

文章编号: 1672-3317(2023)05-0033-10

# 水温与有机肥替代比例对滴灌骏枣产量及水分利用的影响

马永康<sup>1,2,3</sup>, 王振华<sup>1,2,3\*</sup>, 李海强<sup>1,2,3</sup>, 吝海霞<sup>1,2,3</sup>, 李燕强<sup>1,2,3</sup>, 谭明东<sup>1,2,3</sup>

(1.石河子大学水利建筑工程学院, 新疆石河子 832000; 2.现代节水灌溉兵团重点实验室, 新疆石河子 832000; 3.农业农村部西北绿洲节水农业重点实验室, 新疆石河子 832000)

**摘要:**【目的】研究不同水温下有机肥替代比例对滴灌骏枣产量和水分利用效率的影响。【方法】通过大田试验, 设置常规井水 T1 ((13±1)℃) 和增温水 T2 ((21±1)℃) 2 个水温, 全施化肥 (CK)、有机肥替代 10% (F1)、30% (F3)、50% (F5)、70% (F7) 和 90% (F9) 的化肥 6 个施肥水平, 共 12 个处理, 分析不同滴灌水温和有机肥替代比例对土壤水分、骏枣耗水规律、产量以及水分利用效率的影响。【结果】在相同施肥水平下, T2 处理较 T1 处理各生育期 0~100 cm 土层土壤水分降低, 总耗水量增加 1.14%~2.83%, 骏枣产量和水分利用效率提高 7.15% 和 5.10%。在相同灌溉水温下, 随有机肥替代比例的增加, 各生育期 0~100 cm 土层平均土壤含水率和耗水量均逐渐增加; 骏枣产量和水分利用效率呈先增加后减少的变化趋势, 且均在 F5 施肥水平下达到最大。与 CK 相比, 在 T1、T2 处理下, 施加有机肥使骏枣产量分别平均增加 15.30%、13.14%, 水分利用效率平均增加 8.35%、5.78%。与 T1F5 处理相比, T2F5 处理的产量和水分利用效率分别提高了 10.10%、6.95%。【结论】回归分析表明, 井水灌溉下有机肥替代化肥比例为 50.00%~55.64%, 增温水灌溉下有机肥替代化肥比例为 41.01%~49.83%, 这 2 种施肥模式适合吐哈盆地骏枣的种植, 有利于增加产量提高水分利用效率。

**关键词:** 滴灌水温和; 有机肥; 骏枣产量; 水分利用效率

中图分类号: S275.6

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2022584

OSID: 

马永康, 王振华, 李海强, 等. 水温与有机肥替代比例对滴灌骏枣产量及水分利用的影响[J]. 灌溉排水学报, 2023, 42(5): 33-42.

MA Yongkang, WANG Zhenhua, LI Haiqiang, et al. Effect of Water Temperature and Organic Fertilizer Substitution on Yield and Water Use of Honey Jujube under Drip Irrigation[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2023, 42(5): 33-42.

## 0 引言

【研究意义】吐哈盆地是我国特色瓜果生产基地, 也是新疆红枣种植的重要组成部分<sup>[1]</sup>。该地常年干旱少雨, 地表水短缺, 农业用水主要依赖于井水灌溉<sup>[2]</sup>, 而低温井水直灌不利于作物根系的生长, 将导致减产<sup>[3]</sup>。近年来, 化肥的大量使用造成农业面源污染以及瓜果品质下降。有机肥替代是减少化肥使用、提升土壤环境质量以及农业可持续发展的有效途径<sup>[4]</sup>。灌溉水温影响作物对水分养分的吸收<sup>[3]</sup>, 有机肥配施显著提高小麦、玉米等作物的产量和水分利用效率<sup>[5-6]</sup>。不同灌溉水温下有机肥配施化肥对作物生长和产量也有不同的影响<sup>[7]</sup>。因此, 研究不同灌溉水温下有机肥替代化肥耦合机制对于减少化肥用量、水资源的高效利用以及土壤环境保护具有重要意义。

【研究进展】低温水灌溉会降低根层土壤温度,

抑制作物根系活性, 降低作物对水肥的吸收和运输<sup>[8]</sup>。朱红艳等<sup>[9]</sup>研究表明, 增加灌溉水温有利于提高土壤水分扩散速率, 改变土壤中的温度分布。孟阿静等<sup>[3]</sup>研究发现, 增温水灌溉能促进棉花生长、生物量的积累以及产量的增加, 还可丰富土壤微生物数量, 促进养分的吸收和循环转化<sup>[10]</sup>。赵航<sup>[11]</sup>研究表明, 灌溉水温的改变会显著影响枣树叶片的净光合速率以及红枣的品质。施加有机肥可以补充土壤有机质, 提高土壤肥力, 改善土壤结构以及理化性质<sup>[12-13]</sup>, 还可抑制土壤水分蒸发, 显著提高土壤贮水量<sup>[5]</sup>。众多研究表明<sup>[14-18]</sup>, 适宜比例的有机肥配施化肥可以提升根系活力, 促进作物生长, 提高作物的产量品质、水分利用效率以及经济效益。

【切入点】以往研究主要集中在灌溉水温与有机肥配施等单一因素对枣果产量品质的影响, 有机肥对水分利用效率的研究主要集中在小麦、玉米和棉花等 1 年生作物上, 而对多年生的果树研究较少。【拟解决的关键问题】为此, 通过大田试验, 研究不同滴灌水温和有机肥替代化肥对吐哈盆地骏枣土壤水分分布、耗水量、产量和水分利用效率的影响, 明确不同灌溉水温下适合枣树生长的有机肥替代比例, 以期为

收稿日期: 2022-10-20

基金项目: 国家“十四五”重点研发计划课题 (2021AA003); 兵团重点领域创新团队项目 (2019CB004)

作者简介: 马永康 (1996-), 男, 甘肃天水人。硕士研究生, 主要从事节水灌溉理论与技术研究。E-mail: myk202306@163.com

通信作者: 王振华 (1979-), 男, 河南扶沟人。教授, 博士生导师, 主要从事干旱区节水灌溉理论与技术研究。E-mail: wzh2002027@163.com

干旱地区红枣种植中合理施用化肥、提高水分利用率以及增产提质提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

试验于 2021 年 4—11 月在新疆生产建设兵团第十三师哈密垦区灌溉试验站的枣园 (93°62'25.33"E、42°69'70.22"N) 进行。该地位于东天山以南, 平均海拔 960 m, 年均降水量约 38 mm, 年均蒸发量高于 3 300 mm, 年均日照时间大于 3 360 h, >10 °C 积温为 4 480.5 °C, 昼夜温差大, 无霜期约 180 d, 是典型的极端干旱区。站内安装小型气象站, 骏枣生育期内降水量及气温见图 1。枣园土壤类型为砂壤土, 60 cm 土层以下含粗砂和小砾石, 0~80 cm 土层平均土壤体积质量为 1.51 g/cm<sup>3</sup>, 田间持水率为 16.68% (质量含水率), 饱和导水率为 0.025 4 cm/min, 有机质量为 9.49 g/kg, 全氮量为 0.31 g/kg, 速效磷量为 35.52 mg/kg, 有效钾量为 173.66 mg/kg。站内灌溉条件良好, 水源为地下井水, 地下水埋深大于 10 m, 常规灌溉水 (井水) 温度为 12~14 °C, 且水质符合灌溉要求。

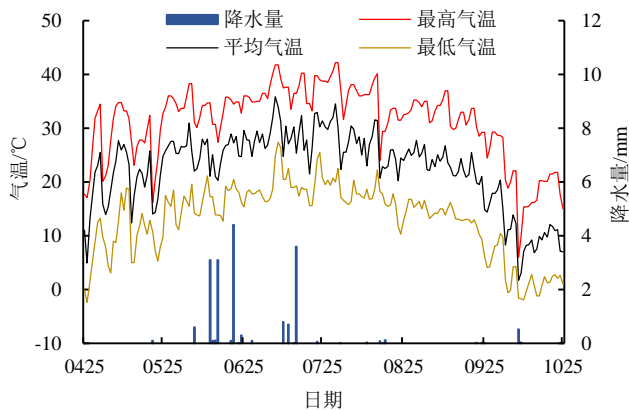


图 1 骏枣生育期降水量与气温

Fig.1 Precipitation and air temperature during Jun jujube growth period

### 1.2 试验材料

以站内 3 a 生的骏枣 (*Ziziphus jujuba Mill*) 为试验材料, 树势均一, 株距 2 m, 行距 4 m, 采用 1 行 2 管的种植模式, 2 条滴灌管分布在枣树两侧, 滴灌管距树干 30 cm。有机肥选用当地可溶性黄腐酸有机肥 (N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O 质量分数分别为 2.41%、1.44%、1.15%, 有机质: 55%), 化学氮肥为尿素 (含 N 量 46%)、磷肥为滴灌二铵 (含 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 量 48%)、钾肥为硫酸钾 (含 K<sub>2</sub>O 量 52%)。利用丰富的太阳光热来增加灌溉水温 (阴天使用电能装置辅助), 滴灌增温设备由蓄水桶 (覆黑色网)、水泵、球阀和旋翼式水表、施肥罐、过滤器及输水管道系统等组成。滴灌管外径 16 mm, 滴头间距 30 cm, 滴头设计流量 4.0 L/h。

### 1.3 试验设计

采用大田小区试验, 设置滴灌水温和有机肥替代化肥比例 2 个试验因素, 其中滴灌水温设置常规井水 T1 ((13±1) °C) 和增温水 T2 ((21±1) °C) 2 个水平, 有机肥替代比例设置 6 个水平, 即有机肥分别替代 0% (全施化肥, CK)、10% (F1)、30% (F3)、50% (F5)、70% (F7)、90% (F9) 的化肥, 共计 12 个处理 (表 1), 每个处理设置 3 次重复, 共 36 个试验小区, 每个小区面积为 120 m<sup>2</sup> (30 m×4 m)。本研究遵循等氮原则进行有机无机替代试验, 纯 N 施用量 (300 kg/hm<sup>2</sup>) 根据当地常规施肥量折算, 计入有机肥中磷、钾元素量, 不足部分用化肥补充, 使各处理 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (180 kg/hm<sup>2</sup>) 和 K<sub>2</sub>O (225 kg/hm<sup>2</sup>) 用量相等, 肥料用量见表 2。肥料均在容器中充分搅拌至溶解后倒入施肥罐, 随滴灌施入土壤, 全生育期共计灌水施肥 12 次, 灌水量选用当地滴灌常规定额 (6 300 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>)。骏枣于 5 月 1 日萌芽, 10 月 22 日成熟采摘, 全生育期共 175 d, 各生育阶段灌溉施肥制度见表 3。

表 1 试验设计

Table 1 Experimental design

处理	滴灌水温/°C	有机肥替代比例/%
T1CK	13±1	0
T1F1		10
T1F3		30
T1F5		50
T1F7		70
T1F9		90
T2CK	21±1	0
T2F1		10
T2F3		30
T2F5		50
T2F7		70
T2F9		90

表 2 施肥方案

Table 2 Fertilization scheme

施肥水平	有机肥		化肥(kg hm <sup>-2</sup> )		
	替代比例/%	施肥量/(kg hm <sup>-2</sup> )	尿素	滴灌二铵	硫酸钾
CK	0	0	652.2	375	432.7
F1	10	1 244.8	587	337.7	405.2
F3	30	3 734.4	456.5	263	350.1
F5	50	6 224.1	326.1	188.3	295
F7	70	8 713.7	195.7	113.6	240
F9	90	11 203.3	65.2	38.9	184.9

每个试验小区均安装独立的水表、球阀和施肥罐用以精准控制灌水量和施肥量, 施有机肥的处理在施肥罐出水管上安装过滤器, 防止滴灌管出现堵塞现象。为减少温差, 选择在光照充足的时段 (12:00—19:00) 灌溉, 单次灌水时长持续 7 h 左右, 通过温度计实时

监测蓄水桶中的水温（将桶中水搅拌均匀后采用温度计测定水体表面、中间及底部温度取平均值，达到设计温度时开始灌溉，当水温超过所需水温时，按比例注入少量井水，使水温保持在基本恒定的范围）。各小区田间农艺措施等同当地常规管理。

表 3 骏枣各生育阶段灌溉施肥制度

Table 3 Irrigation and fertilization system of Jun jujube in different growing stages

生育期	日期	生育阶段 时长/d	灌溉、施肥 次数	灌水、施肥 周期/d
萌芽新梢期	0501—0605	36	2	18
开花坐果期	0606—0705	30	3	10
果实膨大期	0706—0814	40	4	10
白熟期	0815—0911	28	2	14
完熟期	0912—1022	41	1	41
全生育期	0501—1022	175	12	175

### 1.4 测定项目与方法

#### 1.4.1 产量

成熟期，每个试验小区随机选择 3 棵枣树，将每棵树上的枣全部采摘后称质量，再折算为单位面积产量。

#### 1.4.2 土壤含水率

骏枣各生育阶段的土壤含水率采用烘干法测定，各处理在灌水前及灌水 2 d 后使用土钻取样，取样点位于滴灌管外侧 10 cm 处，取样深度为 100 cm，间隔为 10 cm，共 10 层。

#### 1.4.3 作物耗水量

采用田间水量平衡法<sup>[19]</sup>计算骏枣耗水量，计算式为：

$$ET_{1-2}=10\sum\gamma_i H_i (\theta_{i1}-\theta_{i2}) + M+P+K+C, (i=1, 2, 3, \dots, n), \quad (1)$$

$$ET_a=ET_{1-2}/t, \quad (2)$$

$$ET_M=ET_{1-2}/ET, \quad (3)$$

式中： $ET_{1-2}$ 为阶段作物耗水量（mm）； $n$ 为土壤总层数； $i$ 为土层次序； $\gamma_i$ 为第  $i$  土层土壤体积质量（ $g/cm^3$ ）； $H_i$ 为第  $i$  层土层厚度（cm）； $\theta_{i1}$ 和  $\theta_{i2}$ 为第  $i$  土层土壤在时段始末的土壤含水率（%）； $M$ 、 $P$ 、 $K$ 和  $C$ 分别

为时段内的灌水量（mm）、有效降水量（mm）、地下水补给量（mm）和排水量（mm）（试验地地下水埋深大于 10 m，无补给  $K=0$ ，采用滴灌进行灌溉无深层渗漏， $C=0$ ）， $t$ 为各阶段天数（d）； $ET$ 为总耗水量（mm）； $ET_a$ 为耗水强度（mm/d）； $ET_M$ 为耗水模数（%）。

#### 1.4.4 水分利用效率

水分利用效率计算式为：

$$WUE=Y/ET, \quad (4)$$

式中： $WUE$ 为水分利用效率（ $kg/(hm^2 mm)$ ）； $Y$ 为作物产量（ $kg/hm^2$ ）； $ET$ 为总耗水量（mm）。

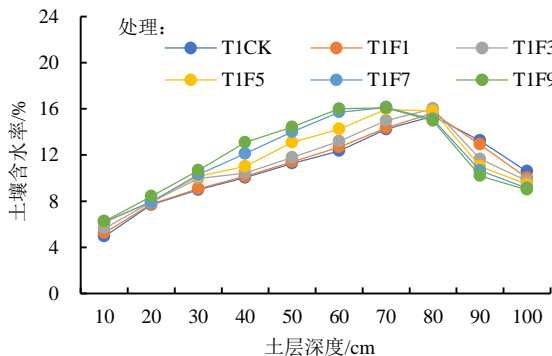
### 1.5 数据处理与分析

采用 Microsoft Excel 2019 进行数据计算与整理，使用 SPSS 26.0 进行数据统计分析，使用 Origin 2022 绘图。

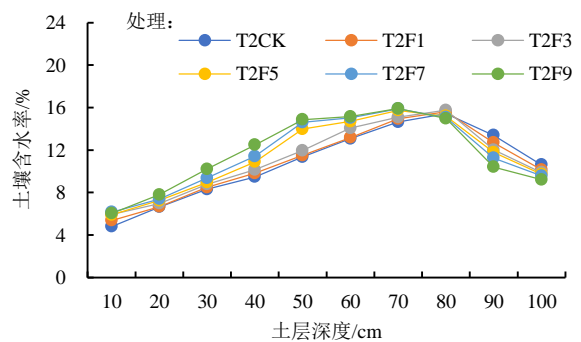
## 2 结果与分析

### 2.1 不同滴灌水温和有机肥替代比例对土壤含水率的影响

骏枣各生育阶段 0~100 cm 土层土壤含水率变化如图 2 所示。各处理土壤含水率随土层深度的增加呈先增大后减少趋势。增加灌溉水温，0~100 cm 土层平均土壤含水率有所降低，而深层土壤增加。随有机肥替代比例的增加，0~100 cm 土层平均土壤含水率有所增加。施加有机肥处理 0~20 cm 土层土壤含水率无明显变化规律，20~80 cm 土层土壤含水率总体上随有机肥施入量的增加而增大，80~100 cm 土层土壤含水率随有机肥的增加而减少，略低于 CK，保持基本平稳。随骏枣生育期的推进，各生育阶段土壤含水率呈先增加后减少再增加的变化趋势，果实膨大期最低，此阶段地表蒸发强烈，且枣树生长旺盛，根系吸水能力最强，造成土壤含水率低于其他生育阶段。以果实膨大期为例进行分析，在相同施肥水平下，与 T1 处理相比，T2 处理 0~100 cm 土层土壤含水率降低 1.08%~4.58%。与 CK 相比，T1 处理 0~100 cm 土层土壤含水率增加了 2.77%~9.36%，T2 处理增加了 0.54%~6.52%。



(a1) 萌芽新梢期井水灌溉



(a2) 萌芽新梢期增温水灌溉

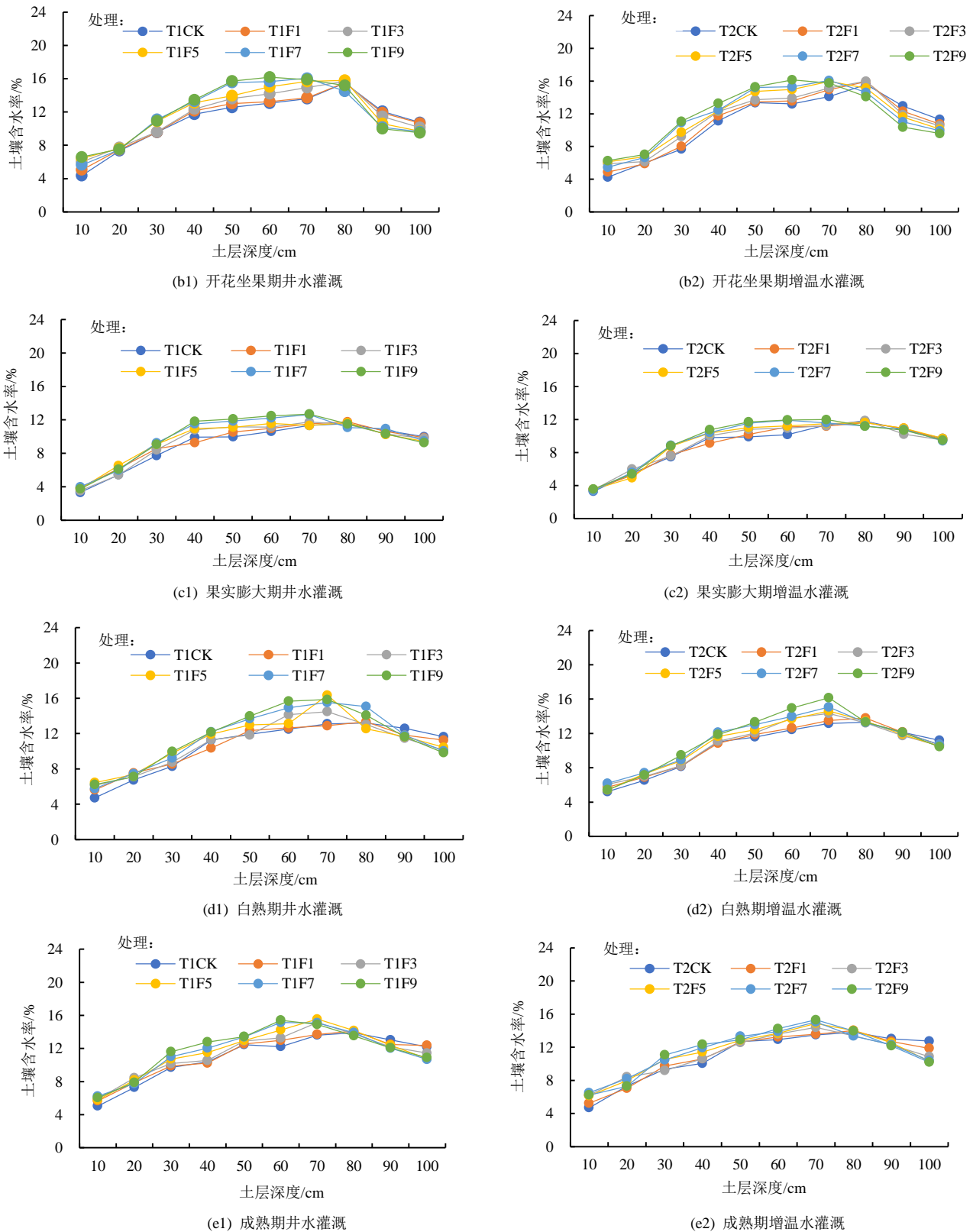


图 2 不同处理各生育阶段 0~100 cm 土层土壤含水率

Fig. 2 Soil water content in 0~100 cm soil layer at different growth stages under different treatments

## 2.2 不同滴灌水温下有机肥替代比例对骏枣耗水规律的影响

不同滴灌水温下有机肥替代比例对骏枣各生育阶段耗水量的影响如表 4 所示。随着生育进程的推进,各生育阶段耗水量呈先增大后减少的趋势,在果实膨大期最大,在萌芽新梢期最小。分析总耗水量可得,

在相同施肥水平下,  $ET$  随灌溉水温的增加而增大,与 T1 处理相比, T2 处理  $ET$  增加了 1.14%~2.83%。滴灌水温相同时,耗水量随有机肥替代比例的增加而增大, T1 处理  $ET$  较 CK 增加了 1.09%~11.62%; T2 处理  $ET$  较 CK 增加了 2.23%~11.29%。

表 4 不同处理对骏枣各生育阶段耗水量的影响

处理	萌芽新梢期	开花坐果期	果实膨大期	白熟期	成熟期	全生育期
T1CK	46.93±1.64b	72.95±0.24d	132.96±3.86e	86.38±1.76e	61.93±1.64d	401.15±7.40e
T1F1	47.34±1.57b	74.09±1.98cd	134.05±1.14e	87.04±2.86e	63.01±0.75cd	405.53±3.52e
T1F3	48.25±1.78ab	74.92±1.33cd	139.39±1.45cd	88.93±3.30de	65.59±0.84bcd	417.08±3.50cd
T1F5	50.20±1.91ab	76.00±3.82bcd	141.02±2.22bc	90.74±3.34cde	67.87±1.70ab	425.83±3.37c
T1F7	50.72±2.47ab	78.88±1.93abc	144.07±3.64abc	95.15±2.04abc	69.89±1.60a	438.71±6.47
T1F9	51.08±4.23ab	81.05±1.96ab	146.00±1.80ab	99.02±1.94a	70.62±1.15a	447.77±2.28a
T2CK	47.05±1.98b	73.60±3.13d	135.29±3.26de	88.11±1.75de	62.86±2.26cd	406.92±7.25e
T2F1	47.61±1.65b	75.12±1.31cd	139.62±2.19cd	90.03±3.14de	63.61±0.53cd	415.98±4.30d
T2F3	48.73±2.18ab	75.96±2.11bcd	140.80±2.38bc	92.46±1.20bcd	66.22±0.72bc	424.17±3.72cd
T2F5	50.48±1.46ab	79.22±2.12abc	144.39±5.51abc	94.79±1.67abc	69.02±2.83ab	437.90±4.04b
T2F7	51.11±1.16ab	80.39±3.49ab	147.93±1.91a	96.98±3.93ab	70.37±3.21a	446.78±7.15ab
T2F9	51.86±2.06a	81.90±5.14a	148.67±2.88a	99.24±2.56a	71.19±3.58a	452.87±4.42a
T	ns	ns	*	*	ns	*
F	*	*	*	*	*	*
T×F	ns	ns	ns	ns	ns	ns

注 同列数据后不同小写字母表示各处理存在显著差异 ( $P<0.05$ ), \*表示在  $P<0.05$  水平存在显著差异, ns 表示在  $P<0.05$  水平不存在显著差异, 下同。

由表 5 可知, 骏枣耗水强度随生育进程的推进, 呈先增大后减少趋势, 其中果实膨大期最大。各生育阶段骏枣耗水强度总体变化趋势相似, 以果实膨大期耗水强度进行分析。在相同施肥水平下,  $ET_a$  随滴灌水温的提高而增大, 与 T1 处理相比, T2 处理  $ET_a$  平均增加 2.30%。相同滴灌水温下, 耗水强度随有机肥

替代比例的增加而增大, 在 T1 处理下, 与 CK (3.32 mm/d) 相比, 施加有机肥可使  $ET_a$  提高 0.94%~9.94%; 在 T2 处理条件下, 与 CK (3.38 mm/d) 相比, 施加有机肥处理  $ET_a$  提高了 3.27%~9.97%。与 T1F9 处理相比, T2F7 处理  $ET_a$  增加了 1.37%。

表 5 不同处理对骏枣各生育阶段耗水强度的影响

处理	萌芽新梢期	开花坐果期	果实膨大期	白熟期	成熟期	全生育期
T1CK	1.30±0.05b	2.43±0.01d	3.32±0.10e	3.09±0.06e	1.51±0.04e	2.29±0.004e
T1F1	1.32±0.04b	2.47±0.07cd	3.35±0.03e	3.11±0.10e	1.54±0.02de	2.32±0.02e
T1F3	1.34±0.05ab	2.50±0.04cd	3.48±0.04cd	3.18±0.12de	1.60±0.02cd	2.38±0.02cd
T1F5	1.39±0.05ab	2.53±0.13bcd	3.53±0.06bc	3.24±0.12cde	1.66±0.04abc	2.43±0.02c
T1F7	1.41±0.07ab	2.63±0.06abc	3.60±0.09abc	3.40±0.07abc	1.70±0.04ab	2.51±0.04b
T1F9	1.42±0.12ab	2.70±0.07a	3.65±0.04ab	3.54±0.07a	1.72±0.03a	2.56±0.01a
T2CK	1.31±0.05b	2.45±0.10d	3.38±0.08de	3.15±0.06de	1.53±0.06de	2.33±0.04e
T2F1	1.32±0.05b	2.50±0.04cd	3.49±0.05cd	3.22±0.11de	1.55±0.01de	2.38±0.02d
T2F3	1.35±0.06ab	2.53±0.07bcd	3.52±0.06bc	3.30±0.04bcd	1.62±0.02bcd	2.42±0.02cd
T2F5	1.40±0.04ab	2.64±0.07abc	3.61±0.14abc	3.39±0.06abc	1.68±0.07abc	2.50±0.02b
T2F7	1.42±0.03ab	2.68±0.12ab	3.70±0.05a	3.46±0.14ab	1.72±0.08a	2.55±0.04a
T2F9	1.44±0.06a	2.73±0.17a	3.72±0.07a	3.54±0.09a	1.74±0.09a	2.59±0.03a
T	ns	ns	*	*	ns	*
F	*	*	*	*	*	*
T×F	ns	ns	ns	ns	ns	ns

由表 6 可知, 滴灌水温、有机肥替代比例以及二者交互作用对骏枣各生育阶段耗水模数影响不显著。随着生育进程的推进, 耗水模数整体上呈先增加后减少的趋势。不同滴灌水温和有机肥替代比例, 耗水模数无明显变化规律, 不同处理之间无显著差异。萌芽新梢期、开花坐果期、果实膨大期、白熟期和成熟期

的平均耗水模数分别为 11.55%、18.05%、33.09%、21.65%和 15.66%, 其中果实膨大期 (33.09%) 最高, 此阶段是果实生长和膨大的旺盛期, 同时高温天气频繁, 土壤蒸发和植株蒸腾加剧, 故耗水量和耗水强度较大, 说明该阶段需要大量的水分才能满足骏枣生长需要, 应提高果实膨大期灌溉频率来保证水肥供给。

表 6 不同处理对骏枣各生育阶段耗水模数的影响

处理	萌芽新梢期	开花坐果期	果实膨大期	白熟期	成熟期	全生育期
T1CK	11.70±0.23a	18.19±0.35a	33.14±0.63a	21.53±0.24a	15.44±0.19a	100
T1F1	11.67±0.35a	18.27±0.41a	33.06±0.57a	21.46±0.52a	15.54±0.25a	100
T1F3	11.57±0.33a	17.96±0.24a	33.42±0.37a	21.32±0.69a	15.73±0.31a	100
T1F5	11.79±0.36a	17.85±1.02a	33.12±0.47a	21.31±0.63a	15.94±0.38a	100
T1F7	11.56±0.45a	17.98±0.45a	32.84±0.89a	21.69±0.15a	15.93±0.14a	100
T1F9	11.41±0.98a	18.10±0.39a	32.61±0.28a	22.11±0.38a	15.77±0.20a	100
T2CK	11.56±0.54a	18.08±0.46a	33.25±0.44a	21.66±0.44a	15.45±0.52a	100
T2F1	11.45±0.48a	18.06±0.16a	33.56±0.40a	21.64±0.54a	15.29±0.27a	100
T2F3	11.49±0.49a	17.91±0.46a	33.19±0.33a	21.80±0.41a	15.61±0.04a	100
T2F5	11.53±0.43a	18.09±0.53a	32.97±1.04a	21.65±0.25a	15.76±0.66a	100
T2F7	11.44±0.35a	17.99±0.56a	33.11±0.39a	21.70±0.55a	15.76±0.81a	100
T2F9	11.45±0.43a	18.08±1.07a	32.83±0.44a	21.92±0.75a	15.72±0.73a	100
T	ns	ns	ns	ns	ns	/
F	ns	ns	ns	ns	ns	/
T×F	ns	ns	ns	ns	ns	/

### 2.3 不同滴灌水温下有机肥替代比例对骏枣产量及水分利用效率的影响

滴灌水温与有机肥替代比例对骏枣产量和水分利用效率均有显著影响(图3)。在相同施肥水平下,增加水温可以提高骏枣产量和WUE,与T1处理相比,T2处理产量和WUE平均增加了7.15%和5.10%。滴灌水温相同时,随着有机肥替代比例的增加,产量和WUE均表现为先增大后减小趋势,有机肥替代比例为50%时骏枣产量和WUE最大,施加有机肥处理(T2F9除外)的产量和WUE均大于CK。在T1处

理水平下,施加有机肥各处理的产量和WUE较CK平均增加了15.30%和8.35%;在T2处理水平下,施加有机肥各处理的产量和WUE较CK平均增加了13.14%和5.78%。最优处理T2F5处理的产量较T1CK、T2CK处理分别提高了35.77%、24.68%,T2F5处理的WUE较T1CK、T2CK处理分别增加了24.30%、15.91%。与T1F5处理相比,T2F5处理的产量和WUE提高了10.10%和6.95%,说明增温灌溉下配施50%有机肥(T2F5处理)的效果要优于井水灌溉下配施50%有机肥(T1F5处理)。

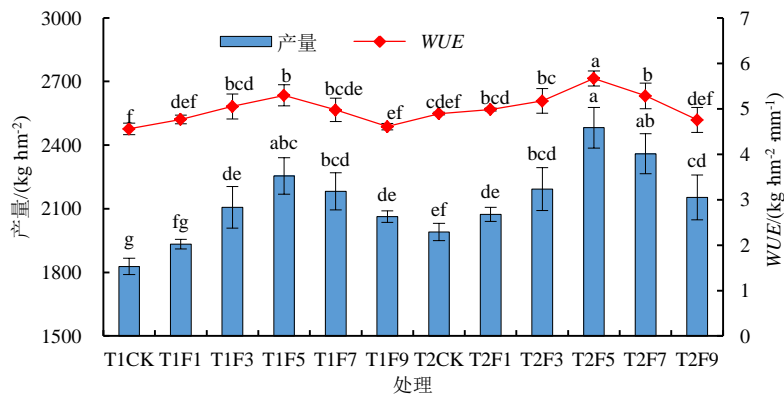


图3 不同处理下骏枣产量和水分利用效率

Fig.3 Yield and water use efficiency of Jun jujube under different treatments

### 2.4 基于骏枣产量和水分利用效率的有机肥替代比例综合分析

由于试验处理有限,为进一步确定适宜骏枣生长的有机肥替代比例,通过分析不同滴灌水温下有机肥替代比例对骏枣产量和水分利用效率的影响,以有机肥替代比例( $x$ )为自变量,以产量( $Y$ )和水分利用效率(WUE)为因变量,通过回归分析,计算出 $Y$ 和WUE的最大值以及 $0.99Y_{\max}$ 和 $0.99WUE_{\max}$ ,并计算出各自所对应的 $x$ 。将满足 $Y \geq 0.99Y_{\max}$ 、 $WUE \geq 0.99WUE_{\max}$ 所对应的 $x$ 的取值范围确定为适宜的有机肥替代化肥比例的范围。由图4可知,在不同滴灌

水温下,有机肥替代比例与骏枣产量、WUE均呈开口向下的二次抛物线关系,T1处理下,当有机肥替代比例为55.64%时, $Y$ 达到最大,当有机肥替代比例为48.50%时WUE最大;T2处理下,当有机肥替代比例达到53.42%时, $Y$ 达到最大,有机肥替代比例为49.83%时,WUE最大。计算出 $0.99Y_{\max}$ 和 $0.99WUE_{\max}$ 以及各自所对应的 $x$ 值,具体回归结果如表7所示。经过计算各特征值以及最优处理所对应的产量和水分利用效率,最终综合确定出T1、T2处理下骏枣产量和水分利用效率最佳有机肥替代比例分别为:50%~55.64%和41.01%~49.83%。



的减产现象。本研究中, 增温水灌溉提高了骏枣水分利用效率, 主要是通过提高骏枣的产量实现的, 因为新疆当地白天气温高, 土壤温度与井水之间存在较大温差, 井水灌溉会刺激枣树根系, 进而抑制对水分和营养物质的吸收, 从而影响骏枣的生长以及产量的形成, 增温灌溉有利于缓解这种现象, 从而起到稳产增产的作用。本研究中, 与全施化肥相比, 有机肥替代化肥也可提高水分利用效率, 这与前人<sup>[33,36]</sup>研究结论基本一致, 由于有机肥与化肥配合施用, 将化肥速效性和有机肥持久性的优势结合起来, 对枣树营养物质的供应比较平稳且全面<sup>[37]</sup>, 同时有机肥的施入还可以改善土壤结构, 协调土壤中水肥气热的关系<sup>[38]</sup>, 从而有效提高了骏枣产量和水分利用效率。方彦杰等<sup>[39]</sup>研究得出, 有机肥替代 50% 的化肥可显著提高玉米的产量和 *WUE*。杜少平等<sup>[40]</sup>研究发现, 在等氮投入下有机氮替代 50%~100% 的无机氮有利于砂田西瓜产量和 *WUE* 的提高。本研究得出适宜骏枣产量和水分利用效率提高的有机肥替代比例分别为 50%~55.64% (井水)、41.01%~49.83% (增温水), 这与前人<sup>[39]</sup>研究结果基本一致。

#### 4 结论

1) 增加灌溉水温可降低 0~100 cm 土层平均土壤含水率, 而深层土壤含水率略有增加, 有机肥替代化肥可增加土壤含水率, 有利于水分的保持。

2) 与全施化肥相比, 井水和增温水灌溉下有机肥替代化肥可使耗水量增加 1.09%~11.62% 和 2.23%~11.29%; 增温水灌溉较井水灌溉耗水量增加 1.14%~2.83%。

3) 井水 ((13±1) °C) 和增温水 ((21±1) °C) 灌溉下有机肥替代比例均为 50% 时, 滴灌骏枣的产量和水分利用效率最大。

4) 回归分析得出, 井水灌溉下适宜吐哈盆地骏枣产量和水分利用效率提高的有机肥替代比例为 50%~55.64%, 增温水灌溉下为 41.01%~49.83%。

#### 参考文献:

[1] 侯裕生, 王振华, 李文昊, 等. 水肥耦合对极端干旱区滴灌葡萄耗水规律及作物系数影响[J]. 水土保持学报, 2019, 33(2): 279-286, 330.  
HOU Yusheng, WANG Zhenhua, LI Wenhao, et al. Effects of water and fertilizer coupling on water consumption and crop coefficient of drip irrigated grape in extreme arid area[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2019, 33(2): 279-286, 330.

[2] LIU H G, HE X L, LI J, et al. Effects of water-fertilizer coupling on root distribution and yield of Chinese Jujube trees in Xinjiang[J]. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 2017, 10(6): 103-114.

[3] 孟阿静, 齐莹莹, 付彦博, 等. 增温水滴灌对棉花生物量、养分吸收

及产量的影响[J]. 新疆农业科学, 2022, 59(3): 558-566.  
MENG Ajing, QI Yingying, FU Yanbo, et al. Effects of warming irrigation on biomass, nutrient uptake and yield of cotton[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2022, 59(3): 558-566.

[4] 何浩, 张宇彤, 危常州, 等. 等养分条件下不同有机肥替代率对玉米生长及土壤肥力的影响[J]. 核农学报, 2021, 35(2): 454-461.  
HE Hao, ZHANG Yutong, WEI Changzhou, et al. Effects of different organic fertilizer replacement rates on maize growth and soil fertility under equal nutrient conditions[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2021, 35(2): 454-461.

[5] 邵云, 李静雅, 马冠群, 等. 基于长期定位的无机有机肥配施对土壤养分和小麦籽粒产量及品质的影响[J]. 河南师范大学学报(自然科学版), 2022, 50(3): 126-134.  
SHAO Yun, LI Jingya, MA Guanqun, et al. Effects of combined application of organic and inorganic fertilizers on soil nutrients, wheat grain yield and quality based on long-term location[J]. Journal of Henan Normal University (Natural Science Edition), 2022, 50(3): 126-134.

[6] 梁改梅, 李娜娜, 黄学芳, 等. 黄土旱塬区玉米产量最优的有机肥与化肥配施组合研究[J]. 中国土壤与肥料, 2022(3): 29-38.  
LIANG Gaimei, LI Nana, HUANG Xuefang, et al. Optimal combination of organic fertilizer and chemical fertilizer for maize yield in Loess Plateau dry land areas[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2022(3): 29-38.

[7] 马永康, 王振华, 宗霞, 等. 增温滴灌下有机肥配施对骏枣产量品质的影响[J]. 干旱区资源与环境, 2022, 36(9): 186-193.  
MA Yongkang, WANG Zhenhua, ZONG Xia, et al. Effects of organic fertilizer combining with warming drip irrigation on yield and quality of Jun jujube[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2022, 36(9): 186-193.

[8] ZHANG J, DONG P, ZHANG H Y, et al. Low soil temperature reducing the yield of drip irrigated rice in arid area by influencing anther development and pollination[J]. Journal of Arid Land, 2019, 11(3): 419-430.

[9] 朱红艳, 刘利华, 费良军. 滴灌水温对土壤入渗和土壤温度的影响[J]. 排灌机械工程学报, 2019, 37(10): 902-908.  
ZHU Hongyan, LIU Lihua, FEI Liangjun. Effects of drip irrigation water temperature on soil infiltration and soil temperature[J]. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering, 2019, 37(10): 902-908.

[10] 孟阿静, 严品, 库德热提·巴吾东, 等. 增温水灌溉对棉花根际土壤养分和土壤微生物数量的影响[J]. 新疆农业科学, 2017, 54(2): 336-342.  
MENG Ajing, YAN Jing, KUDERETI Bawudon, et al. Effects of temperature-increasing water irrigation on soil nutrients and soil microbial biomass in cotton rhizosphere[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2017, 54(2): 336-342.

[11] 赵航. 枣树土壤微域环境及其成花坐果对增温水灌溉的响应[D]. 阿拉尔: 塔里木大学, 2019.  
ZHAO Hang. Response of jujube soil micro-environment and its flowering results to warm water irrigation[D]. Alaer: Tarim University, 2019.

[12] LI Rui, TAO Rui, LING Ning, et al. Chemical, organic and bio-fertilizer management practices effect on soil physicochemical property and antagonistic bacteria abundance of a cotton field: Implications for soil biological quality[J]. Soil and Tillage Research, 2017, 167: 30-38.

[13] HAMID Yasir, TANG Lin, HUSSAIN Bilal, et al. Organic soil additives for the remediation of cadmium contaminated soils and their impact on the soil-plant system: A review[J]. Science of the Total Environment, 2020, 707: 136-121.

[14] ZHAI Lichao, WANG Zhanbiao, ZHAI Yuchao, et al. Partial substitution of chemical fertilizer by organic fertilizer benefits grain yield, water use efficiency, and economic return of summer maize[J].



- Soil and Tillage Research, 2022, 217: 105-287.
- [15] 陈倩, 谢军红, 李玲玲, 等. 不同比例有机肥替代化肥对玉米生长及水分利用效率的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2021, 39(6): 162-170.  
CHEN Qian, XIE Junhong, LI Lingling, et al. Effects of different proportions of organic fertilizer substitutes for chemical fertilizer on growth characteristics and water use efficiency of maize[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2021, 39(6): 162-170.
- [16] WANG Xiquan, NIE Jiangwen, WANG Peixin, et al. Does the replacement of chemical fertilizer nitrogen by manure benefit water use efficiency of winter wheat - summer maize systems?[J]. Agricultural Water Management, 2021, 243: 106-428.
- [17] 张建军, 樊廷录, 赵刚, 等. 长期定位施不同氮源有机肥替代部分含氮化肥对陇东旱塬冬小麦产量和水分利用效率的影响[J]. 作物学报, 2017, 43(7): 1 077-1 086.  
ZHANG Jianjun, FAN Tinglu, ZHAO Gang, et al. Yield and water use efficiency of winter wheat in response to long-term application of organic fertilizer from different nitrogen resources replacing partial chemical nitrogen in dry land of eastern Gansu Province[J]. Acta Agronomica Sinica, 2017, 43(7): 1 077-1 086.
- [18] 王宁, 冯克云, 南宏宇, 等. 不同水分条件下有机无机肥配施对棉花根系特征及产量的影响[J]. 中国农业科学, 2022, 55(11): 2 187-2 201.  
WANG Ning, FENG Keyun, NAN Hongyu, et al. Effects of combined application of organic fertilizer and chemical fertilizer on root characteristics and yield of cotton under different water conditions[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2022, 55(11): 2 187-2 201.
- [19] 付诗宁, 魏新光, 郑思宇, 等. 滴灌水肥一体化对温室葡萄生理特性及水肥利用效率的影响[J]. 农业工程学报, 2021, 37(23): 61-72.  
FU Shining, WEI Xinguang, ZHENG Siyu, et al. Effects of integrated management of water and fertilizer on the physiological characteristics and water-fertilizer use efficiency of grapes in greenhouse[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2021, 37(23): 61-72.
- [20] 虎军宏, 赵文举, 刘贵元, 等. 滴灌条件下水土温度对覆砂土壤水热运移影响的数值模拟[J]. 水土保持学报, 2020, 34(5): 349-354, 360.  
HU Junhong, ZHAO Wenju, LIU Guiyuan, et al. Numerical simulation of the influence of water and soil temperature on water and heat transfer of sand mulching soil under drip irrigation[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2020, 34(5): 349-354, 360.
- [21] 王艳丽, 吴鹏年, 李培富, 等. 有机肥配施氮肥对滴灌春玉米产量及土壤肥力状况的影响[J]. 作物学报, 2019, 45(8): 1 230-1 237.  
WANG Yanli, WU Pengnian, LI Peifu, et al. Effects of organic manure combined with nitrogen fertilizer on spring maize yield and soil fertility under drip irrigation[J]. Acta Agronomica Sinica, 2019, 45(8): 1 230-1 237.
- [22] 彭星星, 郭正, 张玉娇, 等. 长期有机肥与化肥配施对渭北旱塬苹果园水分生产力和土壤有机碳含量影响的定量模拟[J]. 植物营养与肥料学报, 2018, 24(1): 33-43.  
PENG Xingxing, GUO Zheng, ZHANG Yujiao, et al. Quantitative simulation of the effect of long-term organic manure and chemical fertilizer application on water productivity and soil organic carbon contents of apple orchards in Weibei Highland[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 2018, 24(1): 33-43.
- [23] 周喜荣, 张丽萍, 孙权, 等. 有机肥与化肥配施对果园土壤肥力及鲜食葡萄产量与品质的影响[J]. 河南农业大学学报, 2019, 53(6): 861-868.  
ZHOU Xirong, ZHANG Liping, SUN Quan, et al. Effects of combined organic fertilizer with chemical fertilizer on soil fertility in orchard and yield and quality of table grape[J]. Journal of Henan Agricultural University, 2019, 53(6): 861-868.
- [24] 刘秀, 司鹏飞, 张哲, 等. 地膜覆盖对北方旱地土壤水稳性团聚体及有机碳分布的影响[J]. 生态学报, 2018, 38(21): 7 870-7 877.  
LIU Xiu, SI Pengfei, ZHANG Zhe, et al. Effects of film mulching on soil aggregations and organic carbon contents in Northern dryland regions[J]. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(21): 7 870-7 877.
- [25] 何修道, 党宏忠, 王立, 等. 北方地区植物篱系统土壤水分特征曲线模拟与分析[J]. 草业学报, 2016, 25(7): 42-51.  
HE Xiudao, DANG Hongzhong, WANG Li, et al. Simulation and analysis of soil water retention curves within and between hedgerows in Northern China farm systems[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2016, 25(7): 42-51.
- [26] 张帅普, 邵明安. 绿洲边缘土壤水分与有机质空间分布及变异特征[J]. 干旱区研究, 2014, 31(5): 812-818.  
ZHANG Shuaipu, SHAO Mingan. Spatial variability of soil moisture content and soil organic matter content in oasis marginal zone[J]. Arid Zone Research, 2014, 31(5): 812-818.
- [27] 王宇祥, 刘廷玺, 段利民, 等. 科尔沁不同类型沙丘土壤水分时空变化特征及其环境影响因子[J]. 水土保持学报, 2020, 34(6): 125-134, 142.  
WANG Yuxiang, LIU Tingxi, DUAN Limin, et al. Temporal and spatial variation characteristics of soil moisture and environmental impact factors in different types of dunes in horqin[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2020, 34(6): 125-134, 142.
- [28] FANG Heng, LI Yuannong, GU Xiaobo, et al. Evapotranspiration partitioning, water use efficiency, and maize yield under different film mulching and nitrogen application in Northwest China[J]. Field Crops Research, 2021, 264: 108-103.
- [29] 张作合, 张忠学. 寒地稻田不同灌溉模式下稻株生长与水分消耗利用[J]. 生态学报, 2021, 41(11): 4 586-4 595.  
ZHANG Zuohu, ZHANG Zhongxue. Rice plant growth and water consumption and utilization under different irrigation modes in cold paddy field[J]. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41(11): 4 586-4 595.
- [30] 黄健, 季枫. 温室增温和灌溉量变化对棉花产量、生物量及水分利用效率的影响[J]. 中国农学通报, 2014, 30(30): 152-157.  
HUANG Jian, JI Feng. Effects of rising temperatures in green house and variation of irrigation on seed cotton yield, biomass and water use efficiency[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2014, 30(30): 152-157.
- [31] 王晓娟, 贾志宽, 梁连友, 等. 旱地施有机肥对土壤水分和玉米经济效益影响[J]. 农业工程学报, 2012, 28(6): 144-149.  
WANG Xiaojuan, JIA Zhikuan, LIANG Lianyou, et al. Effects of organic fertilizer application on soil moisture and economic returns of maize in dryland farming[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(6): 144-149.
- [32] 周慧, 史海滨, 张文聪, 等. 有机无机肥配施对盐渍化土壤微生物量和呼吸的影响[J]. 农业工程学报, 2021, 37(15): 86-95.  
ZHOU Hui, SHI Haibin, ZHANG Wencong, et al. Effects of the combined application of organic and inorganic fertilizers on soil microbial biomass and soil respiration in saline soil[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2021, 37(15): 86-95.
- [33] 周慧, 史海滨, 郭珈玮, 等. 盐分与有机无机肥配施对土壤氮素矿化的影响[J]. 农业机械学报, 2020, 51(5): 295-304.  
ZHOU Hui, SHI Haibin, GUO Jiawei, et al. Effect of salt and organic-inorganic fertilizer application on soil nitrogen mineralization[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020, 51(5): 295-304.
- [34] 毋海梅, 闫浩芳, 张川, 等. 温室滴灌黄瓜产量和水分利用效率对水分胁迫的响应[J]. 农业工程学报, 2020, 36(9): 84-93.  
WU Haimei, YAN Haofang, ZHANG Chuan, et al. Responses of yield and water use efficiency of drip-irrigated cucumber in greenhouse to water stress[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2020, 36(9): 84-93.
- [35] 徐飞, 隋文志, 怀宝东, 等. 井水增温灌溉对寒地水稻生物学特征及水肥利用效率的影响[J]. 中国农业大学学报, 2018, 23(11): 142-151.

- XU Fei, SUI Wenzhi, HUAI Baodong, et al. Effects of warming well water irrigation on the biological characteristics of rice in cold regions and its water and fertilizer use efficiencies[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2018, 23(11): 142-151.
- [36] 程煜, 乔若楠, 丁运韬, 等. 化肥减量和有机替代对重度盐渍土水盐特性及向日葵水氮利用效率的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2021, 27(11): 1 981-1 992.
- CHENG Yu, QIAO Ruonan, DING Yuntao, et al. Effects of chemical fertilizer reduction and organic substitution on water and salt characteristics of high salinity soil and water and nitrogen use efficiency of sunflower[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2021, 27(11): 1 981-1 992.
- [37] 温丹, 王晓, 孙凯宁, 等. 不同形态微生物菌剂对不结球白菜生长和品质的影响[J]. *应用生态学报*, 2021, 32(5): 1 777-1 782.
- WEN Dan, WANG Xiao, SUN Kaining, et al. Effects of different forms of microbial agents on the growth and quality of *Brassica Rapa L. ssp. chinensis* Makino (non-heading Chinese cabbage)[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2021, 32(5): 1 777-1 782.
- [38] 霍轶珍, 银花, 韩翠莲, 等. 施用有机肥及地膜覆盖对春玉米土壤温度及水分利用效率的影响[J]. *水土保持研究*, 2018, 25(5): 211-215.
- HUO Yizhen, YIN Hua, HAN Cuilian, et al. Effects of organic fertilizer and plastic film mulching on soil temperature and water use efficiency of spring maize[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2018, 25(5): 211-215.
- [39] 方彦杰, 张绪成, 于显枫, 等. 旱地立式深旋耕方式下有机肥替代对饲用玉米耗水特性和产量的影响[J]. *作物学报*, 2020, 46(12): 1 958-1 969.
- FANG Yanjie, ZHANG Xucheng, YU Xianfeng, et al. Effects of substitution of organic fertilizer on water consumption and yields under vertical rotary subsoiling on arid area in forage maize[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2020, 46(12): 1 958-1 969.
- [40] 杜少平, 马忠明, 薛亮. 有机无机肥配施对砂田西瓜产量、品质及水氮利用率的影响[J]. *果树学报*, 2020, 37(3): 380-389.
- DU Shaoping, MA Zhongming, XUE Liang. Effect of manure combined with chemical fertilizers on fruit yield, fruit quality and water and nitrogen use efficiency in watermelon grown in gravel-mulched field[J]. *Journal of Fruit Science*, 2020, 37(3): 380-389.

## Effect of Water Temperature and Organic Fertilizer Substitution on Yield and Water Use of Honey Jujube under Drip Irrigation

MA Yongkang<sup>1,2,3</sup>, WANG Zhenhua<sup>1,2,3\*</sup>, LI Haiqiang<sup>1,2,3</sup>, LIN Haixia<sup>1,2,3</sup>, LI Yanqiang<sup>1,2,3</sup>, TAN Mingdong<sup>1,2,3</sup>

(1. College of Water Conservancy & Architectural Engineering, Shihezi University, Shihezi 832000, China;

2. Key Laboratory of Modern Water-saving Irrigation of Xinjiang Production & Construction Group, Shihezi 832000, China;

3. Key Laboratory of Northwest Oasis Water-saving Agriculture,

Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China, Shihezi 832000, China)

**Abstract:** **【Objective】**Organic fertilizers have been increasingly used as a substitute to reduce the detrimental impact of chemical fertilizers in China. In this paper, we studied the impact of its combination with drip irrigation water temperature on honey jujube growth and yield. **【Method】** The experiment was conducted in a field at Tuha Basin, where 10% to 90% of the chemical fertilizers was replaced by organic fertilizer. The control was without organic fertilizer substitution. For each fertilization, there were two irrigation water temperatures: conventional water temperature ( $13\pm 1$ ) $^{\circ}\text{C}$  (T1) and warmed water temperature ( $21\pm 1$ ) $^{\circ}\text{C}$  (T2). In each treatment, we measured water consumption, yield and water use efficiency of the jujube. **【Result】** When fertilization was the same, T2 reduced water content in the 0~100 cm soil layer and increased water consumption. Compared with T1, T2 increased yield and water use efficiency of the jujube by 7.15% and 5.10%, respectively. When the irrigation water temperature was the same, substitution of chemical fertilizer with organic fertilizer led to an increase in soil water content and water consumption. As a result, it increased the yield and water use efficiency of the jujube. However, when the substitution rate exceeded 50%, there was a decline in yield and water use efficiency. Specifically, when the substitution was 50%, T2 increased the yield and water use efficiency of the jujube by 10.10% and 6.95%, respectively, compared to T1. **【Conclusion】** Multivariate regression analysis suggested that under conventional irrigation water temperature, substituting 50.00%~55.64% of chemical fertilizer by organic fertilizer is optimal to improve yield and water use efficiency of the jujube, while when increasing the water temperature to 20  $^{\circ}\text{C}$ , substituting 41.01%~49.83% of chemical fertilizer works the best for the jujube.

**Key words:** drip irrigation water temperature; organic fertilizer; yield of Jun jujube; water use efficiency

责任编辑: 白芳芳