性状, 改变土壤微地形, 促进农作物生长发育, 从而提高作物产量。这与本试验研究结果相似。本试验中, 秸秆局部覆盖处理调温效果突出, 显著改善土壤贮水, 且RM保蓄效果最好, 其次为FM、PM处理。这可能是由于秸秆覆盖在马铃薯整个生育期保墒效果最佳, 同时马铃薯生长关键生育时期正值高温多雨时期, 地表覆盖的秸秆可有效防止太阳对地面的直接辐射, 抑制土温的急剧变化, 从而降低土壤温度^[27], 同时覆盖秸秆增加了地表粗糙度, 利于水分入渗储蓄, 减少地表无效蒸发损耗^[28], 降温效果显著, 有效改善土壤水热状况, 利于维持土壤水分平衡, 促进作物对水分的高效利用, 进而提高作物产量^[29,30]。可见, RM处理对土壤具有蓄水保墒、调温的效应, 马铃薯增产提效效果显著, 较适宜于旱作区马铃薯的种植。

[参 考 文 献]

- [1] 杜梅香, 王成刚. 定西市安定区依托现代寒旱农业思路推进马铃薯产业的实践与思考 [J]. 中国马铃薯, 2022, 36(5): 466-472.
- [2] 张凤娇. 定西市安定区马铃薯产业现状分析及对策研究 [D]. 兰州: 兰州大学, 2021.
- [3] 马菁菁. 定西市马铃薯产业现状调查与发展建议 [J]. 中国马铃薯, 2016, 30(5): 312-315.
- [4] 陈富, 张小静. 定西市马铃薯产业发展现状分析 [J]. 中国种业, 2013(9): 39-40.
- [5] 蔺宝军, 张芮, 高彦婷, 等. 西北地区高效节水灌溉技术发展现状及对策 [J]. 水利规划与设计, 2019(3): 29-33.
- [6] 薛媛, 牛最荣, 张芮, 等. 石羊河流域高效节水灌溉项目综合评价 [J]. 水利规划与设计, 2019(5): 100-103.
- [7] 李明思, 康绍忠, 杨海梅. 地膜覆盖对滴灌土壤湿润区及棉花耗水与生长的影响 [J]. 农业工程学报, 2007(6): 49-54.
- [8] 周昌明. 地膜覆盖及种植方式对土壤水氮利用及夏玉米生长、产量的影响 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2016.
- [9] 毕继业, 王秀芬, 朱道林. 地膜覆盖对农作物产量的影响 [J]. 农业工程学报, 2008(11): 172-175.
- [10] 周瑜, 苏旺, 王舰, 等. 不同覆盖方式和施氮量对糜子光合特性及产量性状的影响 [J]. 作物学报, 2016, 42(6): 873-885.
- [11] 何文清, 严昌荣, 赵彩霞, 等. 我国地膜应用污染现状及其防治途径研究 [J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(3): 533-538.
- [12] 严昌荣, 梅旭荣, 何文清, 等. 农用地膜残留污染的现状与防治 [J]. 农业工程学报, 2006(11): 269-272.
- [13] 常磊, 韩凡香, 柴雨葳, 等. 秸秆带状覆盖对半干旱雨养区冬小麦田地温和产量的影响 [J]. 应用生态学报, 2018, 29(9): 2949-2958.
- [14] 钱玉平, 田慧慧, 程宏波, 等. 秸秆覆盖及播种方式对马铃薯耗水特性和产量的影响 [J]. 中国生态农业学报(中英文), 2020, 28(6): 826-834.
- [15] 李辉, 柴守玺, 常磊, 等. 秸秆带状覆盖下培土对马铃薯产量与水分利用效率的影响 [J]. 农业工程学报, 2019, 35(21): 107-115.
- [16] Gan Y, Siddique K H M, Turner N C, et al. Ridge-furrow mulching systems—an innovative technique for boosting crop productivity in semiarid rain-fed environments [J]. Advances in Agronomy, 2013, 118: 429-476.
- [17] 张仁陟, 黄高宝, 蔡立群, 等. 几种保护性耕作措施在黄土高原

- 旱作农田的实践 [J]. 中国生态农业学报, 2013, 21(1): 61-69.
- [18] 汤瑛芳, 高世铭, 王亚红, 等. 旱地马铃薯不同覆盖种植方式的土壤水热效应及其对产量的影响 [J]. 干旱地区农业研究, 2013, 31(1): 1-7.
- [19] 李辉, 柴守玺, 常磊, 等. 西北半干旱区秸秆带状覆盖对土壤水分及马铃薯产量的影响 [J]. 水土保持学报, 2017(6): 148-156.
- [20] 冯浩, 刘匣, 余坤, 等. 不同覆盖方式对土壤水热与夏玉米生长的影响 [J]. 农业机械学报, 2016, 47(12): 192-202.
- [21] 肖继兵, 孙占祥, 蒋春光, 等. 辽西半干旱区垄膜沟种方式对春玉米水分利用和产量的影响 [J]. 中国农业科学, 2014, 47(10): 1917-1928.
- [22] 吴春花, 普雪可, 周永瑾, 等. 宁南旱区沟垄集雨结合覆盖对土壤水热肥与马铃薯产量的影响 [J]. 作物学报, 2021, 47(11): 2208-2219.
- [23] 李辉, 吴建民, 柴守玺, 等. 玉米秸秆带状覆盖对西北旱地土壤温度及马铃薯产量的影响 [J]. 中国沙漠, 2018, 38(3): 592-599.
- [24] 王友生, 王多尧. 不同覆盖种植模式对马铃薯土壤温度、水分及产量的影响 [J]. 干旱地区农业研究, 2017, 35(6): 59-64.
- [25] 陈志权, 曾玉清, 吕泽林, 等. 不同田块类型垄作栽培对水稻农艺性状及产量的影响 [J]. 耕作与栽培, 2014(6): 17-18, 24.
- [26] 刘剑金, 刘子仪, 叶娟, 等. 不同起垄高度对烟草生长发育的影响 [J]. 湖南农业科学, 2019(1): 8-11.
- [27] 王敏, 王海霞, 韩清芳, 等. 不同材料覆盖的土壤水温效应及对玉米生长的影响 [J]. 作物学报, 2011, 37(7): 1249-1258.
- [28] 张金霞. 秸秆覆盖免耕储水灌溉对春小麦耗水特征及灌溉水分利用效率的影响 [J]. 中国沙漠, 2012, 32(5): 1501-1506.
- [29] 李荣, 侯贤清, 贾志宽. 沟垄二元覆盖对渭北旱塬区土壤肥力及玉米产量的影响 [J]. 土壤学报, 2017, 54(5): 1259-1268.
- [30] 李荣, 侯贤清. 深松条件下不同地表覆盖对马铃薯产量及水分利用效率的影响 [J]. 农业工程学报, 2015, 31(20): 115-123.