

灌溉模式和灌水量对疏勒河灌区 蜜瓜品质和经济效益的影响

许文霞¹, 冯涛¹, 潘启兵², 孙向春¹,
张美珍¹, 吕铎¹, 殷晓燕¹, 赵娟¹

(1.酒泉市农业科学研究院,甘肃 酒泉 735000; 2.瓜州县现代农业技术服务中心,甘肃 酒泉 735000)

摘要:疏勒河灌区降水稀少、蒸发量大,蜜瓜灌溉主要以传统沟灌为主,为提高灌区蜜瓜品质和产量,探究适宜蜜瓜的高效节水灌溉模式,旨在疏勒河灌区蜜瓜高质优产和水资源高效利用提供科技支撑。设置5个处理:滴灌+3 600 m³·hm⁻²灌量+水肥一体化(D1)、滴灌+4 200 m³·hm⁻²灌量+水肥一体化(D2)、滴灌+4 800 m³·hm⁻²灌量+水肥一体化(D3)、沟灌+9 000 m³·hm⁻²灌量+追肥撒施(G1)、沟灌+9 000 m³·hm⁻²灌量+不追肥(G2),探究不同灌溉方式和灌水量对蜜瓜土壤含水率和土壤温度、蜜瓜品质、产量、灌溉水利用效率(IWUE)和经济效益的影响。结果表明:滴灌可显著提高蜜瓜0~5 cm 土层土壤温度1.9~6.2℃,使蜜瓜0~5 cm 土层土壤保持一定的含水率;滴灌较沟灌模式可提高蜜瓜品质和 IWUE,增加灌水量会显著降低蜜瓜品质和 IWUE、提高蜜瓜干物质质量和蜜瓜产量,其中蜜瓜可溶性糖含量和维生素 C 含量均表现为 D1>D2>D3>G1>G2,且各处理之间差异极显著(P<0.01);蜜瓜产量表现为 G1>D3>D2>G2>D1,且随着灌水量的增加蜜瓜产量增加趋势逐渐减弱;D2 处理 IWUE 最高、其次为 D1 和 D3 处理、G2 处理最低。D2 处理蜜瓜经济效益达到 111 108 CNY·hm⁻²,继续增加灌水量则蜜瓜经济效益增加趋势不再显著,且 D2 处理和 D3 处理的蜜瓜产投比最高。综上,建议在疏勒河灌区推行蜜水滴灌灌溉方式+4 200 m³·hm⁻²灌量+水肥一体化技术(N 300 kg·hm⁻²、P₂O₅ 150 kg·hm⁻²、K₂O 300 kg·hm⁻²;25%N、100% P₂O₅、50% K₂O 在播种前一次性基施,剩余部分全部追施,追肥均通过滴灌系统随水滴施),以提高蜜瓜品质 and 经济效益及灌溉水利用效率。

关键词:蜜瓜;产量;品质;灌溉模式;灌水量;灌溉水利用效率;经济效益;疏勒河灌区

中图分类号:S275.6; S652 文献标志码:A

Effects of irrigation modes and irrigation amounts on quality and economic benefits of muskmelon in Shule river irrigation district

XU Wenxia¹, FENG Tao¹, PAN Qibing², SUN Xiangchun¹,
ZHANG Meizhen¹, LV Duo¹, YIN Xiaoyan¹, ZHAO Juan¹

(1. Jiuquan Academy of Agricultural Sciences, Jiuquan, Gansu 735000, China;

2. Guazhou County Modern Agricultural Technology Service Center, Jiuquan, Gansu 735000, China)

Abstract: In the Shule river irrigation district, precipitation is scarce, and evaporation is high, making the traditional irrigation method for muskmelons the primary choice. To improve both the quality and yield of muskmelons in the district, this study focused on muskmelons as the research subject, exploring efficient, water-saving irrigation methods suitable for their cultivation. The goal was to provide scientific and technological support for achieving high-quality yields of muskmelons and optimizing the use of water resources in the Shule river irrigation district. The study was set up with five treatments: drip irrigation +3 600 m³·hm⁻² irrigation+water and fertilizer integration (D1), drip irrigation +4 200 m³·hm⁻² irrigation+water and fertilizer integration (D2), drip irrigation

+4 800 m³ · hm⁻² irrigation+water and fertilizer integration (D3), furrow irrigation +9 000 m³ · hm⁻² irrigation+topdressing and spreading fertilizer (G1), furrow irrigation +9 000 m³ · hm⁻² irrigation+ non-topdressing (G2) to investigate the changes of soil volume moisture content and soil temperature, dry matter weight, quality, yield, irrigation water utilization efficiency (IWUE) and economy of muskmelon under different irrigation methods. The results showed that drip irrigation significantly increased the soil temperature of 0~5 cm soil layer by 1.9~6.2℃ and maintained a certain volume water content of 0~5 cm soil layer. Compared with furrow irrigation mode, drip irrigation mode improved the quality and IWUE of muskmelon, but the increase of irrigation amount significantly reduced the quality and IWUE of muskmelon and increased the dry matter weight and yield of muskmelon. Among them, the content of soluble sugar and vitamin C in muskmelon were D1, D2, D3, G1 and G2 from high to low, and the differences among different treatments were very significant ($P<0.01$). The yield of muskmelon was G1, D3, D2, G2, D1 from high to low, and the increase trend of muskmelon yield gradually decreased with the increase of irrigation quantity. The IWUE for muskmelon was highest under D2 treatment, followed by D1 and D3 treatment, and lowest under G2 treatment. The economy of muskmelon in D2 treatment reached 111 108 yuan · hm⁻², and the increase trend of economy was no longer significant with the continuous increase of irrigation amount, and the yield and investment ratio of muskmelon in D2 treatment and D3 treatment was the highest. To sum up, it was suggested to implement the drip irrigation method +4 200 m³ · hm⁻²+water and fertilizer integration technology (300 kg · hm⁻², 150 kg · hm⁻², 300 kg K₂O · hm⁻²; 25%N, 100% P₂O₅, 50% K₂O were applied in a single base before seeding, and the rest were applied in full) in Shule river irrigation district to improve the quality and economic benefits of muskmelon and the IWUE.

Keywords: muskmelon; yield; quality; irrigation mode; irrigation amount; irrigation water utilization efficiency; economic benefits; Shule river irrigation district

疏勒河灌区具有丰富的光热资源,日照与积温充足,昼夜温差大,并且土地平整肥沃、灌溉设施齐全,种瓜条件得天独厚,是甘肃省重要的粮食及瓜果蔬菜种植基地。蜜瓜喜温喜光喜水怕涝,传统的沟灌方式容易造成土壤水分过多^[1],从而引起蜜瓜根区通气不良、限制根系呼吸,甚至可能导致死秧等现象,引起烂根烂瓜,影响蜜瓜产量和品质^[2]。蜜瓜品质评价的主要指标之一为糖度指标^[3]。土壤水分太高或太低均会降低蜜瓜的可溶性固形物和含糖量^[4],蜜瓜的总糖随着灌水量的减少呈现升高的趋势^[5]。因此,大水漫灌、沟灌等传统灌溉方式不适用于蜜瓜。滴灌作为一种先进的灌水技术,可以使土壤持续保持稳定的含水量,以补充土壤蒸发损失的水分;同时,滴灌系统可以实现水肥一体化,将养分直接运输到蜜瓜根区土壤,不仅可提高蜜瓜品质和产量,还可提高蜜瓜灌溉水利用效率和肥料利用率。

疏勒河灌区覆盖玉门市、瓜州县 22 个乡镇及 6 个国营农场,总灌溉面积 8.96 万 hm²,是甘肃省最大的自流灌区。该区域年降水量不足 70 mm,年蒸发量却高达 2 800 mm,农业生产常年依靠于浇灌,农业灌溉用水严重不足。但同时灌溉水利用效率

较低,目前仅为 50%,单方水粮食生产率约为 1.1 kg 左右,远远低于发达国家浇灌水利用率 70%~80%、单方水粮食生产率 2 kg 以上的水平。滴灌是干旱缺水地区最有效的一种节水灌溉方式,水分利用率可达 95%,滴灌较沟灌、喷灌等具有更高的节水增产效果,同时可以结合施肥,提高肥效一倍以上。因此,采用合理的灌溉模式在提高产量的同时又可节约农业用水^[6],是缓解干旱、半干旱地区用水矛盾切实可行的途径^[7]。

目前,国内关于节水对作物的影响^[8-10]、作物对水分亏缺响应^[11-13]的研究报道很多,但有关疏勒河灌区不同灌溉模式和灌水量对蜜瓜品质和产量以及经济效益影响的研究鲜见报道,有待开展更多试验研究^[14]。近年来,疏勒河灌区高标准农田项目建设以及灌区高效节水工程的推广应用,为此项研究提供了便利条件。因此,本研究针对疏勒河灌区用水极度紧张、利用率不高以及蜜瓜品质低下等问题,在灌区开展蜜瓜节水调质试验研究,探究不同灌水方式与灌水梯度对蜜瓜品质和产量的影响,探索蜜瓜高效节水灌溉模式,为疏勒河灌区蜜瓜优质高产和水资源高效利用提供科技支撑。

1 材料和方法

1.1 试验材料

田间试验于2022年4—7月在甘肃省河西走廊西部的瓜州县飞天蜜瓜农民专业合作社蜜瓜基地(40°27'56"N, 95°37'42"E, 海拔1 087.8 m)开展, 试验区属大陆性干旱气候, 年平均降水量45.7 mm, 年蒸发量3 140.6 mm, 昼夜温差大, 适宜蜜瓜生长。蜜瓜品种为‘金海蜜’, 全生育期约75 d。土壤类型为灌漠土, 试验地0~30 cm耕层土壤有机质13.0 g·kg⁻¹, 水解氮、速效磷、速效钾含量分别为23.0、26.2、241.0 mg·kg⁻¹, 水溶性总盐含量0.40%, pH值8.48。

1.2 试验设计

设置滴灌和沟灌两种灌溉模式。在滴灌模式下, 设置3个灌水梯度: 3 600、4 200、4 800 m³·hm⁻², 追肥随水滴施, 分别用D1、D2、D3表示; 在沟

灌模式下(灌量9 000 m³·hm⁻²), 设置常规追肥撒施和不追肥两种方式, 分别用G1和G2表示。共计5个处理, 每个处理3次重复, 共15个小区, 小区面积218.4 m², 详细试验处理见表1。

蜜瓜采用开沟覆膜种植, 行宽2.8 m, 沟宽(上口宽)60 cm, 沟深40 cm。在沟上覆盖1.4 m幅宽的地膜, 膜两边覆土压实, 沟底压土, 在距离沟沿1 cm处种植蜜瓜, 株间距38 cm, 距离蜜瓜1 cm处铺设滴灌带(沟灌模式下不需铺设滴灌带), 滴头间距40 cm, 滴头流量2.7 L·h⁻¹, 各处理灌水量通过水表和水阀控制, 试验小区间埋设深度1 m的防渗膜以防止侧渗。蜜瓜于4月26日播种, 株距42 cm, 为保证蜜瓜出苗, 播种后滴出苗水450 m³·hm⁻², 滴灌模式共灌水12次, 沟灌模式共灌水7次, 蜜瓜各处理灌水时间及灌水定额见表2。试验用氮肥为尿素, 整个生育时期施氮量为300 kg·hm⁻², 25%基施、75%追施; 钾肥(K₂O)为硫酸钾, 施钾量为300 kg·hm⁻²,

表1 试验处理
Table 1 Experimental treatment

处理 Treatment	灌溉方式 Irrigation method	灌水量 Irrigation quantity /(m ³ ·hm ⁻²)	灌水次数 Irrigating frequency	施肥方式 Fertilization method	追氮量 Nitrogen addition /(kg·hm ⁻²)	追钾量 Potassium addition /(kg·hm ⁻²)
D1	滴灌 Drip irrigation	3600	12	水肥一体化 Integration of water and fertilizer	225	150
D2	滴灌 Drip irrigation	4200	12	水肥一体化 Integration of water and fertilizer	225	150
D3	滴灌 Drip irrigation	4800	12	水肥一体化 Integration of water and fertilizer	225	150
G1	沟灌 Furrow irrigation	9000	7	撒施 Spread fertilizer over the ground	225	150
G2	沟灌 Furrow irrigation	9000	7	不施 Not fertilize	0	0

表2 蜜瓜各处理灌水时间及灌水定额

Table 2 Irrigation time and irrigation quota of melon for each treatment

生育时期 Growth period	灌水日期 Irrigation date (m-d)	灌水定额/(m ³ ·hm ⁻²) Irrigation quota				
		D1	D2	D3	G1	G2
播种(出苗水) Sow (Seedling irrigation)	04-26	450	450	450	450	450
苗期 Seedling stage	05-18	285	338	390	1425	1425
	05-27	285	338	390		
开花期 Flowering stage	06-06	285	338	390	1425	1425
	06-13	290	348	410		
结果期 Fruiting stage	06-19	285	338	390	1425	1425
	06-24	290	348	410		
果实膨大期 Fruit expansion stage	06-29	285	338	390	1425	1425
	07-03	290	350	410		
成熟期 Ripening stage	07-07	285	338	390	1425	1425
	07-11	285	338	390		
	07-15	285	338	390	1425	1425
总计 Total		3600	4200	4800	9000	9000

50%基施, 50%追施; 追肥在蜜瓜生长期(苗期05-27、开花期06-13、结果期06-29、膨大期07-07)分4次按试验设计随水滴施、撒施或不施。磷肥(P₂O₅)和商品有机肥全部作基肥, 用量分别为150 kg·hm⁻²和1 800 kg·hm⁻², 基肥在播种前一次性施入。所有处理基肥施用量一致, 其他管理措施同当地大田。

1.3 测定项目与方法

土壤温湿度: 在蜜瓜灌水后, 连续7 d用BG-TD100便携式土壤温湿度测定仪监测蜜瓜0~5 cm土层土壤温度和体积含水率。

蜜瓜干物质重和产量: 每个小区随机取3株蜜瓜进行干物质测定, 并按照根、茎、叶、果实几个部分, 经烘箱105℃杀青30 min, 75℃烘干至恒重后称重, 用百分之一天平电子天平(精度0.01g)测定每

一株各部分干物质质量;在蜜瓜成熟期按小区进行实际收获计产,最终折合成公顷产量。

蜜瓜品质:含水量采用 GB 5009.3-2016 食品安全国家标准《食品中水分的测定方法》测定;可溶性固形物含量用手持测糖仪测定;可溶性糖含量采用蒽酮比色法^[15]测定;维生素 C 含量采用 2,6-二氯酚法^[15]测定。

计算灌溉水利用效率,其计算公式灌溉水利用效率(IWUE)=产量/灌水量^[16]。

1.4 统计分析方法

采用 Excel 2019 和 SPSS 20 软件进行数据处理和分析,不同处理间的差异均采用 LSD 法进行单因素方差分析和显著性检验($P < 0.05$),同时采用 Excel 2019 软件作图。

2 结果与分析

2.1 不同处理对疏勒河灌区蜜瓜土壤温、湿度的影响

2.1.1 土壤温度 蜜瓜灌水后第 1~7 天,不同处理 0~5 cm 土层土壤温度和体积含水率的变化见图 1 所示。由图 1a 可知,0~5 cm 土层土壤温度随着灌水后天数的增加逐渐升高,灌水后前 5 d,各处理 0~5 cm 土层土壤温度升高幅度较明显,从高到低依次为 D1、D2、D3、G2、G1。灌水后第 1 d 和第 2 d,滴灌模式较沟灌模式可显著提高蜜瓜 0~5 cm 土层土壤温度 1.9~6.2℃,G2 处理和 G1 处理之间差异不显著($P > 0.05$),G2 处理和 D1、D2、D3 处理之间差异极显著($P < 0.01$)。从第 5 d 以后 0~5 cm 土层土壤温度不再持续增加,各处理之间差异不显著($P > 0.05$)。

2.1.2 土壤湿度 由图 1b 可知,0~5 cm 土层土壤体积含水率随着灌水后天数的增加逐渐降低。灌

水后前 4 d,沟灌模式 0~5 cm 土层土壤体积含水率显著高于滴灌模式,G2 处理和 G1 处理 0~5 cm 土层土壤体积含水率介于 29.1%~72.9%,D1、D2、D3 处理 0~5 cm 土层土壤体积含水率介于 15.8%~45.2%,且均随灌水天数的增加呈直线下降趋势,G1 处理和 G2 处理之间差异不显著($P > 0.05$),G1 处理和 G2 处理与 D1、D2、D3 处理之间差异极显著($P < 0.01$);灌水后第 5~7 天,各处理 0~5 cm 土层土壤湿度基本保持不变。

2.2 不同处理对疏勒河灌区蜜瓜干物质重的影响

节水调质灌溉对蜜瓜根、茎、叶、果实干物质重的影响见表 3,灌溉方式和灌水量均会影响蜜瓜各部位干物质重。由表 3 可知,滴灌模式下,D3 处理较 D1 处理蜜瓜根重降低 10.56%,D2 处理和 D1 处理对蜜瓜根重影响差异不显著($P > 0.05$);D2 处理和 D3 处理较 D1 处理蜜瓜茎、叶、果实、总干物质重分别提高 4.16%和 5.24%、12.17%和 23.28%、5.55%和 9.14%、5.93%和 9.83%。沟灌模式下,G1 处理比 G2 处理蜜瓜茎、果实、总干物质重分别显著提高 5.15%、8.31%、7.35%,G1 处理和 G2 处理对蜜瓜根、叶重影响差异不显著($P > 0.05$)。

2.3 不同处理对疏勒河灌区蜜瓜品质的影响

2.3.1 含水量 由表 4 可知,灌溉方式、灌水量和肥料追施均对蜜瓜含水量影响显著($P < 0.05$)。沟灌模式较滴灌模式显著提高蜜瓜含水量 1.33%~5.36%;滴灌模式下,蜜瓜含水量随着灌水量的增加而增加(D1<D2<D3),D2 和 D3 处理分别较 D1 处理提高蜜瓜含水量 1.05%和 2.15%,各处理之间差异极显著($P < 0.01$);沟灌模式下,G1 处理较 G2 处理提高蜜瓜含水量 2.1%,且两处理之间差异极显著($P < 0.01$),说明追肥会显著增加蜜瓜果实的含水量。

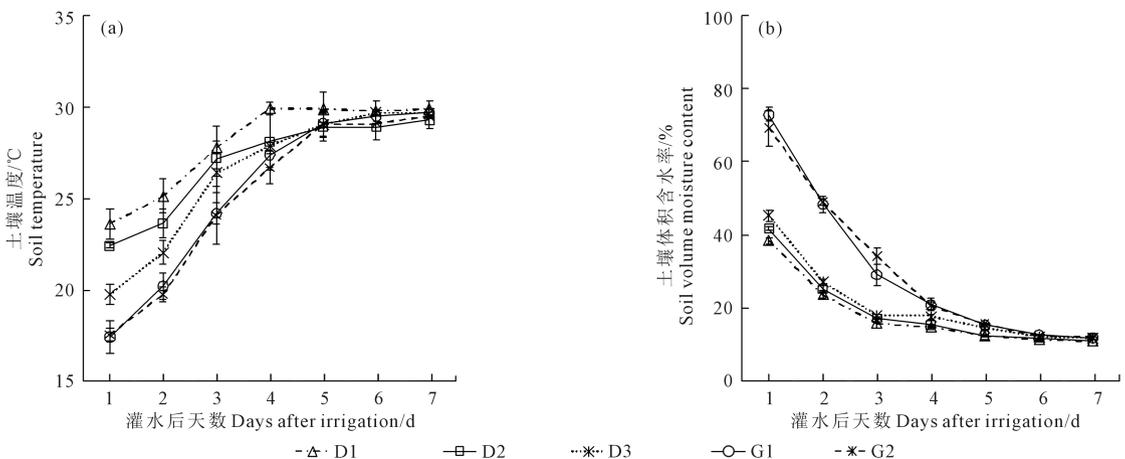


图 1 不同处理对 0~5 cm 土层土壤温度和体积含水率的影响

Fig.1 Effects of different treatments on temperature and volume moisture content in 0~5 cm soil layer

2.3.2 边缘可溶性固形物 与滴灌模式相比,沟灌模式会显著降低蜜瓜边缘可溶性固形物含量 2.03%~4.54%(表 4)。滴灌模式下,边缘可溶性固形物含量随着灌水量的增加而增加,D2 处理和 D3 处理与 D1 处理之间差异极显著($P<0.01$),分别较 D1 处理提高边缘可溶性固形物 1.30%和 1.74%,但 D2 和 D3 处理之间差异不显著($P>0.05$),说明在滴灌模式下,当灌水量达到 $4\ 200\ \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 时,蜜瓜边缘可溶性固形物增加趋势不再显著;沟灌模式下,蜜瓜边缘可溶性固形物含量在 G1 处理和 G2 处理之间差异不显著($P>0.05$),说明肥料追施对蜜瓜边缘可溶性固形物影响不明显。

2.3.3 中心可溶性固形物 本研究中,蜜瓜中心可溶性固形物含量随着灌水量的增加而降低(表 4),中心可溶性固形物含量表现为 $D1>D2>D3>G1>G2$,且各处理之间差异极显著($P<0.01$);D1 处理中心可溶性固形物含量最高为 17.07%,较 G2 处理提高 6.34%;D2 和 D3 处理分别较 G2 处理提高中心可溶性固形物含量 5.14%和 3.67%;与沟灌模式相比,滴灌模式显著提高蜜瓜中心可溶性固形物含量 2.17%~6.34%。在沟灌模式下,G1 处理较 G2 处理提高中心可溶性固形物 13.98%,且差异极显著($P<0.01$)。

2.3.4 可溶性糖 不同处理对蜜瓜可溶性糖含量的影响和对中心可溶性固形物含量的影响极为相似(表 4)。蜜瓜可溶性糖含量随灌水量增加逐渐降

低。与沟灌模式相比,滴灌模式显著提高蜜瓜可溶性糖含量 4.70%~7.64%。在滴灌模式下,D2 和 D3 处理较 D1 处理分别降低蜜瓜可溶性糖含量 6.01%和 12.17%;沟灌模式下,追肥能显著提高蜜瓜可溶性糖含量,G1 处理较 G2 处理提高蜜瓜可溶性糖含量 19.59%。

2.3.5 维生素 C 由表 4 可知,蜜瓜维生素 C 含量随灌水量增加而降低,追肥撒施对蜜瓜维生素 C 含量影响不显著($P>0.05$)。与 G2 处理相比,D1、D2、D3、G1 处理分别提高蜜瓜维生素 C 含量 57.69%、43.18%、33.85%、2.33%;滴灌模式下,各处理蜜瓜维生素 C 含量表现为 $D1>D2>D3$,与 D1 处理相比,D2 和 D3 处理分别降低蜜瓜维生素 C 含量 9.20%和 15.12%;在沟灌模式下,G1 和 G2 处理之间差异不显著($P>0.05$)。

2.4 不同处理对疏勒河灌区蜜瓜产量和灌溉水利用效率的影响

不同处理对蜜瓜产量和灌溉水利用效率(IWUE)的影响见图 2。增加灌水量会显著增加蜜瓜产量,蜜瓜产量由低到高依次为 D1、D2、D3、G1,分别为 27.43、34.51、35.75、37.04 $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。随着灌水量的增加蜜瓜产量的增加趋势逐渐减弱,D2 处理与 D1 处理之间差异极显著($P<0.01$),D3 处理和 D2、G1 处理之间差异显著($P<0.05$)。滴灌模式下,D2 和 D3 处理分别较 D1 处理提高蜜瓜产量 25.80%和 30.35%;沟灌模式下,G1 处理较 G2 处理提高蜜

表 3 不同处理对蜜瓜各部位干物质重的影响

Table 3 Effects of different treatments on dry matter weight of various parts of muskmelon

处理 Treatment	单株干物质重 Dry matter weight per plant/g				
	根 Root	茎 Stem	叶 Leaf	果实 Fruit	总干物质 Total dry matter
D1	3.22±0.09a	18.51±0.28b	21.78±0.73d	207.36±1.26d	250.87±0.22d
D2	3.15±0.12a	19.28±0.14a	24.43±0.93c	218.87±1.23c	265.74±0.82c
D3	2.88±0.11b	19.48±0.16a	26.85±0.56b	226.32±1.94b	275.54±1.73b
G1	2.74±0.06c	18.59±0.24b	29.39±1.19a	237.66±2.71a	288.38±4.01a
G2	2.71±0.17c	17.68±0.22c	28.13±0.65a	219.43±1.37c	268.64±1.94c

注:同列数据后不同小写字母表示不同处理间差异显著($P<0.05$)。下同。

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences between treatments ($P<0.05$). The same below.

表 4 不同处理对蜜瓜含水量、可溶性固形物、可溶性糖和维生素 C 含量的影响

Table 4 Effects of different treatments on water content, soluble solids, soluble sugar and vitamin C content of muskmelon

处理 Treatment	含水量/% Water content	边缘可溶性固形物/% Edge soluble solid	中心可溶性固形物/% Central soluble solid	可溶性糖/% Soluble sugar	维生素 C/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) Vitamin C
D1	85.15±0.22e	10.03±0.06b	17.07±0.06a	13.97±0.21a	173.27±2.37a
D2	86.25±0.01d	11.33±0.40a	15.87±0.15b	13.13±0.31b	157.33±1.74b
D3	87.30±0.06c	11.77±0.25a	14.40±0.10c	12.27±0.35c	147.08±0.66c
G1	90.51±0.02a	8.00±0.20c	12.23±0.38d	7.57±0.35d	112.44±2.85d
G2	88.63±0.27b	7.23±0.40c	10.73±0.50e	6.33±0.15e	109.88±2.28d

瓜产量 15.02%, 且 G1 处理和 G2 处理差异极显著 ($P < 0.01$), 说明蜜瓜沟灌追肥对产量影响较大。

由图 2 可知, 滴灌模式蜜瓜 IWUE 比沟灌模式各处理提高 3.50~4.64 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。D2 蜜瓜 IWUE 最优为 8.22 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$, 各处理蜜瓜 IWUE 从高到低依次表现为 D2、D1、D3、G1、G2; D2 处理蜜瓜 IWUE 与 D1、D3、G1、G2 处理之间差异极显著 ($P < 0.01$)。

2.5 不同处理对疏勒河灌区蜜瓜经济效益的影响

不同处理对蜜瓜种植成本的影响如表 5 所示, D1、D2、D3、G1、G2 处理的蜜瓜种植成本分别为 12 290、12 650、13 010、16 580、14 060 $\text{CNY} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。各处理蜜瓜种植成本主要是由生产资料费用和作业费用构成, 其中, 生产资料费用包括种子、农药、化肥、灌溉水、滴灌带; 作业费用包括整地、开沟、播种、灌溉、施肥、除草、收获。滴灌模式 (D1、D2、D3) 和沟灌模式 (G1、G2) 相比, 各处理生产资料费用的投入不同主要体现在灌溉水量的不同和有无滴灌带费用, 沟灌模式 (灌溉水+滴灌带) 费用小于滴灌模式灌溉水费用; 各处理作业费用的投入不同主要体现在灌溉和施肥方面, 由于滴灌模式采用水肥一体化技术, 肥料追施直接通过滴灌水肥一体化设备

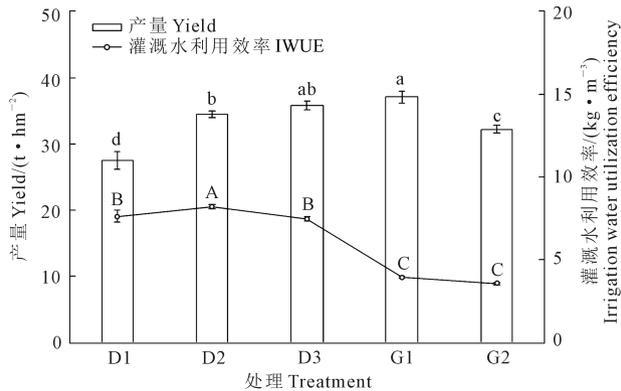


图 2 不同处理对蜜瓜产量和灌溉水利用效率的影响

Fig.2 Effects of different treatments on yield and irrigation water use efficiency (IWUE) of muskmelon

表 5 不同处理对蜜瓜种植成本的影响/($\text{CNY} \cdot \text{hm}^{-2}$)

Table 5 Effect of different treatments on planting cost of muskmelon

处理 Treatment	生产资料费用 Production cost					作业费用 Operating cost						
	种子 Seed	农药 Pesticide	化肥 Fertilizer	灌溉水 Water	滴灌带 Drip irrigation tape	整地 Field	开沟 Furrow	播种 Sowing	灌溉 Irrigation	施肥 Fertilizer	除草 Weeding	收获 Harvest
D1	1800	150	1880	2160	2250	300	450	750	600	900	1350	1200
D2	1800	150	1880	2520	2250	300	450	750	600	900	1350	1200
D3	1800	150	1880	2880	2250	300	450	750	600	900	1350	1200
G1	1800	150	1880	5400	0	300	450	750	1500	1800	1350	1200
G2	1800	150	1160	5400	0	300	450	750	1500	0	1350	1200

注: 各种费用根据酒泉市 2022 年均价估定。

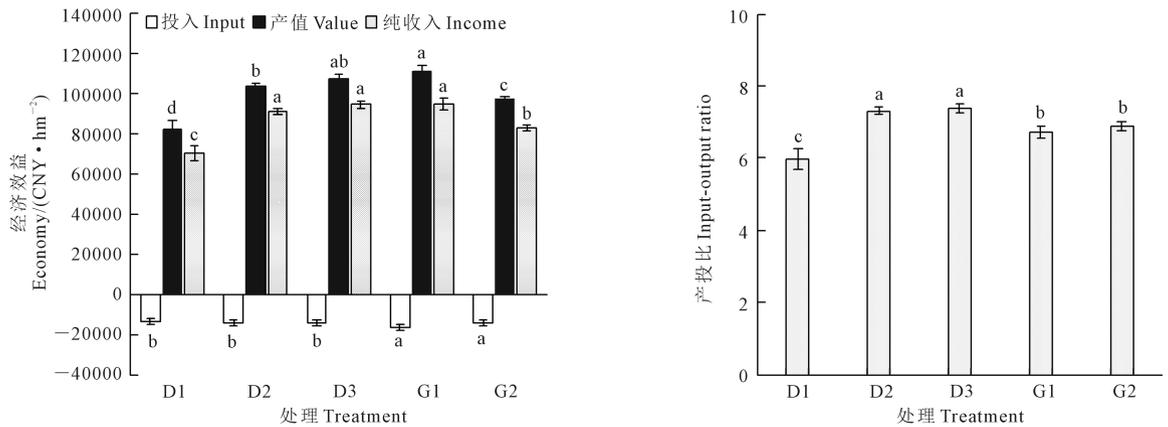
Note: Various costs are estimated based on the average price for the Jiuquan City in 2022.

随水滴施, 不需要人工随时搬运和撒施, 灌溉和施肥产生的人工作业费用分别按 600 $\text{CNY} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 900 $\text{CNY} \cdot \text{hm}^{-2}$ 计算。沟灌模式追肥需要人工撒施, 灌水时需要专人看管, 随时进行灌溉水的拦截及放水才能进行正常灌溉, 费时费力, 沟灌灌溉和施肥产生的人工作业费用分别按 1 500 $\text{CNY} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 1 800 $\text{CNY} \cdot \text{hm}^{-2}$ 计算 (见表 5)。总体来看, 滴灌模式比沟灌模式节省生产资料费用 630 $\text{CNY} \cdot \text{hm}^{-2}$, 节省作业费用 1 800 $\text{CNY} \cdot \text{hm}^{-2}$, 共计节省蜜瓜种植成本 2 430 $\text{CNY} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。沟灌模式下, G2 处理较 G1 处理节省种植成本 2 520 $\text{CNY} \cdot \text{hm}^{-2}$, 主要是 G2 处理在蜜瓜整个生育时期不追肥, 节省了部分化肥费用和施肥用工费用。

从蜜瓜种植的投入、产值、纯收入和产投比可知 (图 3), 沟灌模式蜜瓜种植的投入较滴灌模式增加 1.96%~20.23%; 各处理蜜瓜产值表现为 D1 < G2 < D2 < D3 < G1, 蜜瓜产值在 G1 处理下达到最高, 为 111 108 $\text{CNY} \cdot \text{hm}^{-2}$; 从蜜瓜纯收入和产投比数据来看, 各处理对蜜瓜纯收入和产投比的影响趋势较为相似, 表现为 D2、D3、G1 处理蜜瓜纯收入显著高于 D1 和 G2 处理 8.28%~38.00%, 且各处理 (D2、D3、G1) 之间差异显著 ($P < 0.05$); D2 和 D3 处理蜜瓜产投比显著高于 D1、G1 和 G2 处理, 且 D2 和 D3 处理之间差异不显著 ($P > 0.05$), D1、G1 和 G2 处理处理之间差异不显著 ($P > 0.05$); 相比于其他处理, G1 处理蜜瓜纯收入高而产投比低的主要原因是投入较高。

3 讨论

本研究以疏勒河灌区蜜瓜优质、高产为目标, 以水资源高效利用为基础, 系统分析了不同节水调质灌溉措施对蜜瓜 0~5 cm 土层土壤温、湿度的影响机制, 以及蜜瓜生长、品质、产量、灌溉水利用效率以及经济效益对不同灌溉模式和灌水量的响应特征。结果显示, 灌溉方式和不同灌水量均能直接



注:1.蜜瓜价格为 3.0 CNY · kg⁻¹;2.纯收入=产值-投入;3.产投比=产值/投入。

Note: 1. Muskmelon price is 3.0 CNY · kg⁻¹; 2. Net income = production value - input; 3. Input-output ratio = production value / input.

图3 不同处理对蜜瓜种植经济效益的影响

Fig.3 Effects of different treatments on the economic benefits of muskmelon planting

引起蜜瓜 0~5 cm 土层土壤水分和温度的变化,土壤水分随着灌水量的增加而增加,土壤温度随着灌水量的增加而降低,这与马文云等^[17]结果一致。滴灌技术作为重要的水土保持耕作措施,具有节水、增产等优势,目前在西北干旱区研究、应用已十分成熟^[18]。与传统沟灌模式相比,滴灌灌溉方式不仅可以实现水肥一体化将肥料随水滴施,提高灌溉水质量,而且有利于表层土壤保持稳定的温度和一定的含水率,故滴灌灌溉是适宜蜜瓜生长的灌溉模式。

提高产量和单位水收益是农业生产的主要目的,过高的灌水定额会导致大量水分流失、浪费水资源^[19]。有研究表明,滴灌条件下,滴头下方作物根系密度会变大,灌水量越少,土壤湿润层越浅,作物根系扎得越浅^[20-21]。本研究中,增加灌水量会显著降低蜜瓜根干物质重,追肥对蜜瓜根重影响不明显,这与前人研究结果不一致,有可能是蜜瓜作为浅根系作物,当灌水量可以满足蜜瓜生长需要时,蜜瓜根系不再向下扎根,导致根重降低,有待进一步研究。叶片是植物光合作用的主要器官,光合产物的积累直接决定着作物产量的高低^[22]。有研究表明灌水对干物质积累和产量的影响大于施氮^[23],而本研究中,与不追肥(G2)处理相比,追肥(G1)处理对蜜瓜茎、果实和总干物质重影响差异极显著($P < 0.01$),增加灌水量会显著提高蜜瓜茎、叶、果实及总干物质重(4.16%~23.28%),与何平如等^[24]研究结果一致。

蜜瓜是一种营养丰富的水果型蔬菜,含有大量的可溶性固形物、可溶性糖、维生素和有机酸等物质,这些物质决定了蜜瓜的营养品质,其中蜜瓜果实中糖的含量是决定果实品质和商品价值的重要因子^[25]。维生素 C 是品质的一个重要指标,其在体

内和脱氧抗坏血酸形成可逆的氧化还原系统,在生物氧化及还原过程和细胞呼吸中起重要作用。维生素 C 参与氨基酸代谢、神经递质的合成、胶原蛋白和组织细胞间质的合成,具有降低毛细血管的通透性、刺激凝血功能、增加对感染的抵抗作用,并参与解毒功能,还有抗组胺及阻止致癌物质生成的作用。李毅杰等^[25]研究表明水分过高会抑制甜瓜果实中维生素 C 含量的积累。灌水量对蜜瓜中维生素 C 含量的积累均有较大影响,土壤水分过高和过低都不利于维生素 C 含量在果实中的积累^[26]。亏缺灌溉可以通过适度控制土壤水分给作物一个适中的干旱逆境来提高果实的品质,果实含水量和产量虽然减少,但可溶性固形物、维生素 C 等营养物质含量增加^[27-28],这与本研究结果一致,灌水量少的处理果实要较灌水量大的处理早熟,果实中糖的浓度相对较大,而且甜度更高^[29]。水肥一体化技术将节水高效灌溉和精准施肥实现了统一^[30],增施氮肥会显著提高蜜瓜果实品质,但过量施氮则会降低品质^[31]。王素萍等^[32]研究表明施肥能显著增加甜瓜果实可溶性糖含量,施肥处理较对照处理的蜜瓜果实可溶性糖含量增加 8.26%~13.76%,这与本研究结果一致。本研究未设置肥料的用量梯度,只在传统灌溉模式下设置了追肥撒施(G1)和不施(G2)处理,G1 处理较 G2 处理多施用氮钾肥料,结果表明,G1 处理较 G2 处理显著提高蜜瓜含水量、中心可溶性固形物和可溶性糖($P < 0.01$),对边缘可溶性固形物和维生素 C 的影响差异不显著($P > 0.05$)。

科学的灌溉制度可以在不影响农产品经济效益或作物生理发育的前提下,降低水分损耗,提高水分利用效率^[33-34]。生产实际中大定额灌溉并不

一定增产,在不影响作物产量的前提下,宜采用小定额灌溉,然而在灌水下限过低且复水不足时会造成产量的显著降低^[35]。减少水分消耗、提高灌溉水利用效率已经成为农业生产的主要目标之一^[36]。过低的灌水量虽然可以提高灌溉水利用效率,但植株受旱易发生早衰,导致产量降低^[37]。有研究表明,灌溉水利用效率随灌水量的增加而减小^[38]。赵楠等^[39]研究表明,宁夏引黄灌区膜下滴灌春玉米产量与灌溉水利用效率随灌水量的增加呈先增加后降低趋势。张鲁鲁^[26]研究表明,温室膜下滴灌蜜瓜产量峰值对应的最佳灌溉水量值为 146.36 mm,甜瓜灌水量大于或者小于这个值都将造成甜瓜减产,适当控水可防止水分浪费和减产。本研究中,不同灌溉方式、灌水量和追肥方式对蜜瓜生长、蜜瓜含水量、边缘可溶性固形物、中心可溶性固形物、可溶性糖、维生素 C 含量和产量以及 IWUE 的影响结果表明,增加灌水量会显著增加蜜瓜干物质重,提高蜜瓜产量,但在很大程度上会降低蜜瓜品质和 IWUE;滴灌模式较沟灌模式更有利于提高蜜瓜品质和 IWUE,这与於凝等^[40]研究结果相似,D2 处理蜜瓜 IWUE 最优。结合蜜瓜种植经济效益数据来看,蜜瓜种植投入最低的为 D1 处理、D2 处理次之。D2 处理蜜瓜经济效益达到 103 518 CNY · hm⁻²,在继续增加灌水量和改变种植模式情况下,经济效益增加趋势不再显著,且 D2 处理和 D3 处理的产投比最高。综合考虑蜜瓜高质优产、水资源高效利用和经济效益等因素,在本研究中,D2 处理表现最优。

本研究主要采用沟灌和滴灌两种灌溉模式,设置不同的灌水量和追肥方式,旨在不影响蜜瓜产量和品质的前提下,提高蜜瓜 IWUE 和经济效益,为疏勒河灌区蜜瓜水资源高效利用提供数据支撑。但本试验在不同的灌溉方式下未设置肥料梯度,仅通过传统灌溉模式下(沟灌)追肥撒施和不施与滴灌模式水肥一体化模式下不同灌量作对比,未能将滴灌水肥的耦合效应充分体现和阐释,后续研究仍需要完善试验设计,进一步进行田间试验,验证不同灌溉模式下的节水调质灌溉对蜜瓜品质和产量长期影响的同时,揭示滴灌模式下水肥相互耦合效应以及土壤养分的响应机制,为疏勒河灌区蜜瓜优质高产提供技术参考。

4 结 论

增加灌水量会显著增加蜜瓜干物质重,提高蜜瓜产量,但在很大程度上会降低蜜瓜品质和灌溉水利用效率,滴灌模式较沟灌模式更有利于提高疏勒

河灌区蜜瓜品质和灌溉水利用效率。建议在疏勒河灌区推行蜜瓜滴灌灌溉方式+4 200 m³ · hm⁻²灌量+水肥一体化技术,以提高灌区蜜瓜品质 and 经济效益及灌溉水利用效率。

参 考 文 献:

- [1] 王瑞萍,夏玉红,刘雅君.不同生育阶段水分亏缺对河套蜜瓜产量和品质的影响分析[J].节水灌溉,2017,(1):38-40,44.
WANG R P, XIA Y H, LIU Y J. Effects of water deficit at different growth stages on yield and fruit quality of melon[J]. Water Saving Irrigation, 2017, (1): 38-40, 44.
- [2] 雷廷武,肖娟,王建平,等.地下咸水滴灌对内蒙古河套地区蜜瓜用水效率和产量品质影响的试验研究[J].农业工程学报,2003,19(2):80-84.
LEI T W, XIAO J, WANG J P, et al. Experimental investigation into effects of drip irrigation with saline groundwater on water use efficiency and quality of honeydew melons in Hetao Region, Inner Mongolia[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2003, 19(2): 80-84.
- [3] 张德虎,田海清,武士钥,等.河套蜜瓜糖度和坚实度可见近红外光谱检测研究[J].中国农机化学报,2014,35(3):197-201.
ZHANG D H, TIAN H Q, WU S Y, et al. Study on detection of sugar content and firmness of Hetao muskmelon using Vis-NIR spectroscopy [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2014, 35(3): 197-201.
- [4] ZENG C Z, BIE Z L, YUAN B Z. Determination of optimum irrigation water amount for drip-irrigated muskmelon (*Cucumis melo* L.) in plastic greenhouse[J]. Agricultural Water Management, 2009, 96(4): 595-602.
- [5] FABEIRO C, OLALLA F M D S, JUAN J A D. Production of muskmelon (*Cucumis melo* L.) under controlled deficit irrigation in a semi-arid climate[J]. Agricultural Water Management, 2002, 54: 93-105.
- [6] 李真朴,刘学军,翟汝伟,等.宁夏半干旱区玉米滴灌灌溉制度试验研究[J].水资源与水工程学报,2017,28(5):242-246.
LI Z P, LIU X J, ZHAI R W, et al. Experimental study on irrigation schedule of maize drip irrigation in semi-arid region of Ningxia province [J]. Journal of Water Resources and Water Engineering, 2017, 28(5): 242-246.
- [7] 解文艳,樊贵盛,周怀平,等.秸秆还田方式对旱地玉米产量和水分利用效率的影响[J].农业机械学报,2011,42(11):60-67.
XIE W Y, FAN G S, ZHOU H P, et al. Effect of straw-incorporation on corn yield and water use efficiency in arid farming areas[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(11): 60-67.
- [8] 蔡昊扬,韩孟红,陈俊霖,等.不同灌溉用水量对水稻产量和水分利用效率的影响[J].中国稻米,2024,30(5):103-106.
CAI H Y, HAN M H, CHEN J L, et al. Effects of different irrigation water rate on rice yield and water use efficiency [J]. China Rice, 2024, 30(5): 103-106.
- [9] 王绍新,李楠,王传娟,等.国内玉米高效节水灌溉水肥一体化技术研究现状与展望[J].节水灌溉,2023,(8):121-128.
WANG S X, LI N, WANG C J, et al. Research status and prospect of water and fertilizer integration technology for high efficiency water saving irrigation of maize in China[J]. Water Saving Irrigation, 2023, (8): 121-128.

- [10] 唐龙, 曹红霞, 李宏礼, 等. 不同氮肥追施量下滴灌水量对苹果产量和品质的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2017, 35(6): 10-18. TANG L, CAO H X, LI H L, et al. Influence of drip irrigation levels to yield and quality of apple under different amount of nitrogen [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2017, 35(6): 10-18.
- [11] 王金涛. 制种玉米开花特性与籽粒数模拟及节水调质高效灌溉优化决策研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2017. WANG J T. Modeling flowering characteristics and kernel number and optimizing irrigation scheduling for improving water use of efficiency and regulating seed quality in hybrid maize seed production[D]. Beijing: China Agricultural University, 2017.
- [12] 王劲松, 姚玉璧, 袁淑杰, 等. 小麦干旱监测技术研究进展与展望[J]. 干旱地区农业研究, 2024, 42(4): 273-285. WANG J S, YAO Y B, YUAN S J, et al. Research progress and prospects of wheat drought monitoring technology [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2024, 42(4): 273-285.
- [13] 赵银平, 孙利萍, 史亮, 等. 水分亏缺对拱棚水果番茄产量及品质的影响[J]. 耕作与栽培, 2024, 4(44): 78-80. ZHAO Y P, SUN L P, SHI L, et al. The effect of water deficiency on the yield and quality of fruit tomatoes in arched sheds [J]. Tillage and Cultivation, 2024, 4(44): 78-80.
- [14] 蒋光昱, 杨培岭, 任树梅, 等. 滴灌条件下调亏灌溉对河套蜜瓜品质的影响[J]. 灌溉排水学报, 2016, 35(10): 64-68. JIANG G Y, YANG P L, REN S M, et al. Effects of regulated deficit irrigation on fruit quality of Hetao muskmelon under drip irrigation [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2016, 35(10): 64-68.
- [15] 李合生, 陈翠莲, 洪玉枝, 等. 植物生理生化试验原理和技术 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2002. LI H S, CHEN C L, HONG Y Z, et al. Principles and techniques of plant physiological and biochemical tests [M]. Beijing: Higher Education Press, 2002.
- [16] 钱卫鹏, 邹志荣, 孟长军. 大棚内膜下根系分区交替滴灌不同灌溉下限对甜瓜生长及水分利用效率的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2007, 25(3): 138-141. QIAN W P, ZOU Z R, MENG C J. Effect of alternate partial root-zone drip irrigation under plastic film on plant growth and water use efficiency of muskmelon in greenhouse [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2007, 25(3): 138-141.
- [17] 马文云, 孙西欢, 马娟娟, 等. 蓄水坑灌不同灌水上、下限对苹果树叶片蒸腾日变化的影响[J]. 节水灌溉, 2019, (5): 51-56. MA W Y, SUN X H, MA J J, et al. Effects of different irrigation upper and lower limits on the diurnal variation of transpiration of apple tree leaves under water storage pit irrigation [J]. Water Saving Irrigation, 2019, (5): 51-56.
- [18] LI J W, LIU Z F, HE C Y, et al. Water shortages raised a legitimate concern over the sustainable development of the drylands of northern China: evidence from the water stress index [J]. Science of the Total Environment, 2017, 590-591: 739-750.
- [19] 陈小杰, 彭飞, 薛娟, 等. 石羊河流域典型农作物高水分利用效率和单位水收益的灌水定额[J]. 应用与环境生物学报, 2022, 28(6): 1460-1468. CHEN X J, PENG F, XUE X, et al. Irrigation quotas for high water use efficiency and economic water productivity of typical crops in Shiyang river basin [J]. Chinese Journal of Applied and Environmental Biology, 2022, 28(6): 1460-1468.
- [20] LÜ G H, SONG J Q, BAI W B, et al. Effects of different irrigation methods on micro-environments and root distribution in winter wheat fields [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2015, 14(8): 1658-1672.
- [21] 刘世和, 曹红霞, 杨慧, 等. 灌水量和滴灌系统运行方式对番茄根系分布的影响[J]. 灌溉排水学报, 2016, 35(2): 77-80. LIU S H, CAO H X, YANG H, et al. Effect of tomato root distribution by irrigation amount and drip irrigation system operation [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2016, 35(2): 77-80.
- [22] 蒲宁, 罗珠珠, 张耀全. 陇中旱农区不同品种马铃薯水氮利用效率研究[J]. 干旱地区农业研究, 2024, 42(3): 98-106, 161. PU N, LUO Z Z, ZHANG Y Q. Study on water and nitrogen use efficiency of different potato varieties in the dry farmlands of Longzhong [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2024, 42(3): 98-106, 161.
- [23] 李慧. 施氮和灌水对关中平原夏玉米产量, 水氮利用和温室气体排放的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2023. LI H. Effect of nitrogen application and irrigation on yield, water and nitrogen utilization and greenhouse gas emissions in summer maize in Guanzhong plain [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2023.
- [24] 何平如, 张富仓, 范军亮, 等. 土壤水分调控对南疆滴灌棉花生长、品质及水分利用的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2020, 38(4): 39-46. HE P R, ZHANG F C, FAN J L, et al. Effects of soil moisture regulation on growth, quality and water use of cotton under drip irrigation in Southern Xinjiang [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2020, 38(4): 39-46.
- [25] 李毅杰, 原保忠, 别之龙, 等. 不同土壤水分下限对大棚滴灌甜瓜产量和品质的影响[J]. 农业工程学报, 2012, 28(6): 132-138. LI Y J, YUAN B Z, BIE Z L, et al. Effects of drip irrigation threshold on yield and quality of muskmelon in plastic greenhouse [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(6): 132-138.
- [26] 张鲁鲁. 温室膜下滴灌甜瓜高效用水机理及灌溉制度的研究 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2010. ZHANG L L. Study on high-efficiency water use mechanism and irrigation system for muskmelon with the style of drip irrigation of plastic sheeting in greenhouse [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2010.
- [27] 刘明池, 张慎好, 刘向莉. 亏缺灌溉时期对番茄果实品质和产量的影响[J]. 农业工程学报, 2005, 21(S2): 92-95. LIU M C, ZHANG S H, LIU X L. Effects of different deficit irrigation periods on yield and fruit quality of tomato [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2005, 21(S2): 92-95.
- [28] 齐红岩, 李天来, 张洁, 等. 亏缺灌溉对番茄蔗糖代谢和干物质分配及果实品质的影响[J]. 中国农业科学, 2004, 37(7): 1045-1049. QI H Y, LI T L, ZHANG J, et al. Effects of irrigation on sucrose metabolism, dry matter distribution and fruit quality of tomato under water deficit [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2004, 37(7): 1045-1049.
- [29] 张敏. 加气灌溉条件下温室甜瓜生长效应的研究 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2011. ZHANG M. The growth effect of muskmelon under aerated irrigation in greenhouse [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2011.