

秸秆覆盖量与覆盖方式对马铃薯耗水特性及产量的影响

马菊花¹, 黄彩霞^{1*}, 李亚珍¹, 杨永¹, 陈志丕², 李虹彩³,
李拥军², 胡亮亮¹, 王龙龙¹, 张乾¹

(1.甘肃农业大学 水利水电工程学院, 兰州 730070; 2.定西市水利科学研究所,
甘肃 定西 743000; 3.定西市水务局, 甘肃 定西 743000)

摘要:【目的】探明覆盖对黄土高原旱作区马铃薯耗水规律、水分利用效率及产量的影响。【方法】以传统露地平作种植为对照(CK), 设地膜覆盖(PM)、高垄秸秆局部高覆盖量(RSM9)、高垄秸秆局部低覆盖量(RSM6)、平作秸秆局部高覆盖量(PSM9)、平作秸秆局部低覆盖量(PSM6)、秸秆全覆盖(FC)的种植模式, 共7个处理, 秸秆覆盖量与覆盖方式对马铃薯耗水特性及产量的影响。【结果】①与CK相比, 秸秆局部覆盖处理薯块产量和WUE分别平均提高11.8%~21.7%、15.9%~26.7%; 局部覆盖处理间, 与平作秸秆局部覆盖处理(PSM)相比, 高垄秸秆局部覆盖处理(RSM)薯块产量和WUE分别平均提高1.5%和1.7%; 与秸秆局部高覆盖量(9 000 kg/hm²)处理相比, 秸秆局部低覆盖量(6 000 kg/hm²)处理薯块产量和WUE分别平均提高6.1%和6.5%。②与CK相比, 秸秆局部覆盖处理有增墒和降墒的双重效应, 且增墒点次远多于降墒点次; 局部覆盖各处理间土壤贮水量均表现为RSM6处理>PSM6处理>RSM9处理>PSM9处理。③与CK相比, 秸秆局部覆盖处理马铃薯块茎形成一淀粉积累期的耗水量、日耗水强度及耗水模系数分别高4.6 mm、0.11 mm/d、2.7%; 局部覆盖处理间, 块茎膨大—收获期耗水特征均表现为RSM处理>PSM处理, 而在播种—块茎膨大期为PSM处理>RSM处理。【结论】秸秆局部覆盖通过降低块茎膨大前期耗水, 增加块茎膨大后期耗水, 平衡马铃薯关键生育期耗水需求, 促进马铃薯生长发育达到增产效果。因此, 在马铃薯覆盖栽培模式中, 推荐高垄秸秆局部覆盖(RSM)+6 000 kg/hm²的秸秆覆盖量为最优种植模式。

关键词: 秸秆局部覆盖; 平作; 高垄; 耗水特性; 马铃薯

中图分类号: S532; S152

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2022204

OSID:



马菊花, 黄彩霞, 李亚珍, 等. 秸秆覆盖量与覆盖方式对马铃薯耗水特性及产量的影响[J]. 灌溉排水学报, 2023, 42(3): 57-64, 96.

MA Juhua, HUANG Caixia, LI Yazhen, et al. The Way and Amount of Straw Mulching Impact Water Consumption and Yield of Potato[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2023, 42(3): 57-64, 96.

0 引言

【研究意义】农业水资源匮乏、降水供需时空错位、季节性干旱已成为西北干旱半干旱地区农业产量低而不稳的主要原因^[1]。马铃薯(*Solanum tuberosum* L.)是世界上仅次于玉米、水稻、小麦之后的第四大粮食作物^[2-3]。甘肃省定西市是全国马铃薯三大主产区之一, 是马铃薯主粮化的优势产区。因此, 研发马铃薯抑蒸保墒、增加土壤含水率、充分利用降水、平衡作物关键生育期耗水、提高水分利用率的旱作种植技术是实现旱地马铃薯稳产、高产的关键。【研究进展】近年来, 定西市政府全面贯彻国家关于马铃薯主粮化的思想, 在马铃薯栽培方面探索推广了“脱毒种薯+全膜覆盖+配方施肥+节水灌溉+专业化防治+机械化

耕作”的标准栽培技术, 其中全膜双垄侧和大垄栽培模式被农业农村部树立为全国干旱半干旱地区农业增产高效的典范, 但随着推广面积迅速增大, 农膜用量急剧增加, 旧膜被翻耕留存农田引起土壤质量下降、农膜随意丢弃造成生态环境污染及部分农膜焚烧引起大气污染等问题越来越严重, 这与国家倡导的“生态、优质、健康”农业发展理念相悖。秸秆覆盖是一种生态环保、种养结合、可实现秸秆资源化循环利用的可持续绿色生产技术^[4], 但传统的全面、全程覆盖模式却因其保墒降温效应不利于作物出苗, 往往导致作物大幅减产^[5-6], 不适合在黄土高原冷凉地区推广应用。秸秆局部覆盖是一种旱地绿色栽培技术, 采用“种的地方不覆、覆的地方不种”方式避免了苗期土壤温度过低(土壤平均降温0.2~1.1℃)^[7-8]引起出苗不全的问题, 具有明显增产效应^[7,9-10]。【切入点】但目前关于这项技术主要集中在小麦增产机理研究方面, 对秸秆局部覆盖马铃薯的生产模式还在探索, 尤其是适宜的垄高和秸秆覆盖量的研究还不够成熟。

收稿日期: 2022-04-13

基金项目: 国家自然科学基金项目(31960380); 甘肃农业大学水利水电工程学院青年教师科技创新基金项目(SLXY-NQ-2020-02)

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。E-mail: 2726473909@qq.com

通信作者: 黄彩霞(1980-), 女, 副教授, 研究生导师, 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

【拟解决的关键问题】为此,以传统露地平作种植为对照,研究秸秆覆盖方式及覆盖量对黄土高原旱作区马铃薯耗水规律、水分利用率及产量的影响,旨在为西北旱作区马铃薯秸秆覆盖栽培模式的研究及应用提供科学参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2020 年 4—10 月在甘肃省定西市安定区

灌溉试验基地 (104°36'E, 35°33'N, 海拔 1 900 m) 进行。该试验基地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, 无霜期 141 d, 年均日照时间 2 433 h, 年平均气温 6.3 °C, ≥ 10 °C 积温 2 075.2 °C。试验区土壤以黄绵土为主, 有机质量在 1.0%~1.5%, 土壤平均体积质量为 1.6 g/cm³。图 1 为试验区 2020 年马铃薯全生育期总降水量 371.89 mm, 有效降水量 (≥ 5 mm) 为 319.65 mm。

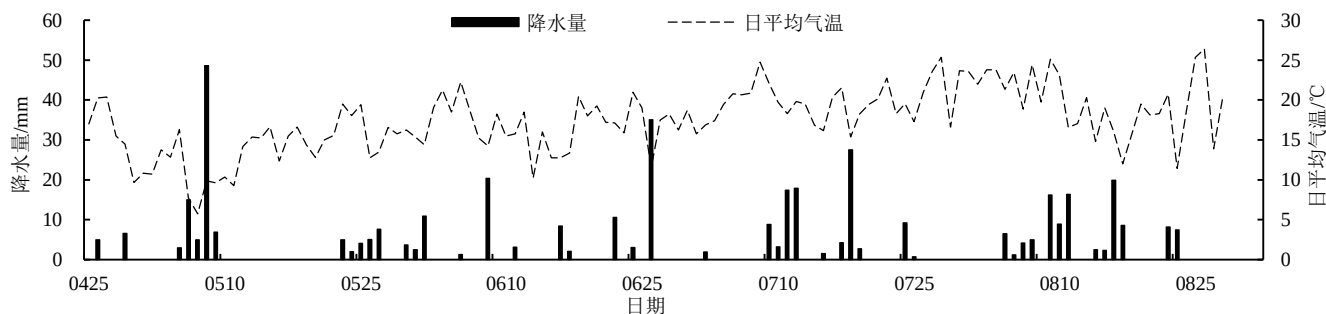


图 1 2020 年度马铃薯生育期降水量及日平均气温变化

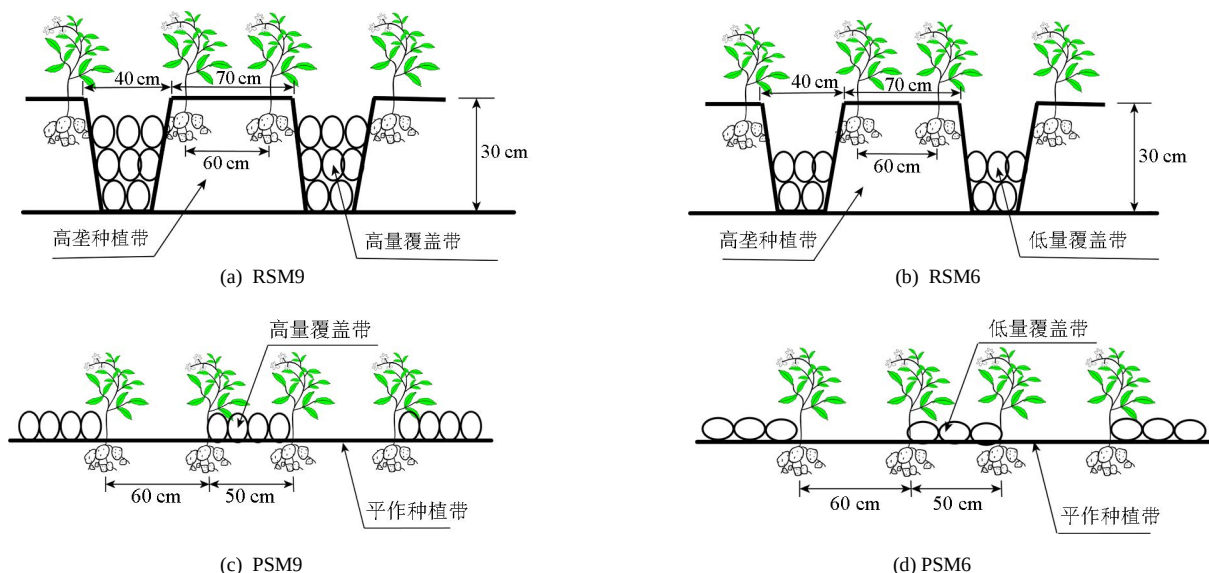
Fig.1 Precipitation and average daily temperature change in potato growth period in 2020

1.2 试验设计

本试验采用随机区组设计, 共 7 个处理, 分别为高垄秸秆局部低覆盖量 (6 000 kg/hm²) 处理 (RSM6)、高垄秸秆局部高覆盖量 (9 000 kg/hm²) 处理 (RSM9)、平作秸秆局部低覆盖量 (6 000 kg/hm²) 处理 (PSM6)、平作秸秆局部高覆盖量 (9 000 kg/hm²) 处理 (PSM9)、秸秆全覆盖处理 (FC)、地膜覆盖 (PM) 处理, 传统露地平作种植 (CK) 为对照, 采用玉米秸秆整秆覆盖方式, 每个处理 3 次重复。各处理小区面积均为 60 m²。7 种处理田间布置见图 2。各处理技术要点为: RSM9: 垄上种植, 垄沟覆盖, 秸秆覆盖量为 9 000 kg/hm²; RSM6: 垄上种植, 垄沟覆盖, 秸秆覆盖量为 6 000 kg/hm²; PSM9: 平作, 种植带与覆盖带相间

排列, 秸秆覆盖为 9 000 kg/hm²; PSM6: 平作, 种植带与覆盖带相间排列, 秸秆覆盖为 6 000 kg/hm²; FC: 平作, 秸秆全地面覆盖, 覆盖量为 9 000 kg/hm²; FM: 全地面进行覆膜, 平作, 覆膜后穴播; CK: 传统裸地平作种植, 不覆盖。马铃薯供试品种为新大坪。除裸地种植及秸秆全覆盖种植为等行距种植外, 其余各处理株、行距相同, 株距 30 cm, 行距 60 cm。各处理播种时 2 行间植株纵向平行、横向错位种植, 形成行间种植植株呈三角形布置, 种植方式均为人工穴播, 穴播深度 15 cm。

播种前 7 天按照设计方案整地, 整地起垄后即覆秸秆和覆膜。其他生产管理方式与当地农民生产习惯一致, 全生育期无灌水。



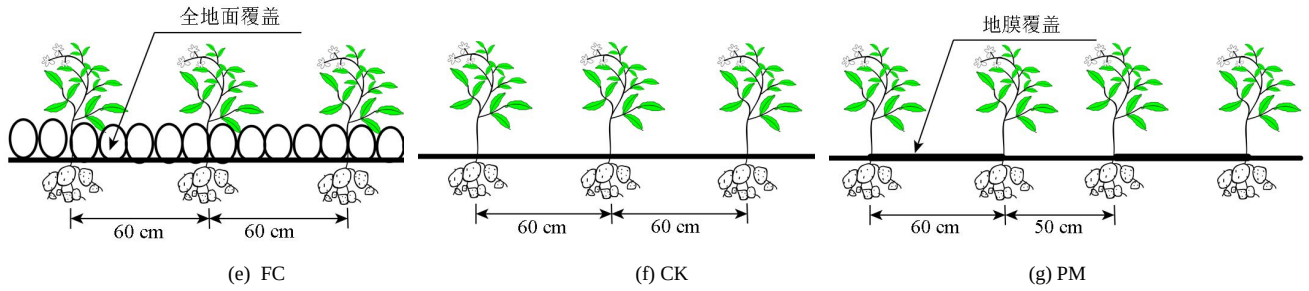


图 2 马铃薯田间种植示意

Fig.2 Schematic diagram of potato field planting

1.3 测定项目与方法

1.3.1 土壤含水率

在马铃薯各生育期（播种期、块茎形成期、块茎膨大期、淀粉积累期及收获期）用直径为 5 cm 的土钻分别在马铃薯各小区种植带及覆盖带行间分 7 个土层（0~20、20~40、40~60、60~90、90~120、120~150 cm 和 150~180 cm）钻取土样，采用（105.0±2.0）℃ 的恒温下烘干后加权平均计算土壤含水率。

土壤含水率（%）=（鲜土质量-烘干土质量）/烘干土质量×100%。

1.3.2 土壤贮水量与农田耗水特性计算

土壤贮水量计算式为：

$$W=h \times \rho \times \omega \times 10, \quad (2)$$

式中：W 为土壤贮水量（mm）；h 为土层深度（cm）；ρ 为土壤体积质量（g/cm³）；ω 为质量土壤含水率（%）。

农田耗水量计算式为：

$$ET=(W_1-W_2)+P, \quad (3)$$

式中：ET 为马铃薯生育期内的农田总耗水量（mm）；P 为作物生育期≥5 mm 有效降水量（mm）；数据由试验基地自制小型气象站测得；W₁、W₂ 分别为播前和收获期土壤贮水量（mm）。

生育阶段耗水量计算式为：

$$ET_i=\Delta W_i+P_i, \quad (4)$$

式中：ET_i 为第 i 个生育时期的耗水量（mm）；ΔW_i 为第 i 个生育时期的土壤供水量（mm）；即第 i 个生育期前与生育期后土壤贮水量的差值；P_i 为第 i 个生育时期内的有效降水量（mm）。

耗水模系数计算式为：

$$CP=ET_i/ET, \quad (5)$$

式中：CP 为耗水模系数（无量纲单位）；ET_i 为各生育阶段耗水量（mm）。

日耗水强度计算式为：

$$CD=ET_i/d, \quad (6)$$

式中：CD 为日耗水强度（mm/d）；d 为作物某个生育阶段持续时间（d）。

1.3.3 水分利用效率（WUE）计算

水分利用效率计算式为：

$$WUE=Y/ET, \quad (7)$$

式中：WUE 为水分利用效率（kg/（hm² mm））；Y 为马铃薯块茎产量（kg/hm²）；ET 为马铃薯农田耗水量（mm）。

1.3.4 产量测定

待马铃薯完全成熟后，各处理随机挖取 15 株马铃薯进行考种，并将单个鲜薯依据质量分为 3 个等级：大型薯（>150 g）、中型薯（75~150 g）和小型薯（<75 g），分别统计各等级马铃薯个数并称重，计算马铃薯商品薯率。将各处理考种后的 15 株马铃薯块茎鲜薯在 105℃ 下烘干，折算各处理的块茎含水率及干薯产量，并从中选取代表性薯块，称取鲜质量，切片后于烘箱中 105℃ 杀青 0.5 h 后，80℃ 烘干至恒质量，求得马铃薯出干率。

商品薯率（%）=单薯鲜质量 75g 以上的产量/马铃薯总产量×100%，

$$(8)$$

块茎含水率（%）=（1-马铃薯块茎干质量/马铃薯块茎鲜质量）×100%，

$$(9)$$

干薯产量=小区实测鲜薯产量×（1-块茎含水率），

$$(10)$$

马铃薯出干率（%）=代表性薯块烘干质量（g）/代表性薯块鲜薯质量×100%。

$$(11)$$

1.4 数据处理

采用 Microsoft Excel 2010 处理数据及作图，使用 SPSS 22.0 进行方差分析及相关性分析，采用 Duncan 法进行差异显著性分析，显著性水平设置为 α=0.05。

2 结果与分析

2.1 马铃薯关键生育期土壤含水率差异

秸秆覆盖显著影响马铃薯各生育期不同土层土壤含水率（图 3）。与 CK 相比，覆盖处理在块茎形成期 0~180 cm 土层、块茎膨大期 0~60 cm 土层、淀粉积累期及成熟期 0~180 cm 土层均表现增墒效应，其余土层表现降墒效应，尤其以马铃薯根系最大活动层 0~60 cm 土层土壤增墒效应最突出；秸秆局部覆盖处理除在块茎膨大期 20~180 cm 土层存在降墒效应外，其余时期各土层均表现为增墒效应，且以块茎形

成期和收获期 0~60 cm 土层增墒效应最突出, 2 个时期 0~60 cm 土层土壤含水率增加 42.0%和 37.7%。

与 PM 处理相比, 秸秆局部覆盖亦具有增墒和降墒的双重效应, 其中, 块茎形成期 90~150 cm 土层、块茎膨大期 0~180 cm 土层及淀粉积累期 40~60 cm 土层表现降墒效应, 土壤含水率依次降低 11.3%、11.2% 及 26.8%; 块茎形成期 (除 90~150 cm 土层)、淀粉积累期 (除 40~60 cm 土层) 和收获期各土层表现为

增墒效应, 土壤含水率各时期依次增加 36.3%、9.2% 和 22.3%。与 FC 处理相比, 秸秆局部覆盖各处理在马铃薯块茎膨大期—收获期各土层均表现降墒效应, 其中以块茎膨大期降墒最突出。局部覆盖处理间, RSM6 处理在块茎形成期、块茎膨大期、淀粉积累期和收获期 40~60 cm 土层土壤含水率最高, 依次分别为 21.1%、15.1%、17.9%、20.2%, 且在块茎形成期 0~180 cm 土层土壤含水率高于其余 3 个局部覆盖处理。

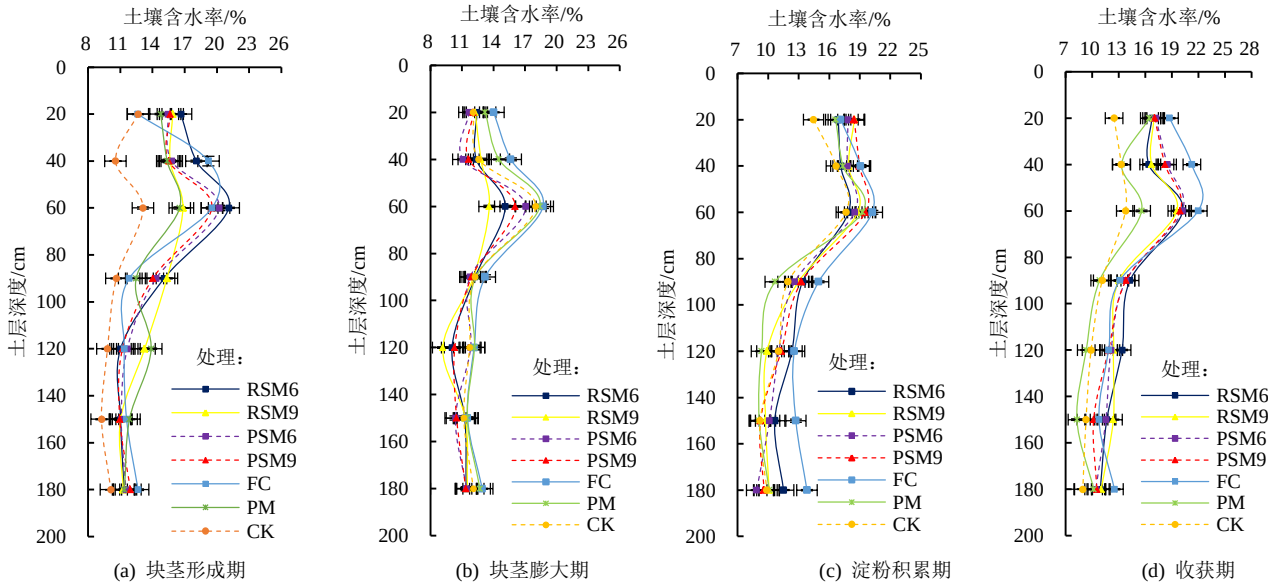


图 3 各关键生育期 0~180 cm 各土层土壤水分分布

Fig.3 Soil water distribution in each soil layer of 0~180 cm during the critical growth period

2.2 马铃薯不同生育期土壤贮水量

图 4 为马铃薯各生育期 0~180 cm 土层土壤贮水量, 图中误差线表示平均值的标准误 ($n=3$), 不同小写字母表示各处理在 $P<0.05$ 水平上差异显著, 下同。随着马铃薯生育期推进, 覆盖处理土壤贮水量呈“升-降-升”的趋势, 块茎膨大期 0~180 cm 土层土壤贮水量最少, 为 368.0 mm (图 4)。与 CK 相比, 覆盖显著增加了马铃薯全生育期 0~180 cm 土层土壤贮水量增加了 45.4~69.0 mm, 秸秆覆盖的贮水性能好于地膜覆盖, 二者平均相差 31.2 mm。具体来看, 与 CK 相比, 秸秆局部覆盖处理在马铃薯块茎形成期、块茎

膨大期、淀粉积累期和收获期 4 个关键生育期 0~180 cm 土层土壤贮水量平均增加了 3.4%~33.8%、6.0%~13.0%、5.6%~10.5%、26.8%~30.7%; 与 PM 处理相比, 秸秆局部覆盖处理在马铃薯 4 个关键生育期 0~180 cm 土层土壤贮水量平均增加 4.9%~6.2%、2.9%~9.7%、5.3%~10.3%、20.8%~24.5%。局部覆盖处理间, RSM6 处理在马铃薯 4 个关键生育期 0~180 cm 土层土壤贮水量均最高。可见, 马铃薯局部覆盖 0~180 cm 土层土壤贮水量 RSM 处理优于 PSM 处理, 秸秆局部低覆盖量 ($6\ 000\ \text{kg}/\text{hm}^2$) 处理优于秸秆局部高覆盖量 ($9\ 000\ \text{kg}/\text{hm}^2$) 处理。

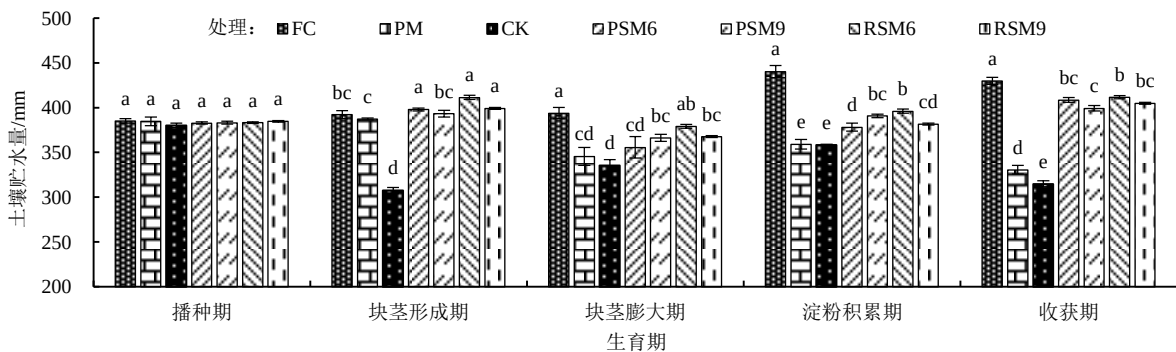


图 4 马铃薯各生育期 0~180 cm 土层土壤贮水量

Fig.4 Soil water storage in 0~180 cm soil layer at different growth stages of potato

2.3 马铃薯不同生育阶段耗水特征差异

表 1 为马铃薯各生育阶段耗水量、日耗水强度、耗水模系数。由表 1 可看出,各处理马铃薯不同生育阶段的阶段耗水量、日耗水强度和耗水模系数均呈先升

高后降低的趋势,阶段耗水量和耗水模系数在块茎形成一块茎膨大期达到最高,日耗水强度最高值出现在块茎膨大一淀粉积累期。

表 1 马铃薯各生育阶段耗水量、日耗水强度、耗水模系数

Table 1 Water consumption, water consumption model coefficient and daily water consumption intensity of potato at different growth stages

处理	播种一块茎形成期			块茎形成一块茎膨大期			块茎膨大一淀粉积累期			淀粉积累一收获期		
	ET_i/mm	$CD/(\text{mm d}^{-1})$	$CP/\%$	ET_i/mm	$CD/(\text{mm d}^{-1})$	$CP/\%$	ET_i/mm	$CD/(\text{mm d}^{-1})$	$CP/\%$	ET_i/mm	$CD/(\text{mm d}^{-1})$	$CP/\%$
FC	94.9±1.11b	1.79±0.02b	30.3±0.24b	126.3±2.31b	2.94±0.05b	40.3±0.77b	74.9±2.75b	3.94±0.14b	23.9±0.86bc	17.2±0.79c	1.72±0.08c	5.5±0.26c
PSM6	92.7±0.52b	1.77±0.01b	29.7±0.12d	132.6±2.78a	3.08±0.06a	42.0±0.86a	78.3±1.88a	4.12±0.10a	24.8±0.61ab	11.4±0.61f	1.14±0.06f	3.6±0.19f
PSM9	94.5±1.45b	1.78±0.02b	29.8±0.24c	130.4±1.54a	3.03±0.04a	41.1±0.69ab	78.0±0.86a	4.11±0.04a	24.6±0.24abc	14.5±1.13d	1.45±0.12d	4.6±0.37d
RSM6	91.9±0.64c	1.73±0.01c	29.1±0.21e	131.2±0.93a	3.05±0.02a	41.6±0.24ab	79.1±0.51a	4.16±0.03a	25.1±0.19a	13.5±0.48de	1.35±0.05de	4.3±0.15de
RSM9	93.8±0.71b	1.77±0.01b	29.6±0.22d	131.1±1.69a	3.05±0.04a	41.4±0.49ab	79.5±1.11a	4.18±0.06a	25.1±0.37a	12.4±0.38ef	1.24±0.04ef	3.9±0.12ef
CK	106.3±1.48a	2.01±0.03a	32.3±0.46a	122.5±1.52c	2.85±0.04c	37.3±0.52c	78.3±1.67a	4.12±0.09a	23.8±0.48a	21.9±0.76a	2.19±0.08a	6.7±0.22a
PM	95.5±0.99b	1.80±0.02b	29.2±0.29de	132.5±2.35a	3.08±0.05a	40.5±0.77b	79.6±1.39a	4.19±0.07a	24.3±0.42abc	19.8±1.57b	1.98±0.16b	6.0±0.47b

与 CK 相比,秸秆覆盖降低播种一块茎形成期、块茎膨大一淀粉积累期(除耗水模系数)、淀粉积累期一收获期阶段的耗水量、日耗水强度和耗水模系数,而增加块茎形成期一膨大期的阶段耗水量、日耗水强度和耗水模系数。具体来看,与 CK 相比,秸秆覆盖处理马铃薯播种一块茎形成期、块茎膨大一淀粉积累期、淀粉积累一收获期的阶段耗水量、日耗水强度及耗水模系数分别显著降低了 12.5 mm、0.24 mm/d、2.7%、0.03 mm、0.02 mm/d、-0.9%和 8.1 mm、0.81 mm/d、2.3%,而块茎形成一膨大期的耗水量、日耗水强度和耗水模系数显著增加了 7.8 mm、0.18 mm/d、4.0%。与 PM 处理相比,秸秆覆盖处理马铃薯全生育阶段的耗水量、日耗水强度和淀粉积累一收获期的耗水模系数分别显著降低了 2.9 mm、0.20 mm/d、1.7%,而播种一淀粉积累期耗水模系数显著增加了 1.6%。

秸秆覆盖处理间,除播种一块茎形成期及淀粉积累一收获期外,FC 处理在关键生育阶段块茎形成一淀粉积累期的耗水量、日耗水强度和耗水模系数均低于秸秆局部覆盖处理;平作秸秆局部覆盖处理(PSM)除在生育后期块茎膨大一收获期外,生育前期播种一块茎膨大期的阶段耗水量、日耗水强度和耗水模系数均高于高垄秸秆局部覆盖处理(RSM)。具体来看,

PSM6、RSM9 处理和 PSM9 处理的阶段耗水量、日耗水强度和耗水模系数分别在播种一块茎形成期、块茎形成期一块茎膨大期和块茎膨大一收获期阶段均表现最高的耗水特征,而 RSM6 处理各生育阶段的耗水特征指标始终处于中间水平,但覆盖处理间无显著差异。可见,秸秆局部覆盖可降低块茎膨大期前耗水,增加块茎膨大期后马铃薯生长关键期的耗水,且秸秆局部低覆盖量处理更能加剧马铃薯全生育期的耗水,具有调控生育期耗水的作用,这在一定程度上可缓解马铃薯需水关键期水分不足对产量的影响。

2.4 马铃薯产量、商品薯率及水分利用效率的差异

覆盖影响马铃薯各处理薯块产量、WUE、干薯产量、大薯率、中薯率及商品薯率见表 2 所示。与 CK 相比,秸秆局部覆盖薯块产量及干薯产量显著提高 11.8%~21.7%和 5.9%~26.7%,WUE 及大薯率提高 15.9%~26.7%和 19.7%~52.2%,中薯率(除 RSM9 处理)及商品薯率分别显著提高 6.9%~30.8%和 23.3%~29.9%;与 PM 处理相比,秸秆局部覆盖处理马铃薯薯块产量及干薯产量显著降低 0.8%~8.8%和 4.2%~19.9%,WUE (RSM6、PSM6 处理除外)及大薯率降低 1.8%~5.9%和 18.7%~28.4%,商品薯率降低 8.0%~12.7%,而中薯率(除 RSM9 处理)提高 9.3%~33.6%。

表 2 马铃薯产量和水分利用效率

Table 2 Potato yield and water use efficiency

处理	薯块产量/(kg hm ⁻²)	小薯率/%	中薯率/%	大薯率/%	商品薯率/%	出干率/%	干薯产量/(kg hm ⁻²)	WUE/(kg hm ⁻² mm ⁻¹)
FC	24 750.0±400.00ab	14.9±3.12b	36.6±5.22a	48.5±2.29d	85.1±3.12b	22.6±1.63a	5 604.0±412.75ab	79.0±1.52a
PSM6	27 525.0±1 600.00a	14.7±1.26b	27.0±1.07bc	58.3±1.65c	85.3±1.26b	23.2±1.27a	6 362.3±101.37ab	87.1±5.22a
PSM9	25 304.2±1 119.73ab	17.6±5.41b	32.5±6.28ab	49.9±1.30d	82.4±5.41b	21.0±0.44a	5 316.3±336.05ab	79.7±3.75a
RSM6	27 275.0±801.17a	18.0±5.56b	26.6±2.75bc	55.5±2.96c	82.0±5.56b	22.0±2.42a	6 009.1±839.00ab	86.4±2.72a
RSM9	26 366.7±3 012.72a	13.6±0.85b	23.0±1.49c	63.5±0.94b	86.4±0.85b	23.1±0.69a	6 101.3±835.03ab	83.2±9.40a
CK	22 625.0±2 050.00b	33.5±2.84a	24.8±1.29c	41.7±3.08e	66.5±2.84c	22.2±0.66a	5 020.7±556.23b	68.8±6.20b
PM	27 750.0±1 400.01a	6.0±0.76c	24.3±2.36c	69.7±2.22a	94.0±0.76a	23.8±4.54a	6 638.2±1 598.23a	84.8±4.42a

秸秆局部覆盖处理间,与 PSM 处理相比,RSM 处理薯块产量及 WUE 提高了 1.5%和 1.7%,且 PSM6、

RSM6 处理具有较高的薯块产量和 WUE,但二者无显著差异;与秸秆局部高覆盖量(9 000 kg/hm²)处

理相比, 秸秆局部低覆盖量 ($6\ 000\ \text{kg}/\text{hm}^2$) 处理薯块产量及 WUE 提高了 6.1% 和 6.5%。

相关分析表明, 马铃薯薯块产量与水分利用效率 ($r=0.982^{**}$)、大薯率 ($r=0.639^{**}$)、商品薯率 ($r=0.582^{**}$) 及干薯产量 ($r=0.806^{**}$) 均呈极显著正相关, 而与小薯率 ($r=-0.582^{**}$) 极显著负相关。可见, 秸秆覆盖处理较 CK 增产主要是通过提高大薯比例、商品薯率及水分利用效率, 降低小薯率来实现。

2.5 马铃薯阶段耗水量、耗水模系数、日耗水强度与产量形成的相关关系

表 3 为马铃薯生育期阶段耗水与产量要素的相关关系。由表 3 可看出, 马铃薯耗水指标与产量及其性状指标存在相关关系。马铃薯薯块产量、 WUE 、大

薯率、商品薯率与马铃薯播种一块茎形成期 (I) 的耗水量、日耗水强度及耗水模系数极显著负相关, 与块茎形成—淀粉积累期 (II) 的耗水量、日耗水强度存在显著或极显著正相关关系, 在淀粉积累—收获期 (III) 的耗水量、日耗水强度及耗水模系数与马铃薯薯块产量及 WUE 存在显著或极显著负相关关系, 而马铃薯干薯产量及小薯率与马铃薯播种一块茎形成期 (I) 及块茎形成—淀粉积累期 (II) 的耗水指标存在显著或极显著相关关系外, 其余性状指标相关性均不显著, 说明覆盖通过降低播种一块茎形成期 (I) 耗水, 提高块茎形成—淀粉积累期 (II) 耗水, 从而满足马铃薯块茎生长关键期需水, 进而提高大薯比例、大薯率、商品薯率及 WUE , 最终达到增产目的。

表 3 马铃薯生育期阶段耗水与产量要素的相关关系

Table 3 Correlation between water consumption and yield factors in potato growth stage

性状指标	耗水量			耗水模系数			日耗水强度		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
薯块产量	-0.620**	0.713**	-0.486*	-0.615**	0.606**	-0.485*	-0.698**	0.666**	-0.497*
小薯率	0.706**	-0.647**	0.345	0.705**	-0.504*	0.343	0.791**	-0.626**	0.339
中薯率	-0.129	-0.0416	0.000	-0.134	-0.495*	0.001	0.052	-0.056	0.045
大薯率	-0.566**	0.838**	-0.314	-0.562**	0.755**	-0.313	-0.751**	0.603**	-0.336
商品薯率	-0.706**	0.647**	-0.345	-0.705**	0.504*	-0.343	-0.791**	0.626**	-0.339
出干率	-0.010	0.192	-0.099	-0.010	0.190	-0.099	-0.051	0.093	-0.112
干薯产量	-0.364	0.539*	-0.333	-0.360	0.478*	-0.332	-0.440*	0.440*	-0.348
WUE	-0.722**	0.686**	-0.609**	-0.716**	0.558**	-0.608*	-0.740**	0.755**	-0.612**

注 I、II、III、分别指生育时期播种一块茎形成期、块茎形成—淀粉积累期、淀粉积累—收获期。*和**分别表示在 $P<0.05$ 和 $P<0.01$ 水平显著相关。

3 讨论

3.1 覆盖对土壤水环境的影响

覆盖改变作物耗水结构, 提高作物蒸腾性生产耗水^[11-15], 充分利用降水, 实现旱地作物高产稳产的根本途径^[16], 对旱作农田土壤水环境有显著影响^[17]。秸秆带状覆盖抑蒸的同时降低地表径流^[18], 增加降水入渗, 改善土壤水分状况^[8,19]。马建涛等^[20]研究发现, 秸秆带状覆盖对降水贮存效果最好, 且降低苗期—现蕾期和膨大—成熟期的耗水, 增加块茎形成—膨大期的耗水, 这与李芬等^[21]研究结果一致, 覆盖在马铃薯生育前期和成熟期的耗水较小, 而在中后期耗水量达最大, 后期随马铃薯成熟, 耗水减少。此外, 覆盖可较裸地提高作物生育期 0~200 cm 土层土壤水分^[16,20,22], 平衡作物生育期水分的供需矛盾^[23-25], 这与本研究结果相似。本试验中, 覆盖能显著提高马铃薯生育期 0~180 cm 土层土壤贮水量, 蓄水保墒效果显著, 土壤墒情总体表现为覆秆优于覆膜, 高垄秸秆局部覆盖处理 (RSM) 优于平作秸秆局部覆盖处理 (PSM), 秸秆局部低覆盖量 ($6\ 000\ \text{kg}/\text{hm}^2$) 处理优于秸秆局部高覆盖量 ($9\ 000\ \text{kg}/\text{hm}^2$) 处理, 而耗水量、日耗水强度及耗水模系数均呈先升后降的趋势, 且在生长中期块茎形成—淀粉积累期均达到峰值。分析原因:

一是采用玉米整秆进行覆盖, 秸秆内部大量亲水纤维结构和外部丰富的蜡质层利于土壤水分保蓄, 从而提高土壤贮水^[26], 尽管块茎膨大期贮水达最低, 但由于收获前降水较多, 故到淀粉积累期各处理贮水又略有回升。二是秸秆局部覆盖的种植带与覆盖带相间排列, 覆盖带覆盖量大, 与土壤紧密结合时降温效应也较为突出^[27], 秸秆局部覆盖为半开放覆盖方式, 高垄秸秆局部覆盖处理 (RSM) 较平作秸秆局部覆盖处理 (PSM) 未封闭面积大, 更利于降水收集入渗, 且马铃薯关键生长阶段正值试验年度夏季, 高温多雨, 作物生产性蒸腾耗水加剧, 耗水达峰值, 但随作物成熟, 蒸腾耗水减弱。三是覆膜及秸秆全覆盖土壤基本处于全封闭状态, 阻隔覆盖层下土壤水与大气水间的转换流通, 蒸发损耗减少, 但覆膜土壤增温效应高于秸秆, 导致植株蒸腾加剧, 耗水加快和土壤含水率下降, 尽管生育期有较多降水补给, 但膜收集入渗水不如秸秆, 大多降水直接从膜上蒸发, 故地膜墒情不如秸秆覆盖, 同时增加作物生产性蒸腾耗水, 改善土壤水分状况, 最终提高马铃薯水分利用及产量是覆盖模式较 CK 增产的主要原因。

3.2 覆盖对马铃薯产量及水分利用效率的影响

在沟垄种植中采用全覆膜和秸秆沟覆垄播种植方式均可改善土壤水分状况, 促进作物生长发育, 最终

显著提高产量、水分利用效率和纯经济收益^[28-33]。秸秆覆盖在马铃薯上的响应更为显著, 利于马铃薯产量和商品薯率的提高^[22]。陈超等^[15]研究发现, 沟覆秸秆能调控作物生育期土壤水热状况, 促使马铃薯总产量较露地显著增产 47.8%。本研究得到相似结论, 覆膜、覆秸秆均可较露地显著提高马铃薯块茎产量、干薯产量、水分利用效率。可见, 与 CK 相比, 覆盖种植马铃薯产量及水分利用效率显著提高, 且地膜覆盖处理最高; 局部覆盖处理间, 高垄秸秆局部覆盖处理(RSM)好于平作秸秆局部覆盖处理(PSM); 局部覆盖量间, 与秸秆局部高覆盖量(9 000 kg/hm²)处理相比, 秸秆局部低覆盖量(6 000 kg/hm²)处理薯块产量、干薯产量及水分利用效率分别提高 6.1%、8.4%、6.5%。分析原因可能是由于覆盖在马铃薯各生育时期均能起到显著的蓄水保水作用, 同时对土壤的抑蒸作用促进了马铃薯块茎对土壤水分的利用, 进而使马铃薯产量较 CK 大幅增加。另外, 本试验年度马铃薯生育期有效降水较多, 对秸秆全地面覆盖及局部覆盖高覆盖(9 000 kg/hm²)处理影响较为严重, 且高垄秸秆局部覆盖处理较平作秸秆局部覆盖处理更有利于降水收集, 增加降水入渗, 改善土壤水分状况, 从而提高土壤贮水及水分利用效率, 故高垄秸秆局部覆盖处理(RSM)产量好于平作秸秆局部覆盖处理(PSM), 秸秆局部低覆盖量(6 000 kg/hm²)处理产量好于秸秆局部高覆盖量(9 000 kg/hm²)处理。

4 结 论

1) 与 CK 相比, 秸秆局部覆盖马铃薯薯块产量和 WUE 显著提高了 16.8%及 21.3%, RSM 处理薯块产量和 WUE 显著提高了 18.6%及 23.3%, 低覆盖量(6 000 kg/hm²)处理薯块产量和 WUE 提高了 21.1%、26.2%。局部覆盖处理间, 与 PSM 处理相比, RSM 处理薯块产量及 WUE 提高了 1.5%和 1.7%; 与秸秆局部高覆盖量(9 000 kg/hm²)处理相比, 秸秆局部低覆盖(6 000 kg/hm²)处理薯块产量及 WUE 提高了 6.1%和 6.5%。

2) 覆盖能显著提高马铃薯生育期 0~180 cm 土层土壤水分, 改善土壤墒情。与 CK 相比, 秸秆局部覆盖增墒效应显著, 且增墒效果表现为 RSM 处理>PSM 处理, 秸秆局部低覆盖量(6 000 kg/hm²)处理>秸秆局部高覆盖量(9 000 kg/hm²)处理。

3) 与 CK 相比, 覆盖处理显著降低马铃薯全生育期平均总耗水量, 其中以秸秆局部覆盖 PSM6 处理和 RSM6 处理降幅最大, 显著降低了 13.0 mm 及 13.4 mm, 且马铃薯生育期总耗水量及耗水特征总体均呈先增大后减小的趋势。

4) 从蓄水保墒、增产高效等方面考虑, 推荐高垄秸秆局部覆盖(RSM)+6 000 kg/hm²的覆盖量作为西北旱作区马铃薯生产上较为适宜的种植方式。

参考文献:

- [1] 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.
QIAN Yuping, TIAN Huihui, CHENG Hongbo, et al. Effects of straw mulching and sowing methods on water consumption characteristics and yield of potato in arid region of Northwest China[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2020, 28(6): 826-834.
- [2] 达存莹, 岳云, 贾秀苹. 甘肃省马铃薯产业发展现状与主粮化发展分析[J]. 中国农业资源与区划, 2016, 37(3): 38-42.
DA Cunying, YUE Yun, JIA Xiuping. Analysis of the development of potato production area layout and the staple food of Gansu[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2016, 37(3): 38-42.
- [3] 李文娟, 秦军红, 谷建苗, 等. 从世界马铃薯产业发展谈中国马铃薯的主粮化[J]. 中国食物与营养, 2015, 21(7): 5-9.
LI Wenjuan, QIN Junhong, GU Jianmiao, et al. Developing potato as A staple food in China based on world potato development[J]. Food and Nutrition in China, 2015, 21(7): 5-9.
- [4] 叶元生, 黄彩霞. 西北旱地秸秆覆盖对小麦产量及农田生态效应的影响[J]. 农业工程, 2020, 10(8): 106-113.
YE Yuansheng, HUANG Caixia. Effects of straw mulching on wheat yield and farmland ecological effect in northwest dry land[J]. Agricultural Engineering, 2020, 10(8): 106-113.
- [5] 陈素英, 张喜英, 裴冬, 等. 玉米秸秆覆盖对麦田土壤温度和土壤蒸发的影响[J]. 农业工程学报, 2005, 21(10): 171-173.
CHEN Suying, ZHANG Xiying, PEI Dong, et al. Effects of corn straw mulching on soil temperature and soil evaporation of winter wheat field[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2005, 21(10): 171-173.
- [6] 普雪可, 吴春花, 勉有明, 等. 不同覆盖方式对旱作马铃薯生长及土壤水热特征的影响[J]. 中国农业科学, 2020, 53(4): 734-747.
PU Xueke, WU Chunhua, MIAN Youming, et al. Effects of different mulching patterns on growth of potato and characteristics of soil water and temperature in dry farmland[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2020, 53(4): 734-747.
- [7] 纪晓玲, 张静, 乔文远, 等. 不同覆盖方式对旱地马铃薯产量和水分利用效率的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2016, 34(6): 58-62.
JI Xiaoling, ZHANG Jing, QIAO Wenyuan, et al. Effects of different mulching methods on yield and water use efficiency of potato[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2016, 34(6): 58-62.
- [8] 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.
LI Hui, WU Jianmin, CHAI Shouxi, et al. Effects of corn straw strip mulching on soil temperature and potato yield in northwest arid land of China[J]. Journal of Desert Research, 2018, 38(3): 592-599.
- [9] CHEN Y Z, CHAI S X, TIAN H H, et al. Straw strips mulch on furrows improves water use efficiency and yield of potato in a rainfed semiarid area[J]. Agricultural Water Management, 2019, 211: 142-151.
- [10] 陈玉章, 田慧慧, 李亚伟, 等. 秸秆带状沟覆垄播对旱地马铃薯产量和水分利用效率的影响[J]. 作物学报, 2019, 45(5): 714-727.
CHEN Yuzhang, TIAN Huihui, LI Yawei, et al. Effects of straw strip mulching on furrows and planting in ridges on water use efficiency and tuber yield in dryland potato[J]. Acta Agronomica Sinica, 2019, 45(5): 714-727.
- [11] 卜玉山, 苗果园, 周乃健, 等. 地膜和秸秆覆盖土壤肥力效应分析与

- 比较[J]. 中国农业科学, 2006, 39(5): 1 069-1 075.
- BU Yushan, MIAO Guoyuan, ZHOU Naijian, et al. Analysis and comparison of the effects of plastic film mulching and straw mulching on soil fertility[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2006, 39(5): 1 069-1 075.
- [12] 柴守玺, 杨长刚, 张淑芳, 等. 不同覆膜方式对旱地冬小麦土壤水分和产量的影响[J]. 作物学报, 2015, 41(5): 787-796.
- CHAI Shouxi, YANG Changgang, ZHANG Shufang, et al. Effects of plastic mulching modes on soil moisture and grain yield in dryland winter wheat[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2015, 41(5): 787-796.
- [13] 杨长刚, 柴守玺, 常磊, 等. 不同覆膜方式对旱作冬小麦耗水特性及籽粒产量的影响[J]. 中国农业科学, 2015, 48(4): 661-671.
- YANG Changgang, CHAI Shouxi, CHANG Lei, et al. Effects of plastic mulching on water consumption characteristics and grain yield of winter wheat in arid region of northwest China[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2015, 48(4): 661-671.
- [14] 杨长刚, 柴守玺, 常磊. 半干旱雨养区不同覆膜方式对冬小麦土壤水分利用及产量的影响[J]. 生态学报, 2015, 35(8): 2 676-2 685.
- YANG Changgang, CHAI Shouxi, CHANG Lei. Influences of different plastic film mulches on soil water use and yield of winter wheat in semiarid rain-fed region[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, 35(8): 2 676-2 685.
- [15] 陈超, 李荣, 李芬, 等. 不同沟垄覆盖下土壤水热效应对旱作马铃薯生长及产量的影响[J]. 排灌机械工程学报, 2020, 38(11): 1 160-1 166.
- CHEN Chao, LI Rong, LI Fen, et al. Influences of soil hydrothermal effect on dryland potato growth and yield under various ridge and furrow mulch conditions[J]. *Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering*, 2020, 38(11): 1 160-1 166.
- [16] 徐欣, 王笑影, 鲍雪莲, 等. 长期免耕不同秸秆覆盖量对玉米产量及其稳定性的影响[J]. 应用生态学报, 2022, 33(3): 671-676.
- XU Xin, WANG Xiaoying, BAO Xuelian, et al. Effects of long-term no-tillage and stover mulching on maize yield and its stability[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2022, 33(3): 671-676.
- [17] 马建涛, 程宏波, 柴守玺, 等. 覆盖方式对旱地不同熟性马铃薯产量及土壤水分的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2019, 54(2): 55-64.
- MA Jiantao, CHENG Hongbo, CHAI Shouxi, et al. Influence of different mulching patterns on soil moisture and yield of potato cultivars with different maturities in dryland farming[J]. *Journal of Gansu Agricultural University*, 2019, 54(2): 55-64.
- [18] EDWARDS L, BURNEY J R, RICHTER G, et al. Evaluation of compost and straw mulching on soil-loss characteristics in erosion plots of potatoes in Prince Edward Island, Canada[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2000, 81(3): 217-222.
- [19] 蔡太义, 陈志超, 黄会娟, 等. 不同秸秆覆盖模式下农田土壤水温效应研究[J]. 农业环境科学学报, 2013, 32(7): 1 396-1 404.
- CAI Taiyi, CHEN Zhichao, HUANG Huijuan, et al. Effects of different modes of cropping systems using straw mulch on the soil temperature and soil water on the Weibei highland region of China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2013, 32(7): 1 396-1 404.
- [20] 马建涛, 程宏波, 陈玉章, 等. 不同覆盖方式对旱地马铃薯耗水特性和产量的影响[J]. 生态学杂志, 2020, 39(7): 2 242-2 250.
- MA Jiantao, CHENG Hongbo, CHEN Yuzhang, et al. Effects of different mulching practices on soil water consumption and potato tuber yield in dryland farming[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2020, 39(7): 2 242-2 250.
- [21] 李芬, 侯贤清, 李荣. 沟垄二元覆盖对旱作马铃薯耗水特征、产量及水分利用效率的影响[J]. 核农学报, 2019, 33(12): 2 472-2 481.
- LI Fen, HOU Xianqing, LI Rong. Effect of dual-mulching of ridge-and-furrow on water consumption characteristics, yield and water use efficiency of potato in dryland farming[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2019, 33(12): 2 472-2 481.
- [22] 韩凡香, 常磊, 柴守玺, 等. 半干旱雨养区秸秆带状覆盖种植对土壤水分及马铃薯产量的影响[J]. 中国生态农业学报, 2016, 24(7): 874-882.
- HAN Fanxiang, CHANG Lei, CHAI Shouxi, et al. Effect of straw strip covering on ridges on soil water content and potato yield under rain-fed semiarid conditions[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2016, 24(7): 874-882.
- [23] QIN S H, ZHANG J L, DAI H L, et al. Effect of ridge-furrow and plastic-mulching planting patterns on yield formation and water movement of potato in a semi-arid area[J]. *Agricultural Water Management*, 2014, 131: 87-94.
- [24] XIAO L G, ZHAO R Q, KUHN N J. Straw mulching is more important than no tillage in yield improvement on the Chinese Loess Plateau[J]. *Soil and Tillage Research*, 2019, 194: 104 314.
- [25] ZHAO H B, LIU J F, CHEN X W, et al. Straw mulch as an alternative to plastic film mulch: Positive evidence from dryland wheat production on the Loess Plateau[J]. *Science of the Total Environment*, 2019, 676: 782-791.
- [26] ZRIBI W, ARAGÜÉS R, MEDINA E, et al. Efficiency of inorganic and organic mulching materials for soil evaporation control[J]. *Soil and Tillage Research*, 2015, 148: 40-45.
- [27] 兰雪梅, 黄彩霞, 李博文, 等. 不同覆盖材料对西北旱地冬小麦地温及产量的影响[J]. 麦类作物学报, 2016, 36(8): 1 084-1 092.
- LAN Xuemei, HUANG Caixia, LI Bowen, et al. Effect of different mulching materials on soil temperature and yield of winter wheat in northwest arid land of China[J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2016, 36(8): 1 084-1 092.
- [28] 蒋锐, 郭升, 马德帝. 旱地雨养农业覆膜体系及其土壤生态环境效应[J]. 中国生态农业学报, 2018, 26(3): 317-328.
- JIANG Rui, GUO Sheng, MA Dedi. Review of plastic film mulching system and its impact on soil ecological environment in China's rainfed drylands[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2018, 26(3): 317-328.
- [29] 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, 31(6): 148-156, 256.
- LI Hui, CHAI Shouxi, CHANG Lei, et al. Effects of straw strip mulching on soil moisture and potato yield in northwest semi-arid region of China[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2017, 31(6): 148-156, 256.
- [30] 谢军红, 李玲玲, 张仁陟, 等. 覆膜、沟垄作对旱作农田玉米产量和水分利用的叠加效应[J]. 作物学报, 2018, 44(2): 268-277.
- XIE Junhong, LI Lingling, ZHANG Renzhi, et al. Superimposition effect of film-mulching and furrow ridging culture on maize grain yield and WUE in loess plateau[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2018, 44(2): 268-277.
- [31] WANG T C, WEI L, WANG H Z, et al. Responses of rainwater conservation, precipitation-use efficiency and grain yield of summer maize to a furrow-planting and straw-mulching system in Northern China[J]. *Field Crops Research*, 2011, 124(2): 223-230.
- [32] 吴晓丽, 汤永禄, 李朝苏, 等. 秋季玉米秸秆覆盖对丘陵旱地小麦生理特性及水分利用效率的影响[J]. 作物学报, 2015, 41(6): 929-937.
- WU Xiaoli, TANG Yonglu, LI Chaosu, et al. Effects of autumn straw mulching on physiological characteristics and water use efficiency in winter wheat grown in hilly drought region[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2015, 41(6): 929-937.
- [33] 夏芳琴, 姜小凤, 董博, 等. 不同覆盖时期和方式对旱地马铃薯土壤水热条件和产量的影响[J]. 核农学报, 2014, 28(7): 1 327-1 333.
- XIA Fangqin, JIANG Xiaofeng, DONG Bo, et al. Effects of mulching time and methods on soil hydrothermal status and potato yield on rain-fed field[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2014, 28(7): 1 327-1 333.

system. The flow characteristics, pressure pulsation characteristics and vorticity distribution characteristics in the pump unit under three typical conditions, $0.8 Q_d$, Q_d and $1.2 Q_d$ (Q_d is the design flow condition) were analyzed.

【Result】Flow pattern in the inlet of the channel is stable, and flow stability in the outlet of the channel is mainly affected by flow condition. The impeller's rotation serves as the excitation source of pressure pulsation in the pump, and there are high-order harmonics of blade frequency at the inlet of the impeller. The amplitude of high-order harmonics at the outlet of the impeller is small, and there are complex frequency components at the outlet of the guide vane, along with evident low-frequency pulsations. We also find that the flow vorticity in the inlet passage is zero, while the vorticity in the impeller chamber, guide vane chamber, and outlet passage is highly diverse. Due to the rotation disturbance of the impeller, the vorticity in the flow field in the impeller chamber and guide vane chamber is the largest. Under low flow condition, the difference in vorticity between the pump section and the outlet channel is the highest, while the vorticity decreases with increasing flow. This is consistent with the change of flow pattern in the pump device, thereby explaining, from an energy perspective, the reason for variation of the flow stability under different flow conditions. 【Conclusion】Our results provide guidance for comprehending the mechanisms underlying flow characteristics and stability in the plane S-type pump device. They are helpful for engineering design.

Key words: plane S-type axial extension tubular pump; vorticity; pressure pulsation; flow characteristics; numerical simulation

责任编辑: 赵宇龙

(上接第 64 页)

The Way and Amount of Straw Mulching Impact Water Consumption and Yield of Potato

MA Juhua¹, HUANG Caixia^{1*}, LI Yazhen¹, YANG Yong¹, CHEN Zhipi², LI Hongcai³,
LI Yongjun², HU Liangliang¹, WANG Longlong¹, ZHANG Qian¹

(1. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China;

2. Dingxi Hydraulic Research Institute, Dingxi 743000, China; 3. Dingxi Water Resources Bureau, Dingxi 743000, China)

Abstract: 【Objective】Straw mulching and ridge tillage is an improved agronomic technology to sustain crop production in the loess plateau in northwestern China. How their combination impacts water uptake and crop yield is not well understood. This paper is to fill this knowledge gap. 【Method】The experiment was conducted in a potato field and compared ridge tillage and traditional flatten tillage. For the ridge tillage, there were three mulching treatments: film mulching (PM), locally high straw mulching (RSM9), and locally low straw mulching (RSM6). For the traditional flatten tillage, there were also three treatments: locally high straw mulching (PSM9), locally low straw mulching (PSM6), and full straw mulching (FC). The control is flatten tillage without mulching. 【Result】① Compared with CK, mulching increased the yield and *WUE* of the potato by 11.8%~21.7% and 15.9%~26.7%, respectively. Compared with PSM treatments, RSM treatments increased the yield and *WUE* of the potato by 1.5% and 1.7%, respectively. Compared with the locally high straw mulching (9 000 kg/hm²), the locally low straw mulching (6 000 kg/hm²) increased the yield and *WUE* by 6.1% and 6.5%, respectively. ② Compared with CK, local straw mulching increased soil moisture in some regions and reduced it in other regions, but overall, it increased soil water content. The increased soil water storage under different treatments was ranked in the order of RSM6 > PSM6 > RSM9 > PSM9 treatment. ③ Compared with CK, partial straw mulching increased total water consumption, daily water consumption, and water consumption coefficient for potato tuber formation and starch accumulation by 4.6 mm, 0.11 mm/d and 2.7%, respectively. Water consumption during tuber expansion and harvest was greater in RSM than in PSM, while the opposite was true during soil-tuber expansion. 【Conclusion】Straw mulching can reduce water consumption before tuber expansion, increase water consumption after tuber expansion, balance water consumption and demand during key growth stages, and promote potato growth and development. For all treatments we compared, ridge tillage coupled with partial straw mulching at 6 000 kg/hm² was most effective.

Key words: local straw mulching; culture; high ridge; water consumption characteristics; potato

责任编辑: 白芳芳