

覆盖方式对旱地马铃薯阶段耗水量特征和产量的影响

纪文宁^{1,2}, 程宏波^{1,2}, 李亚伟^{2,3}, 兰雪梅^{2,3},

钱玉平^{2,3}, 柴守玺^{2,3}, 常磊^{2,3}

(1.甘肃农业大学生命科学技术学院,兰州 730070;

2.甘肃省干旱生境作物学重点实验室,兰州 730070;3.甘肃农业大学农学院,兰州 730070)

摘要:为明确不同覆盖方式对旱地马铃薯田土壤耗水、耗水规律、水分利用效率、产量及产量形成的影响,在陇中半干旱农区设置了玉米秸秆带状双行覆盖(SSM2)、玉米秸秆带状单行覆盖(SSM1)、玉米秸秆全覆盖(SFM)、地膜春覆盖(PMS)和地膜秋覆盖(PMA)5种覆盖方式,以传统露地平作为对照(CK)。结果表明:2年试验中,玉米秸秆带状覆盖和地膜覆盖处理土壤贮水消耗量较CK分别增加13.5,14.8 mm。玉米秸秆带状覆盖能显著提高降水对马铃薯耗水贡献率,不同降雨年型内均以SSM2处理贡献率最高,2年分别为95.6%和94.3%。于CK相比,覆盖处理均降低了生育前期(播种—块茎形成期)耗水量,地膜覆盖显著增加了生育中期(块茎形成期—淀粉积累期)耗水量,玉米秸秆带状覆盖显著增加了生育后期(淀粉积累期—收获期)的耗水量。玉米秸秆带状覆盖和地膜覆盖分别能使马铃薯干薯产量增加27.9%和24.2%,干薯水分利用效率提高23.1%和19.3%。综上可知,玉米秸秆带状覆盖处理能显著增加马铃薯生育时期内农田土壤贮水消耗量,并改善马铃薯生育前期和生育后期耗水,减少旱地马铃薯农田无效耗水,能显著提高马铃薯干薯产量和水分利用效率。

关键词:玉米秸秆带状覆盖;土壤耗水;耗水特征;马铃薯产量;水分利用效率

中图分类号:S314

文献标识码:A

文章编号:1009-2242(2022)03-0228-08

DOI:10.13870/j.cnki.stbcxb.2022.03.033

Effects of Mulching Methods on Water Consumption and Yield of Potato in Dryland Farming

Ji Wenning^{1,2}, Cheng Hongbo^{1,2}, Li Yawei^{2,3}, Lan Xuemei^{2,3},

Qian Yuping^{2,3}, Chai Shouxi^{2,3}, Chang Lei^{2,3}

(1.College of Life Science and Technology, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070; 2.Key Laboratory of Arid Land Crop Science of Gansu Province, Lanzhou 730070; 3.College of Agronomy, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070)

Abstract: In order to determine the effects of different mulching methods on soil water depletion, water consumption patterns, water use efficiency, yield and yield formation in dryland potato fields, five mulching methods, including whole maize straw strip double row mulching (SSM2), whole maize straw strip single row mulching (SSM1), full mulching of maize straw (SFM), plastic film spring mulching (PMS) and plastic film autumn mulching (PMA), were set up in the semi-arid agricultural region of Longzhong, with the traditional bare land as the control (CK). The results showed that compared with CK, Soil water consumption increased by 13.5 and 14.8 mm for the whole maize straw strip mulching and plastic film mulching. The whole maize straw strip mulching could significantly increase the contribution of precipitation to potato water consumption, the highest contribution was found in SSM2 in different rainfall year types, 95.6% and 94.3% respectively in two years. Compared with CK, all mulching treatments reduced water consumption in the early growth stage (from sowing to tuber initiation), the whole maize straw strip mulching increased water consumption in the later growth stage (from starch accumulation to harvest), and the plastic film mulching increased water consumption in the middle growth stage (from tuber initiation to starch accumulation). The

收稿日期:2021-10-27

资助项目:国家自然科学基金项目(31760362,31760373)

第一作者:纪文宁(1997—),男,硕士研究生,主要从事作物栽培及生态生理研究。E-mail:372521863@qq.com

通信作者:程宏波(1976—),女,副教授,主要从事作物栽培及生态生理研究。E-mail:chenghbdd@126.com

whole maize straw strip mulching and plastic film mulching increased drying tuber yield of potatoes by 27.9% and 24.2%, and water use efficiency increased by 23.1% and 19.3%. In conclusion, it can be seen that the whole maize straw strip mulching could significantly increase the soil water storage consumption during the full growth stage of potato, and improve the water consumption in the early and later growth stages, reduce the inefficient water consumption in dryland potato farms, and significantly improve drying tuber yield and water use efficiency of potato.

Keywords: whole maize straw strip mulching; soil water consumption; water consumption characteristics; potato yield; water use efficiency

马铃薯(*Solanum tuberosum* L.)作为世界第四大主要粮食作物,具有适应性强、产量高的特点,也是我国西北干旱半干旱雨养农区抗旱增收的主粮作物,有效保障了地区粮食安全,促进了地方经济发展^[1]。甘肃陇中半干旱农区,兼有干旱少雨、降雨分布不均且蒸发量大的特点,加以灌溉条件缺乏、倒春寒等灾害性气候变化频发,从而阻碍作物生长发育,进而影响作物优质高产^[2]。因此,有效减少土壤水分蒸发、充分利用自然降雨是解决该区马铃薯水分需求的主要途径。

提高作物水分利用效率的技术对可持续的作物生产和粮食安全至关重要^[3],农业覆盖技术作为节水抗旱的重要栽培措施,具有蓄水保墒作用,一定程度上解决降雨不足和季节分配不均导致的作物水分不足、产量不稳定等问题,增强作物抗旱能力,显著提高作物产量和水分利用效率^[4-8]。王青松等^[9]研究表明,在河套灌区利用覆膜技术,可以有效改善农田耗水结构,提高春玉米产量与水分利用效率。陈桂平等^[10]研究表明,在西北绿洲灌区地膜秸秆交替覆盖降低了玉米农田间的棵间蒸发量,减少了玉米营养生长前期耗水,增大了生长后期的耗水量,有效协调玉米前后生育时期耗水互补。

地膜覆盖通过增加日照净辐射,提高土壤温度,而秸秆覆盖具有随季节温度变化增加或降低土壤温度的功能^[11-12],较地膜覆盖更有利于马铃薯和冬小麦等喜凉作物生长。景明等^[13]研究表明,地膜覆盖条件下的棵间蒸发量显著高于秸秆覆盖,进而限制作物水分利用效率,且农田残膜通过增大土壤容重,降低土壤孔隙度,从而阻碍土壤水分入渗,减弱土壤保水能力,进而胁迫作物的生长发育^[14-15]。秸秆覆盖具有就地取材、对环境污染小的优势,在西北干旱半干旱农区具有更好的应用前景,且根据作物耗水特征选择适宜的秸秆覆盖量能有效抑制土壤水分蒸发^[16-17],因此,选择科学的秸秆覆盖模式对于干旱半干旱农区农业生产具有一定意义。

玉米秸秆带状覆盖技术是近年来研发的一项新型覆盖栽培技术,已在甘肃陇中半干旱雨养农区小麦

和马铃薯生产中广泛应用,有关玉米秸秆带状覆盖技术蓄水保墒、调节地温等相关研究已有大量报道,而其对马铃薯耗水规律及产量形成的影响机制尚不明确。为此,本试验从马铃薯全生育阶段耗水及不同深度土壤耗水的角度出发,探讨玉米秸秆带状覆盖对马铃薯增产效应及水分利用效率的影响,以期为马铃薯高产覆盖栽培提供理论依据,为覆盖栽培技术维持半干旱雨养农区土地生产力提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2018 年 4 月至 2019 年 10 月年在甘肃省定西市通渭县平襄镇甘肃农业大学试验站进行(35°11'N, 105°19'E),试验地土壤类型为黄绵土,试验地海拔 1 750 m,年均气温 7.2 ℃,多年平均生育期内平均降水量 391 mm,年平均蒸发量 1 500 mm,降水年际间差异较大,且主要集中在 6—9 月。2 年试验中,2018 年生育期有效降雨量为 383.3 mm,属欠水年,2019 年生育期有效降雨量为 423.9 mm,属丰水年,马铃薯生育期内有效降雨量见图 1。

1.2 试验设计

试验分玉米秸秆和黑色地膜 2 种覆盖材料,分玉米秸秆带状双行覆盖(SSM2)、玉米秸秆带状单行覆盖(SSM1)、玉米秸秆全覆盖(SFM)、地膜春覆盖(PMS)和地膜秋覆盖(PMA) 5 种覆盖方式,以传统露地平作(CK)为对照。供试品种为试验区主栽马铃薯品种“陇薯 7 号”,试验地前茬作物均为小麦,试验共设 6 个处理,每个处理 3 次重复,共 18 个试验小区,采用完全随机区组排列。具体试验小区设计见表 1。

2018 年和 2019 年马铃薯各品种单位面积种植密度均为 55 000 株/hm²,各小区施肥量相同,试验区布局前统一施肥,各处理尿素(46% N)和三重过磷酸钙(46% P₂O₅和 8% N),分别按纯氮 180 kg/hm²和磷 P₂O₅ 150 kg/hm²均匀撒施,深耕前结合灭茬一次性旋耕施入,生育期内不追肥。

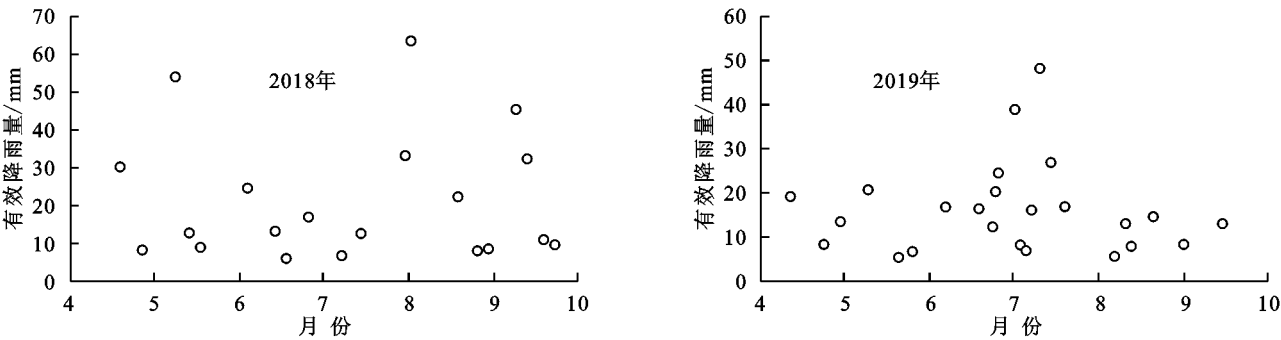


图 1 马铃薯全生育时期有效降雨量

表 1 试验小区设计

处理	试验小区设计
露地种植(CK)	无覆盖,平作,等行距穴播种植,行距 60 cm,株距 30 cm,呈品字形分布
黑膜秋覆(PMA)	采用全膜双垄沟方法,秋季覆膜,黑膜幅宽 120 cm,种植在 70 cm 大垄,每垄穴播双行马铃薯距大垄边缘 10 cm,行距 60 cm,株距 30 cm,呈品字形分布
黑膜春覆(PMS)	采用全膜双垄沟方法,春季覆膜,黑膜幅宽 120 cm,种植在 70 cm 大垄,每垄穴播双行马铃薯距大垄边缘 10 cm,行距 60 cm,株距 30 cm,呈品字形分布
宽覆双行(SSM2)	玉米整秆带状覆盖,拖拉机压带,深 15 cm,玉米整秆条带覆盖(50 cm 宽)与裸地不覆盖即种植带(70 cm 宽)交替,覆盖带以不见裸露地面为宜,风干秸秆用量为 8 000.0 kg/hm ² ,每带穴播双行马铃薯,行距 60 cm,株距 30 cm,呈品字形分布
窄覆单行(SSM1)	玉米整秆带状秋覆,拖拉机压带,深 15 cm,玉米秸秆条带覆盖(30 cm 宽)与裸地不覆盖即种植带(30 cm 宽)交替,覆盖带以不见裸露地面为宜,风干秸秆用量为 7 000.0 kg/hm ² ,每带穴播单行马铃薯,株距 30 cm,呈品字形分布
全地面覆盖(SFM)	整秆全地面铺覆,以不见裸露地面为宜,风干秸秆用量为 9 000.0 kg/hm ² ,穴播种植马铃薯,行距 60 cm,株距 30 cm,呈品字形分布

1.3 测定项目及方法

1.3.1 土壤耗水量及水分利用效率的计算 分别在马铃薯各生育时期,采用打钻法,用直径为 5 cm 的土钻分别在种植带中间分 8 个土层(0—20,20—40,40—60,60—90,90—120,120—150,150—180,180—200 cm)取土样,在(105.0±2.0)℃的恒温下烘干后计算土壤含水量。

土壤贮水消耗量 ΔW (mm)计算公式为:

$$\Delta W=10\sum_{i=1}^n\gamma_iH_i(\theta_{i1}-\theta_{i2})$$
 (1)

式中:*i* 为土层编号;*n* 为总土层数; γ_i 为第 *i* 层土层容重(g/cm³),*H_i* 为第 *i* 层土层厚度(mm); θ_{i1} 和 θ_{i2} 分别为第 *i* 层土壤时段初末的土壤含水量(%)。

农田耗水量 ET(mm)的计算公式为:

$$ET=\Delta W+P+I-D+W_g-R$$
 (2)

式中:ΔW 为生育期土壤贮水量变化量(mm);*P* 为作物生育期≥5 mm 有效降雨量;*I* 为灌溉量(mm);*D* 为灌溉后土壤水向下层流动量(mm);*W_g* 为深层地下水利用量(mm);*R* 为地表径流(mm);*W₁*、*W₂* 分别为某一生育阶段初始和结束时的土壤贮水量(mm)。本试验地无灌溉,地下水位较深,且地表径流小,故 *I*、*D*、*W_g* 和 *R* 可忽略不计。

水分利用效率(WUE,kg/(hm²·mm))计算公式为:

$$WUE=\frac{Y}{ET}$$
 (3)

式中:*Y* 为马铃薯块茎产量(kg/hm²);*ET* 为马铃薯农田耗水(mm)。

耗水模系数(%)=某一生育阶段农田耗水量/生育期农田总耗水量×100%

1.3.2 产量测定 在马铃薯收获时,按照 3 次重复测得马铃薯实际产量,取平均值折算每公顷马铃薯鲜薯产量。将各处理考种后的 15 株马铃薯块茎鲜薯称重,在 105℃下烘干,折算各处理块茎含水量(块茎含水量=1-(15 株马铃薯块茎干重/15 株马铃薯块茎鲜重)),计算各处理干薯产量(干薯产量=小区实测鲜薯产量×块茎含水量)。

1.3.3 统计分析 采用 Microsoft Excel 2016 和 Sigma-Plot 14.0 软件对数据进行处理及作图,采用 SPSS 22.0 软件进行方差分析和相关性分析,采用最小显著极差法(LSD)进行显著性检验,显著性水平 *P*≤0.05。

2 结果与分析

2.1 马铃薯产量及产量形成的差异

由表 2 可知,覆盖均较露地种植提高马铃薯鲜薯

产量及干薯产量。与 CK 相比,鲜薯增产率地膜覆盖 (PM)(22.32%)>秸秆带状覆盖 (SSM)(15.27%)> 秸秆全覆盖 (SFM)(6.14%),而干薯增产率则表现为 SSM(27.88%)>PM(24.22%)>SFM(12.56%),除 SFM 外,覆盖处理间鲜薯产量和干薯产量均差异不显著。覆盖较 CK 显著提高鲜薯(7.0%~20.5%)和干薯水分利用效率(13.5%~25.1%),且总体来看,覆盖处理间差异不显著。处理间的产量差异首先取决于单薯重、其次为单株结薯数,二者处理间变异系数(CV)分别为 9.3%和 5.8%。与 CK 相比,PM、SSM、SFM 依次提高单薯重 27.7%,12.6%和 11.0%,仅

SSM1 较 CK 显著提高单株结薯数 10.5%。
年季间马铃薯生物产量、秸秆产量及收获指数差异较大,2018 年马铃薯平均生物产量和秸秆产量分别高于 2019 年 23.5%,92.2%,收获指数却低于 2019 年 21.2%。生物产量、秸秆产量年际间差异可能与降水的生育期分布有关,2018 年马铃薯生育后期降水教较少,导致植株较早衰老,抑制植株干物质向块茎的转移。与 CK 相比,覆盖不同程度提高生物产量(9.6%~28.6%)及秸秆产量(6.4%~29.0%),但收获指数处理间差异不显著,生物产量及秸秆产量均以 SSM1 最高、SFM 最低。

表 2 不同覆盖方式对马铃薯产量、产量构成要素及水分利用效率的影响

年份	处理	单株结薯数/个	单薯重/g	鲜薯产量/(kg·hm ⁻²)	干薯产量/(kg·hm ⁻²)	鲜薯产量水分利用效率/(kg·hm ⁻² ·mm ⁻¹)	鲜薯产量水分利用效率/(kg·hm ⁻² ·mm ⁻¹)	生物产量/(kg·hm ⁻²)	秸秆产量/(kg·hm ⁻²)	收获指数
2018	PMA	6.6ab	98.7b	37866a	8693a	90.6a	20.8a	20742a	12049a	41.91a
	PMS	5.8cd	106.0a	35725b	8053bc	83.6b	18.9b	19158c	11105b	42.04a
	SSM2	6.1bc	88.5cd	31627c	7730c	77.7c	19.0b	19581bc	11851a	39.49b
	SSM1	6.8a	85.3cd	33969b	8340ab	81.6bc	20.0ab	20141ab	11801a	41.41a
	SFM	5.4d	91.0c	29169d	6993d	69.7d	16.7c	17480d	10487b	40.0b
	CK	5.9cd	83.6d	28507d	6324e	67.3d	14.9d	15541e	9216c	40.7ab
	CV/%	9.33	8.60	11.29	11.50	10.99	11.60	10.29	9.78	2.54
2019	PMA	7.1b	114.8a	41196a	9432c	91.6a	21.0bc	15528b	6096b	60.75c
	PMS	6.8b	105.7ab	40700a	9435c	90.6a	21.0bc	14987b	5552cd	62.96b
	SSM2	7.4ab	96.0bc	40087a	10557a	90.4a	23.8a	16537a	5980bc	63.83ab
	SSM1	7.9a	105.4ab	40833a	10037b	86.7a	21.3b	16878a	6842a	59.5c
	SFM	7.2ab	93.8bc	38288ab	9142c	92.2a	22.0b	14030c	4889e	65.16a
	CK	7.4ab	82.9c	35048b	8009d	83.9a	19.2c	13247c	5239de	60.46c
	CV/%	11.21	4.96	5.97	9.17	6.75	7.71	9.27	12.03	3.55
2 年平均	PMA	6.85ab	106.7a	39531a	9062a	91.1a	20.9a	18135ab	9073a	51.33a
	PMS	6.29b	105.8a	38213ab	8744a	87.1a	19.9a	17073ab	8328b	52.5a
	SSM2	6.75ab	92.3bc	35857abc	9143a	84.1ab	21.4a	18059ab	8916ab	51.66a
	SSM1	7.35a	95.3b	37401ab	9188a	84.1ab	20.7a	18509a	9321a	50.45a
	SFM	6.33b	92.4bc	33728bc	8067ab	80.9ab	19.4ab	15755bc	7688bc	52.58a
	CK	6.65ab	83.3c	31778c	7167b	75.6b	17.1b	14394c	7227c	50.58a
	CV/%	9.34	5.79	8.06	9.35	6.31	7.78	9.50	9.86	1.77

注:同年同列不同小写字母表示处理间差异显著(P<0.05)。下同。

2.2 覆盖方式对马铃薯全生育期总耗水量的影响

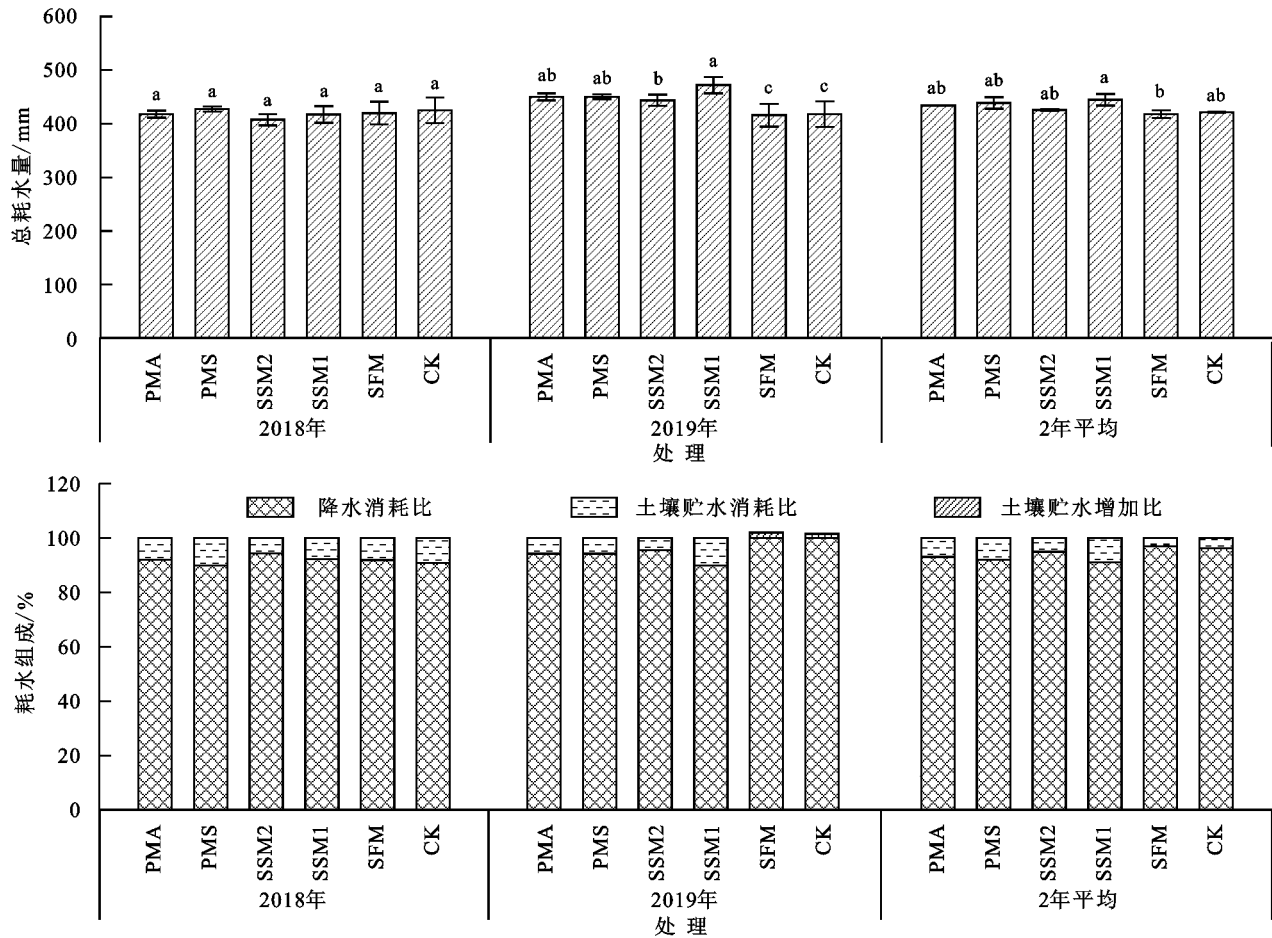
2.2.1 覆盖处理间降水对耗水贡献的差异 在黄土高原半干旱环境背景下,马铃薯的耗水高度依赖于生育期降水,甚至在多雨年份出现降水大于耗水需求的情况。但在生育期降水较少的年份,播前土壤贮水对马铃薯的耗水仍有较大贡献。由图 2 可知,秸秆带状覆盖可显著提高马铃薯降水对耗水的贡献率,在生育期降水为 383.0 mm 条件下,降水对耗水的贡献率为 89.9%~94.3%,以 SSM2 最高;在生育期降水为 423.9 mm 条件下,生育期降水不仅可完全满足 SFM 和 CK 的

耗水需求,而且产生盈余 8.1,6.2 mm,其他覆盖处理降水贡献率为 89.9%~95.6%,以 SSM2 最高。
2.2.2 覆盖对马铃薯不同土层土壤贮水消耗量的影响 2 年平均来看,除 SFM 较 CK 略降低土壤贮水消耗量 3.7 mm 外,其他覆盖处理均不同程度增加土壤贮水消耗,地膜覆盖中以 PMS 消耗量最大,较 CK 显著增加 17.2 mm,秸秆带状覆盖中以 SSM1 消耗量最大,较 CK 显著增加 23.0 mm(表 3)。
覆盖对各土层土壤贮水消耗影响不同,且年际间差异较大。在降水较少且主要集中分布在营养生长

盛期的 2018 年,马铃薯生长主要消耗 0—60 cm 土层贮水,占土壤贮水总消耗量的 76.8%以上。覆盖总体较 CK 降低 0—60 cm 土层贮水消耗,以 SSM2 降幅最大,显著低于 CK 23.0 mm。除 PMA 和 SSM 外,其他处理在 150—200 cm 土层的贮水均有不同程度的补充(0.5~6.2 mm),以 PMS 和 CK 补充量较大。

在降水相对较多且在各生育阶段分布较均匀的 2019 年,SFM 和 CK 的土壤贮水分别得到 8.1,6.2 mm

的补充,CK 主要补充在 0—60 cm 土层,而 SFM 则主要补充在 60—150 cm 土层,即在降水满足耗水需求后,秸秆覆盖可促进盈余降水向较深层蓄积。其他处理土壤贮水消耗主要集中在 60—200 cm 土层,其中 PMA、PMS、SSM1 在该土层耗水占总土壤耗水的 84.0%,99.2%,81.8%;SSM1 在该土层的耗水量为 27.7 mm,而在 0—60 cm 土层土壤贮水增加了 8.1 cm,因此,0—200 cm 土壤贮水总消耗量为 19.6 mm。



注:图柱上方不同小写字母表示相同年份不同处理间差异显著($P<0.05$)。下同。

图 2 马铃薯全生育期耗水及总耗水组成

表 3 马铃薯不同土层贮水消耗量

单位:mm

处理	2018 年			2019 年			2 年平均		
	0—60 cm	60—150 cm	150—200 cm	0—60 cm	60—150 cm	150—200 cm	0—60 cm	60—150 cm	150—200 cm
PMA	31.00ab	0.49a	2.37a	4.14a	12.52b	9.30ab	17.57ab	6.50b	5.83a
PMS	41.85a	7.68a	−6.17a	0.19ab	11.43b	14.78a	21.02a	9.56ab	4.30a
SSM2	21.34c	2.77a	−0.54a	−8.08b	14.25b	13.38ab	6.63c	8.51ab	6.42a
SSM1	25.53ab	7.21a	0.47a	8.65a	31.75a	7.63b	17.09ab	19.48a	4.05a
SFM	32.45ab	5.60a	−2.23a	−0.39ab	−15.77c	8.04ab	16.03ab	−5.09c	2.91a
CK	44.33bc	2.87a	−5.81a	−18.30c	3.15b	8.90ab	13.01bc	3.01bc	1.54a

2.3 覆盖处理间生育期总耗水及各生育阶段耗水分配的差异

覆盖对马铃薯总耗水量和耗水结构的影响因降水年型不同而有较大差异。由图 3 可知,在生育期前期

(苗期—现蕾期)和后期(淀粉积累期—成熟期)降水较少,而中期(盛花期—块茎膨大期)降水较多的年份(2018 年),各处理的总耗水量相近。但在各生育阶段降水较均匀、且生育期总降水较充沛的年份(2019 年),各覆盖

处理较 CK 增加耗水量(32.2~54.2 mm),其中以 SSM1 增加耗水最显著。

2018 年,地膜覆盖各阶段耗水量和耗水模系数与 CK 相近;SSM 和 SFM 对前期耗水量和耗水模系数与 CK 相似,但 SSM 可明显降低中期耗水量(35.4 mm)和耗水模系数(7.5%),增加后期耗水量(9.6 mm)和耗水模系数(3.3%);而 SFM 则增加了中期耗水量(25.8 mm)和耗水模系数(6.6%)、降低了后

期耗水量(37.2 mm)和耗水比例(8.6%)。

2019 年,各覆盖处理一致降低前期和增加中期耗水量和耗水模系数,但后期处理间耗水量和耗水模系数差异不显著。各处理前期耗水量较 CK 降低 16.9~52.7 mm,耗水模系数降低 0.5%~5.3%,降幅均以 SFM 最大;各处理中期增加耗水量 10.8~52.8 mm,除 SSM1 外,耗水模系数增加 3.0%~12.5%,耗水量增幅以 PMA 最大,耗水模系数以 SFM 增幅最大。

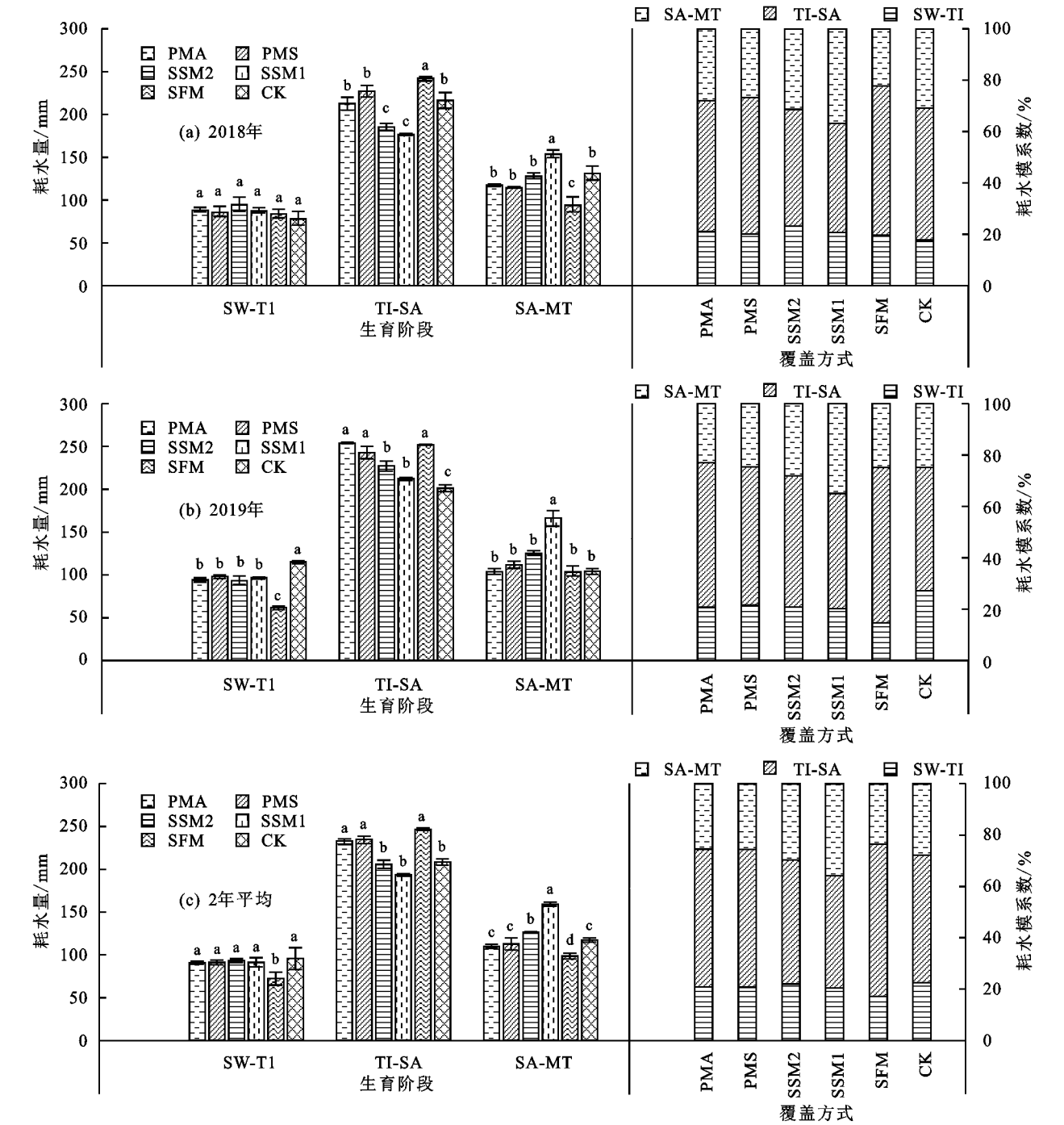


图3 马铃薯各生育阶段农田耗水

2.4 耗水与马铃薯产量及其主要指标的相关分析

由表4可知,马铃薯高产建立在高耗水基础上,生育期耗水与干薯(0.517**)和鲜薯产量(0.361*)

均高度正相关。覆盖对时期耗水分配的调整,特别是增加薯块形成阶段耗水,有利于单薯重增加,提高产量和马铃薯收获指数,现蕾一块茎增长期耗

水量与单薯重(0.509**)、鲜薯产量(0.341*)、收获指数均(0.464**)高度正相关;而对 0—60 cm 土层耗水的抑制和 60 cm 以下土壤贮水消耗的促进可以增加单株结薯数,促进干物质积累和转移,0—60 (—0.606**),60—150(0.372*),150—200(0.670**) cm 土壤贮水消耗与干薯产量高度相关,0—60 cm 土层耗水与单株结薯数(—0.699**)及收获指数(—0.853**)均高度负相关。

表 4 覆盖条件下马铃薯阶段耗水量与产量要素的相关关系

指标	阶段耗水量			土层耗水量			总耗水量
	SW—TI	TI—SA	SA—MT	0—60 cm	60—150 cm	150—200 cm	
干薯产量	0.150	0.243	0.187	—0.606**	0.372*	0.670**	0.517**
鲜薯产量	0.034	0.341*	—0.102	—0.552**	0.316	0.634**	0.361*
单薯重	0.056	0.509**	—0.146	—0.089	0.316	0.232	0.439**
单株结薯数	0.281	—0.022	0.282	0.699**	0.303	0.658**	0.434
生物产量	0.015	—0.476**	0.349*	0.638**	0.125	—0.387*	—0.175
秸秆产量	—0.051	—0.512**	0.218	0.806**	—0.052	—0.618**	—0.305
收获指数	0.021	0.464**	0.201	—0.853**	0.130	0.724**	0.419**

注:SW—TI 为播种一块茎形成期;TI—SA 为块茎形成期—淀粉积累期;SA—MT 为淀粉积累起—收获期;* 表示 0.05 水平上相关性显著;
** 表示 0.01 水平上相关性显著。

3 讨论

自然降雨少且随季节变化分布不均是影响西北干旱半干旱雨养农区优质高效农业可持续发展的主要因素,是制约马铃薯产量增加的主要环境因素^[18-19]。覆盖种植作为目前广泛应用的栽培措施,能有效蓄积雨水,显著抑制土壤水分无效蒸发,提高土壤水库的调蓄能力,促进作物对土壤水分的有效利用,进而促进马铃薯生长及产量形成^[20-21]。本试验在不同降雨年型中,覆盖处理较露地种植均提高了马铃薯块茎产量,增加了单薯重,提高了水分利用效率,这与王红丽等^[22]、王平等^[23]在西北干旱半干旱区研究结论相一致,且本研究同时表明玉米秸秆带状覆盖较地膜覆盖更利于马铃薯块茎中干物质的积累,显著提高了干薯产量和干薯水分利用效率。

尽管高耗水是作物高产的前提,但优化耗水结构、降低无效土壤蒸发、增加作物蒸腾耗水比例对实现作物对水分的高效利用也尤为重要。已有研究^[24]表明,增强中后期叶面蒸腾耗水,有利于促进马铃薯块茎中淀粉积累,本研究也发现,玉米秸秆带状覆盖在降水亏缺年分提高了马铃薯生育后期农田耗水量和耗水模系数,有利于后期光合生产及光合产物向块茎中的转移积累,从而提高了干薯产量;但在雨水充沛的年份,覆盖对耗水分配的影响与欠水年有所不同,总体表现为降低前期土壤蒸发、增加中期蒸腾消耗,以促进马铃薯营养生长、提高鲜薯产量。

旱作区作物生长耗水一部分来自于土壤贮水,另一部分主要依靠自然降水。适宜的覆盖方式可提高自然降水的利用率,对盈余水分进行蓄保,提高土壤

贮水量。本研究中秸秆带状覆盖较秸秆全覆盖和地膜覆盖具有更高降水利用率,其主要原因是秸秆带状覆盖中的无覆盖播种带也是生育期内降水的入渗带,有较大的入渗面;地膜覆盖条件下生育期降水主要通过有限的播种孔入渗,秸秆全覆盖条件下则是通过秸秆缝隙入渗,虽然土壤蒸发得到了抑制,但降水的入渗量和入渗速率都不如秸秆带状覆盖,从而降低了降水的利用率。

4 结论

- (1)覆盖栽培均能显著提高了马铃薯块茎产量和水分利用效率,而秸秆带状覆盖更有利于提高马铃薯干薯产量和水分利用效率。
- (2)覆盖主要通过改变耗水在不同生育阶段的分配而影响马铃薯产量。秸秆带状覆盖在欠水年更有利于增加马铃薯生育后期耗水,促进马铃薯块茎中淀粉积累。
- (3)适宜的秸秆覆盖方式有利于提高降水利用率,满足西北半干旱区农业生产高产高效的要求,适宜在半干旱雨养农业区推广应用。

参考文献:

[1] 肖国举,仇正跻,张峰举,等.增温对西北半干旱区马铃薯产量和品质的影响[J].生态学报,2015,35(3):830-836.
[2] 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.
[3] 于显枫,张绪成,王红丽,等.施肥对旱地全膜覆盖垄沟种植马铃薯耗水特征及产量的影响[J].应用生态学报,2016,27(3):883-890.
[4] 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.
- [5] Qin W, Hu C S, Oenema O. Soil mulching significantly enhances yields and water and nitrogen use efficiencies of maize and wheat: A meta-analysis [J]. Scientific Reports, 2015, 5(1): e16210.
- [6] 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.
- [7] 彭正凯,李玲玲,谢军红,等.不同耕作措施对旱地作物生育期农田耗水结构和水分利用效率的影响[J].水土保持学报,2018,32(5):214-221.
- [8] Liu Q F, Chen Y, Liu Y, et al. Coupling effects of plastic film mulching and urea types on water use efficiency and grain yield of maize in the Loess Plateau, China [J]. Soil and Tillage Research, 2016, 157: 1-10.
- [9] 王青松,冯浩,董勤各,等.地膜覆盖对河套灌区春玉米耗水结构及水分利用的影响[J].灌溉排水学报,2021,40(8):10-18.
- [10] 陈桂平,郑德阳,郭瑶,等.绿洲灌区地膜秸秆交替覆盖玉米农田土壤水分利用特征[J].干旱地区农业研究, 2021, 39(4): 54-63.
- [11] Li R, Hou X Q, Jia Z K, et al. Effects on soil temperature, moisture, and maize yield of cultivation with ridge and furrow mulching in the rainfed area of the Loess Plateau, China [J]. Agricultural Water Management, 2013, 116: 101-109.
- [12] 王芳,程宏波,李瑞,等.秸秆带状覆盖对旱地冬小麦土壤温度及产量的影响[J].麦类作物学报,2017,37(6): 777-785.
- [13] 景明,程献国,李强坤.地膜覆盖和秸秆覆盖春小麦田间蒸发影响因素分析[J].灌溉排水学报,2012,31(2): 97-100.
- [14] 杜利,李援农,陈朋朋,等.不同残膜量对土壤环境及玉米生长发育的影响[J].节水灌溉,2018(7):4-14.
- [15] 严昌荣,刘恩科,舒帆,等.我国地膜覆盖和残留污染特点与防控技术[J].农业资源与环境学报,2014,31(2):95-102.
- [16] 于庆峰,苗庆丰,史海滨,等.秸秆覆盖量对土壤温度和春玉米耗水规律及产量的影响[J].水土保持研究, 2018, 25(3): 111-116.
- [17] 申胜龙,李援农,银敏华,等.秸秆量对垄沟二元覆盖夏玉米农田耗水及产量的影响[J].干旱地区农业研究, 2018, 36(4): 60-66.
- [18] 田媛,李凤民,刘效兰.半干旱区不同垄沟集雨种植马铃薯模式对土壤蒸发的影响[J].应用生态学报,2007, 18(4): 795-800.
- [19] Ierna A, Mauromicale G. Tuber yield and irrigation water productivity in early potatoes as affected by irrigation regime [J]. Agricultural Water Management, 2012, 115: 276-284.
- [20] 苗芳芳,勉有明,普雪可,等.耕作覆盖对宁南旱区土壤团粒结构及马铃薯水分利用效率的影响[J].中国农业科学,2021,54(11):2366-2376.
- [21] 侯慧芝,高世铭,张绪成,等.旱地全膜覆土穴播春小麦的耗水特征及其对产量的影响[J].水土保持学报, 2017, 31(1): 202-210.
- [22] 王红丽,张绪成,于显枫,等.黑色地膜覆盖的土壤水热效应及其对马铃薯产量的影响[J].生态学报,2016, 36(16): 5215-5226.
- [23] 王平,陈娟,谢成俊,等.干旱地区覆盖方式对土壤养分及马铃薯产量的影响[J].中国土壤与肥料,2021(4): 118-125.
- [24] Madsen M H, Christensen D H. Changes in viscosity properties of potato starch during growth [J]. Starch Starke, 2010, 48(7/8): 245-249.