

不同灌溉方式对榆林沙区马铃薯 生长和产量的影响

王 雯,张 雄
(榆林学院生命科学学院,陕西 榆林 719000)

摘 要:开展膜下滴灌(MG)、露地滴灌(DG)、交替隔沟灌(JG)、沟灌(GA)和漫灌(CK)5种灌溉方式对马铃薯生长和产量影响的研究,旨在筛选出适合榆林沙区的最有效的节水灌溉方式。结果表明:(1)MG处理的马铃薯植株生长发育状况优于其他灌溉方式。整个生育期,MG处理的株高、茎粗以及叶片SPAD值均高于其他处理,且显著高于CK($P<0.05$)。除苗期外,不同处理的株高、茎粗及SPAD值均表现为MG>DG>JG>GA>CK。(2)在整个生育期,MG处理的马铃薯叶片净光合速率、气孔导度和水分利用效率均高于其他处理,且显著高于CK($P<0.05$)。(3)MG处理的马铃薯增产增收效果显著。不同处理马铃薯的商品薯率和小区产量均表现为:MG>DG>JG>GA>CK,MG处理分别较DG、JG、GA和CK增产6.2%、18.3%、29.7%和43.1%,分别较DG、JG、GA和CK增收7.3%、22.5%、41.1%和65.6%,并且分别比JG、GA和CK节水21.4%、30.2%和54.2%,节水效果明显。总体来看,同其他4种灌溉方式相比,膜下滴灌是榆林沙区马铃薯生产中最有效的一种节水灌溉方式。

关键词:灌溉方式;马铃薯;生长;产量;榆林沙区
中图分类号: S274.1; S532 **文献标志码:** A

Effects of different irrigation methods on growth and yield of potato in the sandy area of Yulin

WANG Wen, ZHANG Xiong
(College of Life Science, Yulin University, Yulin, Shanxi 719000, China)

Abstract: In order to select the most effective irrigation method which was suitable for the sandy area of northern Yulin, the effects of drip irrigation on the growth and yield of potato were studied under mulch (MG), drip irrigation without mulch (DG), furrow irrigation (GA), alternate furrow irrigation (JG) and flood irrigation (CK). The results showed that with the treatment of MG, the growth and development of potato were better than those with other irrigation methods. During the whole growth period, the plant height, stem diameter and leaf SPAD value by the treatment of MG were higher than those by other treatments, and were significantly higher than those in the CK ($P<0.05$). Except for the seedling stage, effects on the growth indexes by all the treatments were significant in the order of MG>DG>JG>GA>CK. Under the treatment of MG, the net photosynthetic rate, stomatal conductance and water use efficiency of potato leaf were higher than those under the other treatments, and were significantly higher than those in the CK ($P<0.05$). In addition, the effects on yield increase and income increase with the treatment of MG were prominent. The commodity potato rates and plot yields resulted from different treatments were in the order of MG>DG>JG>GA>CK. Among them, the yield by the treatment of MG was 6.2%, 18.3%, 29.7% and 43.1% higher than DG, JG, GA and CK, respectively, and its income was 7.3%, 22.5%, 41.1% and 65.6% higher than DG, JG, GA and CK, respectively. Furthermore, the amount of water used in the treatment of MG was 21.4%, 30.2% and 54.2% less than JG, GA and CK, respectively, which had a remarkable effect on water saving. Overall, comparing with other irrigation methods, the

收稿日期:2014-10-13
基金项目:陕西省重点科技创新团队建设计划“陕北农业节水综合研究-创新团队”(2013KCT-29)
作者简介:王 雯(1982—),女,甘肃酒泉人,博士,讲师,主要从事西北旱区农业高效节水技术研究。E-mail:wangwen200806@aliyun.com。
通信作者:张 雄(1970—),男,陕西榆林人,教授,博士,主要从事西北旱区农业节水研究。E-mail:yulinzhang2007@126.com。

drip irrigation under mulch is one of the most effective irrigation methods in the sandy area of northern Yulin.

Keywords: irrigation method; potato; growth; yield; sandy area of Yulin

榆林属于典型的西北干旱地区,气候干燥,蒸发强烈,降水较少。全市多年平均水资源总量为 9.81 亿 m^3 ,现有可利用水资源量为 3.8 亿 m^3 ,按耕地面积计算只有 $562.5 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$,仅为全国平均水平的 1/8,水源的短缺已成为制约榆林经济社会发展的主要瓶颈。在水资源开发利用过程中,工农业生产、生活和生态“三生”争水的矛盾日益突出,农业水资源短缺问题更加严重。榆林北部风沙区水资源总量占全市水资源总量的 81.8%,为水资源开发利用条件相对较优越的灌溉区,然而该地区农业节水灌溉技术相对滞后,农民用水方式粗放,浇地仍为大水漫灌,浪费现象严重,农业水资源利用效率低下。因此,加强农业高效节水灌溉技术研究,对于大幅度提高榆林沙区农业水资源利用率,推进我国西北旱区农业水资源的可持续利用,具有重要的理论和现实意义。

榆林沙区光照充足,土质疏松,昼夜温差大,是全国马铃薯五大优生区和高产区之一,该地区常年马铃薯种植面积达 17.3 万 hm^2 左右,约占粮食作物总面积的 1/3,在全市粮食生产中占有重要地位。然而,马铃薯整个生长阶段需水量较大,研究符合当地马铃薯生产实际的高效节水灌溉技术是解决榆林沙区农业水资源危机的重要途径。截至目前,有关漫灌、沟灌、喷灌、滴灌等不同灌溉方式对马铃薯生长发育及产量影响的研究主要集中在内蒙古干旱区及河套灌区^[2-5]、黑龙江干旱半干旱地区^[6]、中原二季作区^[7]、宁夏中部干旱风沙区^[8]、甘肃河西走廊地区^[9]、华北平原井灌区^[10],而有关陕北灌区不同灌溉方式对马铃薯生长和产量影响的研究目前还鲜见报道。鉴于此,本研究针对榆林沙区马铃薯生产中节水灌溉现状、存在问题及发展趋势,开展不同灌溉方式对马铃薯生长、产量及效益影响的研究,旨在筛选出适合本地区的最有效的节水灌溉方式。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验地位于榆林现代农业科技示范区,地处榆林市牛家梁镇榆卜界村($109^{\circ}43'E, 38^{\circ}23'N$),该区域属于干旱半干旱大陆性季风气候,年平均降水量 371 mm,蒸发量 1 900 mm,年日照时数 2 900 h,年总辐射量 $606.7 \times 10^7 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$,年均气温 8.6°C , $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温为 3 000 ~ 3 300 $^{\circ}\text{C}$,无霜期 167 d。该区域光照充沛,

地势平坦,地下水位较高,便于灌溉,土壤为风沙土,肥力水平中等。供试土壤 pH 值为 8.1,有机质含量为 $7.85 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全氮含量为 $0.36 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,碱解氮含量为 $48.90 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,有效磷含量为 $13.95 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效钾含量为 $87 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

1.2 试验设计

试验设漫灌(CK)、沟灌(GA,每条沟均匀灌水)、交替隔沟灌(JG,上次灌水沟下次不灌而邻沟灌)、露地滴灌(DG)和膜下滴灌(MG)5 个处理。小区面积 $3 \text{ m} \times 7 \text{ m}$,随机区组排列,重复 3 次,为了避免不同处理间的相互影响,每个处理间和同一处理间都相隔 1 m。MG 种植模式为 1 膜 1 带 1 行(见图 1)。施底肥后起垄覆膜播种,垄底宽 60 cm,垄顶宽 40 cm,垄间距 40 cm,垄高 15 cm,每垄种植两行马铃薯,行距为 $60 \text{ cm} + 40 \text{ cm}$,株距 30 cm,垄起好后,铺设滴灌带(采用内镶贴片式滴灌带,滴头间距 30 cm,滴头流量 $1.38 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$),播种后用幅宽 80 cm,厚度 0.008 mm 的地膜覆盖;DG 种植模式为 1 带 1 行不覆膜;GA 和 JG 种植模式为起垄覆膜不铺设滴灌带;DG、GA、JG 的株行距以及垄高、垄宽与 MG 相同;CK 种植模式为不起垄不覆膜,株行距与其他处理相同。

漫灌的灌溉量和灌溉次数按照当地农户传统灌溉方式确定。膜下滴灌、露地滴灌、交替隔沟灌和沟灌每次灌溉量分别为漫灌的 25%、25%、44% 和 56%,每次灌溉时用水表测定各小区的容积灌溉量(m^3)。在整个生育期,膜下滴灌、露地滴灌、交替隔沟灌、沟灌和漫灌的灌溉次数分别为 11、11、8、7 次和 6 次,各处理的灌溉量见表 1。

试验于 2014 年 5 月 25 日播种,供试品种为当地主栽品种紫花白,播种深度 8 ~ 10 cm,密度为 $66\,750 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$,底肥施尿素 $120 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,磷酸二铵 $225 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,硫酸钾 $225 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,混匀后在耕地时撒施地表,深翻入土壤。在块茎形成至块茎膨大期随灌水追肥 3 次,滴灌处理每次 $50 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,其他处理每次 $150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,其他田间管理方式相同,9 月 28 日收获。

1.3 测定项目及方法

试验测定指标包括土壤含水量、作物形态和生理指标、光合指标及产量指标,具体测量方法如下:

1.3.1 土壤含水量 用土钻取样,烘干法测定 20、40、60、80、100 cm 土层的含水量。

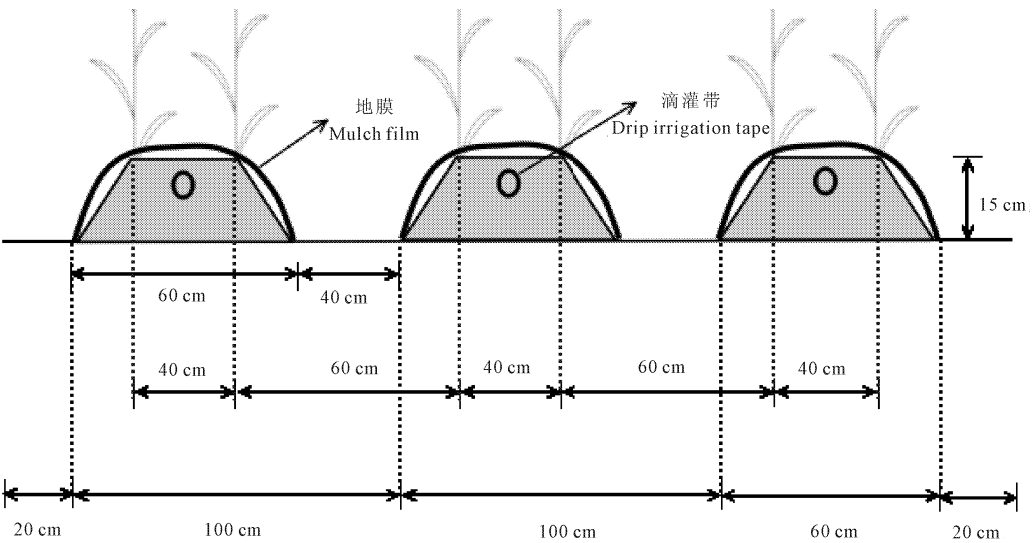


图 1 膜下滴灌处理示意图

Fig.1 Sketch of drip irrigation

表 1 不同灌溉方式的灌溉量/(m³·hm⁻²)

Table 1 Irrigation amounts by the different irrigation methods

处理 Treatments	苗期 Seedling stage	块茎形成期 Tuber initiation stage	块茎增长期 Tuber swelling stage	淀粉积累期 Starch accumulation stage	合计 Total
MG	381	381	762	571	2095
DG	381	381	762	571	2095
JG	667	333	1000	667	2667
GA	857	429	857	857	3000
CK	762	762	1524	1524	4571

1.3.2 形态和生理指标 株高:茎基部到生长点的高度,用直尺测量,每个小区选取马铃薯 3 株,求平均值(cm);茎粗:取茎基部最粗处的纵横二向直径的平均值,用游标卡尺测量,每小区选 3 株,取平均值(mm);叶绿素含量:采用 SPAD – 502 叶绿素仪测定叶绿素含量,在每小区分别选取长势相同 3 株马铃薯测定其倒 3 叶的顶小叶 SPAD 值,每一叶片测定 3 个位点,取平均值作为该叶片的 SPAD 值^[11],每小区选 3 株,每株重复测定 3 次,取其平均值。

1.3.3 光合指标 净光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)、气孔导度(G_s)均通过 LI – 6400 便携式光合测定仪观测并记录数据,每次在晴天 9:00—11:00 光照充足且相对稳定的时间测定,每小区选 3 株测定倒 3 叶光合指标,每株重复测定 3 次,取其平均值。水分利用效率(WUE)的计算公式为: $WUE = P_n / T_r$ 。

1.3.4 产量指标 收获时对每个小区随机选 15 株测定单株结薯数、单株薯重、商品薯率等产量性状,每小区分别称重并计算小区产量。商品薯率的测定标准是以 ≥ 150 g 的马铃薯作为商品薯。

1.4 数据处理与统计分析

采用 SPSS 19.0 统计分析软件对试验数据进行数据处理和统计分析,并用 LSD 法($P < 0.05$)进行多重比较,运用 Origin 8.5 软件作图。

2 结果与分析

2.1 不同灌溉方式对马铃薯生长发育的影响

株高、茎粗和叶片 SPAD 值是衡量马铃薯生长状况的重要指标。由表 2 可见,整个生育期,MG 处理的株高、茎粗和叶片的 SPAD 值均高于其他处理,且显著高于 CK($P < 0.05$)。除苗期外,不同处理的株高、茎粗和叶片 SPAD 值均表现为 MG > DG > JG > GA > CK。在块茎形成期,MG 和 DG 处理的株高分别较 CK 增加 54.4% 和 48.8%,增幅最大,并且 MG 和 DG 处理的茎粗分别较 CK 增加 36.3% 和 30.4%,增幅最大;在块茎形成期和成熟期,MG、DG 处理的 SPAD 值分别较 CK 增加 52.0%、38.6% 和 68.2%、47.5%,增幅最大。此外,在苗期 DG 处理的株高较 MG、JG 和 GA 低 13.5%、11.1% 和 12.0%,茎粗较 MG、JG 和 GA 低 9.6%、7.5% 和 9.6%;SPAD 值较

MG、JG 和 GA 低 11.6% ,4.9%和 3.8%。

表 2 不同灌溉方式对马铃薯株高、茎粗及叶片 SPAD 值的影响
Table 2 Effect of different irrigation methods on plant height, stem diameter and leaf SPAD of potato

指标 Index	处理 Treatments	生育期 Growth period				
		苗期 Seedling	块茎形成期 Tuber initiation	块茎增长期 Tuber swelling	淀粉积累期 Starch accumulation	成熟期 Mature
株高 Plant height /cm	MG	21.20a	42.11a	55.46a	63.11a	68.41a
	DG	18.34b	40.57ab	52.49a	60.70ab	65.52ab
	JG	20.62a	37.90b	49.01b	58.33bc	62.98bc
	GA	20.83a	33.59c	46.66b	56.72c	61.34c
	CK	17.69b	27.27d	37.08c	43.61d	53.26d
茎粗 Stem diameter /mm	MG	78.44a	115.11a	131.89a	154.67a	144.33a
	DG	70.89b	110.11a	126.44ab	151.44ab	140.11ab
	JG	76.67a	108.33a	121.56bc	146.78ab	140.22ab
	GA	78.42a	100.89b	115.22c	142.22b	135.78b
	CK	69.11b	84.44c	97.11d	128.89c	125.67c
SPAD 值 SPAD value	MG	36.68a	56.56a	50.34a	38.11a	27.37a
	DG	32.44ab	52.02a	45.90ab	36.28a	23.99ab
	JG	34.10ab	46.89a	44.00bc	35.87ab	21.96b
	GA	33.72ab	45.87b	40.06c	32.37bc	19.97bc
	CK	31.70b	37.00c	33.12d	30.66c	16.27c

注:同列不同小写字母表示处理间差异达到显著水平($P < 0.05$),下同。
Note: Different small letters mean significant differences among treatments at $P < 0.05$ level and hereinafter.

本研究中,膜下滴灌处理的马铃薯生长发育状况优于其他处理,并且在块茎形成期,膜下滴灌处理的马铃薯株高、茎粗和叶片 SPAD 值显著增加。尽管露地滴灌和膜下滴灌的灌溉量、灌溉次数相同,但前者株高、茎粗和叶片 SPAD 值仍低于后者。许多研究表明,相比漫灌、沟灌和喷灌等技术,膜下滴灌技术具有明显优势。一方面,滴灌技术能够根据作物根系分布进行精确灌溉,保持良好的土壤物理性质;另一方面,在西北旱区,地膜覆盖不仅可提高土壤温度,还可减少地面蒸发和株间蒸发^[12],具有较好的保温、保墒效果^[13]。此外,膜下滴灌还能显著提高肥料利用率,据测试,膜下滴灌的肥料利用率较漫灌、沟灌等常规灌溉方式提高 15% ~ 20%^[14]。因而,膜下滴灌可提供有利于马铃薯根系生长的水、肥、气、热环境,从而促进作马铃薯地上部分的生长发育。

2.2 不同灌溉方式对马铃薯光合作用的影响

净光合速率(P_n)、蒸腾速率(Tr)和气孔导度(G_s)是衡量叶片光合能力的重要指标,由表 3 可见,整个生育期,MG 处理的 P_n 值均高于其他处理,并且较 CK 高 53.3% ~ 65.1%,差异显著($P < 0.05$)。在块茎增长期 MG 和 DG 处理的 P_n 值较 CK 增加 64.6%和 52.8%,增幅最大。在苗期 DG 处理的 P_n 值较 MG、JG 和 GA 低 25.1%,23.7%和 23.4%;除

苗期外,CK 处理的 Tr 值均显著低于其他处理($P < 0.05$)(表 3)。在块茎形成期,MG 处理的 Tr 值较 CK 增加 35.0%,增幅最大。在块茎增长期和成熟期 DG 处理的蒸腾速率略大于 MG,其他时期均小于 MG;在整个生育期,MG 处理的 G_s 值均高于其他处理,且显著高于 CK($P < 0.05$)(表 3)。在块茎增长期 MG 和 DG 处理的 G_s 值较 CK 增加 47.0%和 41.3%,增幅最大。

本研究表明,在马铃薯整个生育期,膜下滴灌可显著提高植株的光合能力。相关研究也证实,覆膜滴灌方式可增强作物的光合能力,其 P_n 、 Tr 和 G_s 值均显著高于露地滴灌($P < 0.05$)^[15-16]。其原因是膜下滴灌形成适宜的土壤水、肥、气、热环境,可使马铃薯植株长势稳健,叶片生理机能优化,净光合速率增强、气孔导度增大^[17]。

2.3 不同灌溉方式对马铃薯水分利用效率的影响

叶片水分利用效率(WUE),反映了作物水分消耗与干物质生产之间的关系,是评价作物生长适宜度的重要指标。由图 2 可知,在整个生育期,MG 处理的 WUE 值均高于其他处理,较 CK 高 22.3% ~ 42.5%,差异显著($P < 0.05$),并且除苗期外 MG 处理的 WUE 值均显著高于 JG 和 GA($P < 0.05$)。马铃薯生长中后期(块茎增长 ~ 成熟期),MG 处理的

WUE 值较 DG 高 4.9% ~ 9.8%, 差异显著 ($P < 0.05$)。这是由于在该时期膜下滴灌处理的马铃薯净光合速率较露地滴灌高 5.3% ~ 7.7%, 而蒸腾速率却比露地滴灌低约 4.0%。因此, 膜下滴灌方式

可显著提高马铃薯植株的水分利用效率。国内外研究显示, 膜下滴灌处理的马铃薯植株水分利用效率比露地滴灌和常规灌溉提高 7.5% ~ 62.4%, 差异显著^[5,12,17], 这与本研究结果基本一致。

表 3 不同灌溉方式对马铃薯叶片光合能力的影响

Table 3 Effects of different irrigation methods on photosynthetic capacities of potato

光合参数 Photosynthetic parameters	处理 Treatments	生育期 Growth period				
		苗期 Seedling	块茎形成期 Tuber initiation	块茎增长期 Tuber swelling	淀粉积累期 Starch accumulation	成熟期 Mature
P_n $/(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	MG	8.69a	20.57a	24.34a	22.04a	8.10a
	DG	6.51b	17.43c	22.60b	20.98a	7.69a
	JG	8.53a	18.48b	21.42b	19.33b	7.04b
	GA	8.50a	16.11d	16.74c	16.57c	6.69b
	CK	5.67c	12.46e	14.79d	13.48d	5.12c
T_r $/(\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	MG	5.20b	6.21ab	7.27ab	6.43a	4.26ab
	DG	4.37c	5.76b	7.32a	6.41a	4.43a
	JG	5.41a	6.60a	7.24ab	6.11ab	4.32ab
	GA	5.37ab	5.57b	6.60bc	5.72b	3.97b
	CK	4.28c	4.60c	6.29c	5.18c	3.31c
G_s $/(\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	MG	0.57a	0.64a	0.69a	0.61a	0.50a
	DG	0.45b	0.57b	0.66a	0.56b	0.45ab
	JG	0.55a	0.56b	0.60b	0.54b	0.44b
	GA	0.56a	0.52b	0.57b	0.54b	0.43b
	CK	0.44c	0.44c	0.47c	0.44c	0.35c

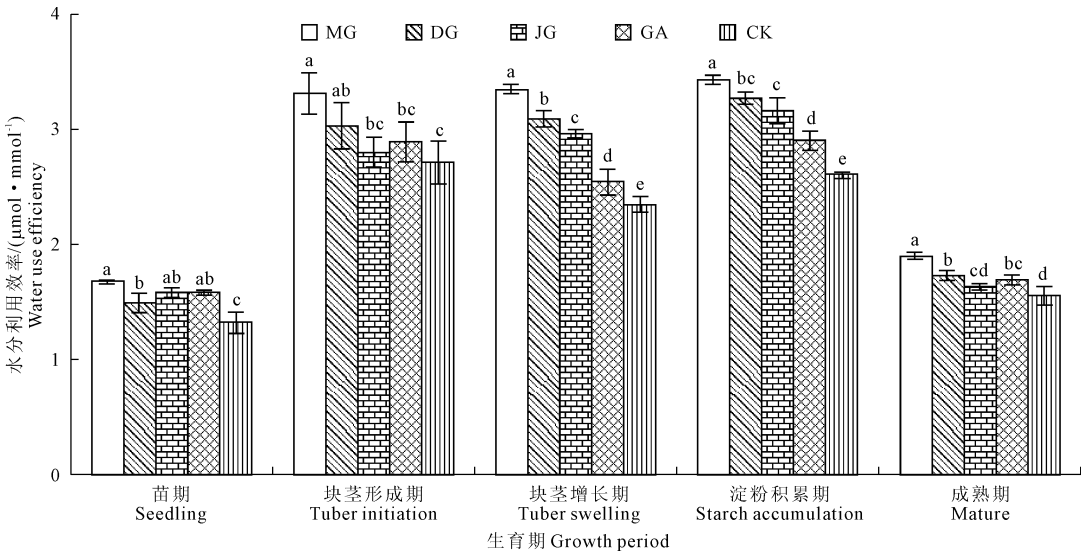


图 2 不同灌溉方式对马铃薯叶片水分利用效率的影响

Fig.2 Effect of different irrigation methods on leaf water use efficiency of potato

2.4 不同灌溉方式对马铃薯产量和效益的影响

由表 4 可见,膜下滴灌处理下马铃薯增产增收效果显著。不同处理的马铃薯产量和商品薯率均表现为:MG > DG > JG > GA > CK, MG 处理的商品薯率

分别较 DG、JG、GA 和 CK 高 4.8%、29.0%、40.9%和 68.2%, 其小区产量分别较 DG、JG、GA 和 CK 高 6.2%、18.3%、29.7%和 43.1%, 且与 GA 和 CK 差异显著 ($P < 0.05$)。折算为每公顷产量后(表 5),按

目前马铃薯市场价格 1.0 元·kg⁻¹计算,收益最高的为 MG 处理,DG 次之,CK 最低,其中 MG 处理较 CK 处理每公顷收益增加 43.1%,增幅最大。除去滴灌设备、农资(农药、化肥、地膜、种子等)、用工(锄草用工、灌水用工)等投入,不同处理的纯收益表现为:MG>DG>JG>GA>CK,其中,每公顷纯收入最多

的为 MG 处理(35 935.7 元),最少的为 CK 处理(21 697.6元)。MG、DG、JG、GA 处理分别比 CK 每公顷纯收入增加 14 238.1、11 798.4、7 630.2、3 769.9 元,MG 分别较 DG、JG、GA 和 CK 增收 7.3%、22.5%、41.1%和 65.6%,其增收幅度最大(表 5)。

表 4 不同灌溉方式对马铃薯产量的影响
Table 4 Effects of different irrigation methods on yields of potato

处理 Treatments	单株薯个数 Tuber numbers per plant	单株薯重量 Tuber weight per plant /kg	单株大薯个数 Big tuber numbers per plant	单株大薯重量 Big tuber weight per plant /kg	商品薯率 Commodity rate /%	小区产量 Plot yield /(kg·21m ⁻²)
MG	16.93a	3.45a	7.67a	2.92a	84.73	109.80a
DG	14.40ab	2.96a	6.60a	2.40a	80.88	103.42ab
JG	10.50b	2.40a	5.30a	1.57a	65.69	92.77abc
GA	13.13ab	2.20a	4.93a	1.32a	60.15	84.67bc
CK	13.07ab	2.08a	3.40a	1.05a	50.39	76.75c

表 5 不同灌溉方式下马铃薯的经济效益分析
Table 5 Effects of different irrigation methods on benefits of potato

处理 Treatment	投入 Input				产出 Output		
	农资投入 /(元·hm ⁻²) Agricultural input /(yuan·hm ⁻²)	灌溉投入 /(元·hm ⁻²) Irrigation input /(yuan·hm ⁻²)	管理投入 /(元·hm ⁻²) Management input /(yuan·hm ⁻²)	总投入 /(元·hm ⁻²) Total input /(yuan·hm ⁻²)	产量 /(kg·hm ⁻²) Yield	收益 /(元·hm ⁻²) Income /(yuan·hm ⁻²)	纯收益 /(元·hm ⁻²) Net income /(yuan·hm ⁻²)
MG	11250	3600	1500	16350	52285.7	52285.7	35935.7
DG	10650	3600	1500	15750	49246.0	49246.0	33496.0
JG	11250	0	3600	14850	44177.8	44177.8	29327.8
GA	11250	0	3600	14850	40317.5	40317.5	25467.5
CK	11250	0	3600	14850	36547.6	36547.6	21697.6

3 讨论与结论

1) 膜下滴灌处理的马铃薯植株生长状况要优于其他灌溉方式。整个生育期,膜下滴灌处理的马铃薯株高、茎粗以及叶片 SPAD 值均高于其他处理,且显著高于漫灌($P<0.05$)(表 2)。值得注意的是,在苗期露地滴灌条件下马铃薯的株高、茎粗和叶片 SPAD 值较覆膜灌溉条件(MG、JG 和 GA 处理)低 3.8%~13.5%(表 2)。这可能是由于马铃薯苗期需水量较小(幼苗期 1.67~3.14 mm·d⁻¹)^[18],在榆林沙区,苗期露地栽培条件下的土壤温度比覆膜栽培条件低 1.62℃~4.62℃(DG,CK,MG,GA,JG 处理的 0~25 cm 平均土壤温度分别为:13.40℃,13.38℃,18.00℃,15.96℃,15.00℃),而不同灌溉方式下 0~20 cm 的平均土壤含水量为 14.14%~14.86%(占田间持水量 60%~65%),土壤含水量适中,这表明在土壤墒情适宜的条件下,土壤温度对马铃薯幼苗生

长发育的影响要大于土壤水分,因而在露地滴灌条件下,土壤温度较低会使马铃薯茎、叶的生长速率降低。

2) 膜下滴灌处理的马铃薯光合能力和水分利用效率均优于其他灌溉方式。整个生育期,膜下滴灌处理的马铃薯叶片净光合速率、气孔导度和水分利用效率均高于其他灌溉方式,并且显著高于漫灌($P<0.05$)(表 3,图 2)。在本研究中,苗期露地滴灌条件下马铃薯植株的光合能力和水分利用效率也低于覆膜灌溉条件(MG、JG 和 GA 处理)。苗期露地滴灌处理的 P_n 值和 G_s 值较覆膜灌溉(MG、JG 和 GA 处理)低 19.5%~25.1%(表 3),并且露地滴灌处理的 WUE 值分别较 MG、JG 和 GA 处理低 10.9%、5.5%和 5.8%(图 2),其原因是苗期温度较低时,马铃薯叶片中光合作用关键酶活性降低,造成光合能力下降,光合同化物的运输能力受到限制,最终导致水分利用效率下降。

3) 膜下滴灌处理的马铃薯增产增收效果显著。膜下滴灌较露地滴灌、交替隔沟灌、沟灌和漫灌增产 6.2%、18.3%、29.7% 和 43.1%, 且膜下滴灌处理的商品薯率最高, 增收幅度最大。相关资料显示, 与漫灌、沟灌等传统灌溉方式相比, 膜下滴灌不仅可减少浇地、喷药及中耕除草等劳动用工^[16], 还可使肥料施用量较传统灌溉方式减少 30% 以上^[19]。本研究结果显示, 除去滴灌设备、农资、用工等投入, 膜下滴灌处理分别较露地滴灌、交替隔沟灌、沟灌和漫灌增收 7.3%、22.5%、41.1% 和 65.6% (表 5), 其增产增收效果显著。国内外研究显示, 马铃薯膜下滴灌比露地滴灌平均增产 5% ~ 20%, 增收 7% ~ 11%, 比漫灌平均增产 25% ~ 47%, 增收 50% ~ 144%^[20-21], 商品薯率和经济效益显著提高^[22], 这与本研究结论基本一致。同时, 本研究结果显示, 膜下滴灌处理分别比交替隔沟灌、沟灌和漫灌节约农业水资源 21.4%、30.2% 和 54.2% (表 1), 节水效果明显。这是由于膜下滴灌条件下马铃薯灌水量小, 地表蒸发量小, 砂壤土在耕层(0 ~ 20 cm)的蓄水性有所提高, 而其渗水性也得到改善, 能够保持根区适宜的土壤含水量, 比漫灌等传统灌溉方式节水 40% ~ 80%^[22-23]。本研究表明, 榆林沙区膜下滴灌处理马铃薯增产增收效果显著, 且节水效果明显, 因此与其他 4 种灌溉方式相比, 是该地区马铃薯生产中最有效的一种节水灌溉方式。此外, 本研究显示, 交替隔沟灌处理的产量和收益分别较漫灌高 20.9% 和 35.2%, 但是较膜下滴灌和露地滴灌减产 15.5% 和 10.3%, 纯收入较膜下滴灌和露地滴灌处理的下降 18.4% 和 12.4% (表 4, 表 5), 并且交替隔沟灌要比滴灌多使用 27.3% 的农业水资源 (表 1), 因此, 交替隔沟灌溉方式在榆林沙区的适用性还有待于进一步研究和论证。

参 考 文 献:

[1] 王小瑞, 吴 洁. 榆林市农业节水灌溉现状与发展对策探讨[J]. 水利与建筑工程学报, 2010, 8(6): 121-122.

[2] 秦军红. 马铃薯对水分的响应及膜下滴灌技术增产机制的研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2013.

[3] 秦军红, 蒙美莲, 陈有君, 等. 马铃薯膜下滴灌增产效应的研究[J]. 中国农学通报, 2011, 27(18): 204-208.

[4] 王玉明, 张子义, 樊明寿. 马铃薯膜下滴灌节水及生产效率的初

步研究[J]. 中国马铃薯, 2009, 23(3): 148-151.

[5] 秦永林. 不同灌溉模式下马铃薯的水肥效率及膜下滴灌的氮肥推荐[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2013.

[6] 马 力, 马 达, 张 峰. 不同灌溉方式在马铃薯生产上的应用效果[J]. 中国马铃薯, 2011, 25(2): 89-91.

[7] 董道峰, 陈广侠, 马 蕾, 等. 马铃薯节水灌溉模式研究[J]. 山东农业科学, 2013, 45(10): 69-71.

[8] 杨朝霞, 任迎萍, 何建龙. 宁夏中部干旱风沙区马铃薯滴灌节水栽培技术研究[J]. 辽宁农业科学, 2014, (3): 42-45.

[9] 武秀侠, 王凤新, 杨文斌. 西北干旱区不同灌水方式及覆膜对马铃薯产量和品质的影响研究[C]//中国农业工程学会农业水土工程专业委员会. 现代节水高效农业与生态灌区建设(上). 昆明: 云南大学出版社, 2010: 941-951.

[10] 王丽霞, 陈源泉, 李 超, 等. 不同滴灌制度对棉花/马铃薯模式中马铃薯产量和 WUE 的影响[J]. 作物学报, 2013, 39(10): 1864-1870.

[11] 聂向荣, 樊明寿. 马铃薯氮素营养状况的 SPAD 仪诊断[J]. 中国马铃薯, 2009, 23(4): 203-207.

[12] 秦永林, 井 涛, 康文钦. 阴山北麓马铃薯在不同灌溉模式下的水肥效率[J]. 中国生态农业学报, 2013, 21(4): 426-431.

[13] 井 涛. 膜下滴灌马铃薯生长发育规律及其对水氮的响应[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2012.

[14] 康 静, 黄兴法. 膜下滴灌的研究及发展[J]. 节水灌溉, 2013, (9): 71-74.

[15] 李维敏. 滴灌条件下不同覆膜方式对春玉米生理特性及土壤环境的影响[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2014.

[16] Shock C C, Pereira A B, Eldredge E P. Irrigation best management practices for potato[J]. American Journal of Potato Research, 2007, 84(1): 29-37.

[17] Kumari S. Influence of drip irrigation and mulch on leaf area maximization, water use efficiency and yield of potato (*Solanum tuberosum* L.) [J]. Journal of Agricultural Science, 2012, 4(1), 71-80.

[18] 武朝宝, 任 罡, 李金玉. 马铃薯需水量与灌溉制度试验研究[J]. 灌溉排水学报, 2009, 28(3): 93-95.

[19] Wang F X, Feng S Y, Hou X Y, et al. Potato growth with and without plastic mulch in two typical regions of Northern China[J]. Field Crops Research, 2009, 110(2): 123-129.

[20] 秦军红, 庞保平, 蒙美莲, 等. 马铃薯膜下滴灌耗水规律的研究[J]. 灌溉排水学报, 2013, 32(1): 47-50.

[21] 江俊艳, 汪有科. 不同灌水量和灌水周期对滴灌马铃薯生长及产量的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2008, 26(2): 121-125.

[22] Wang F X, Wu X X, Shock C C, et al. Effects of drip irrigation regimes on potato tuber yield and quality under plastic mulch in arid Northwestern China[J]. Field Crops Research, 2011, 122(1): 78-84.

[23] Ahmadi S H, Andersen M N, Plauborg F, et al. Effects of irrigation strategies and soils on field grown potatoes: yield and water productivity[J]. Agricultural Water Management, 2010, 97(11): 1923-1930.