

文章编号: 1672-3317(2023)07-0045-08

# 水肥耦合对滴灌骏枣产量及果品等级的影响研究

周小杰<sup>1,2</sup>, 吕廷波<sup>1,2\*</sup>, 邢猛<sup>1,2</sup>, 宋仁友<sup>1,2</sup>, 付鑫法<sup>1,2</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)

**摘要:** 【目的】探索新疆滴灌骏枣的产量及骏枣等级比例对水肥耦合的响应规律, 为当地骏枣生产提供节水节肥优质的水肥配比模式。【方法】研究对象为新疆典型自压灌区昆玉市224团10a成龄骏枣, 参考当地生产实践, 以灌水量770 mm、施肥量1 125 kg/hm<sup>2</sup>为对照, 采用水(W1: 540 mm, W2: 630 mm, W3: 720 mm)、肥(F1: 562.5 kg/hm<sup>2</sup>, F2: 810 kg/hm<sup>2</sup>, F3: 1 080 kg/hm<sup>2</sup>)双因素三水平试验, 运用二元回归方程及归一化处理方法。【结果】灌水量对灌溉水利用效率(IWUE)和骏枣单果质量、纵横径、等级比例影响均达到显著性水平( $P < 0.05$ ), 对产量影响达到极显著水平( $P < 0.01$ )。施肥量对骏枣等级比例影响达到显著性水平( $P < 0.05$ ), 对肥料偏生产力(PFP)、单果质量、纵横径影响达到极显著水平( $P < 0.01$ )。水肥交互作用对骏枣产量、IWUE、PFP、骏枣等级比例(除四级果率外)影响均达到极显著水平( $P < 0.01$ )。骏枣产量、IWUE均为W2F3处理最高, 与CK具有显著性差异( $P < 0.05$ )。骏枣单果质量、纵横径为W2F2处理最优。骏枣特级、一级、三级与四级果率均为W2F2处理最优, W2F2处理除了在一级果率中与W2F3处理差异不显著, 其余等级果率均具有显著性差异( $P > 0.05$ )。【结论】适宜水肥配比量是提高骏枣产量、外观品质、果品等级比例的关键因素。通过分析不同水肥配比与产量、骏枣等级比例数学模型, 综合考虑骏枣提质增效目标, 提出适宜水肥配比区间为灌水量(639.21~642.85 mm), 施肥量(N 374.38~384.02 kg/hm<sup>2</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 187.19~192.01 kg/hm<sup>2</sup>、K<sub>2</sub>O 280.79~288.02 kg/hm<sup>2</sup>)。

**关键词:** 骏枣; 滴灌; 水肥配比; 产量; 果品等级; 骏枣等级比例

中图分类号: S274.1

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2022685

OSID:



周小杰, 吕廷波, 邢猛, 等. 水肥耦合对滴灌骏枣产量及果品等级的影响研究[J]. 灌溉排水学报, 2023, 42(7): 45-51, 100.  
ZHOU Xiaojie, LYU Tingbo, XING Meng, et al. The Combined Effect of Irrigation and Fertilization on Yield and Quality of Fruits of Chinese Date[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2023, 42(7): 45-51, 100.

## 0 引言

【研究意义】新疆红枣种植区土壤主要为沙土或沙壤土, 保水保肥能力差。由于施肥不合理, 导致肥料利用率低下、枣树产量下降和果实品质差等问题, 其中二级果及以上等级比例的降低极大影响骏枣的经济价值。研究滴灌条件下骏枣节水节肥、提质增效的水肥管理技术, 为新疆地区骏枣生产提供节水节肥优质的水肥配比模式, 提高骏枣经济价值, 具有良好的现实意义。【研究进展】枣原产于中国, 为我国特有的经济树种, 国外很多国家都从中国引种栽培, 中国骏枣主要为山西骏枣和新疆骏枣<sup>[1]</sup>。近年来, 国内外学者进行了诸多红枣相关研究<sup>[2-4]</sup>, Li等<sup>[5]</sup>研究了枣树根系分布对灌溉水有效利用系数的影响; Ye等<sup>[6]</sup>研究了有机肥对梨枣水分利用、光合特性及果实品质

的影响; 水分亏缺胁迫对枣果实品质的影响<sup>[7]</sup>。其中在滴灌条件下对红枣的研究取得了大量成果, 关于灌水量对红枣影响方面, 有不同灌水下限、调亏灌溉及不同灌溉定额等对红枣产量的影响<sup>[8-13]</sup>。胡家帅等<sup>[12]</sup>在新疆阿拉尔研究得出灌水量为1 050 mm时, 红枣产量、水分利用效率最优。在施肥量对红枣影响方面, 主要侧重于施氮量和全生育期施肥量研究<sup>[14-15]</sup>, 滴灌条件下矮化密植枣树试验中得出适宜施肥区间: N (271.36~374.88 kg/hm<sup>2</sup>)、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (128.36~217.94 kg/hm<sup>2</sup>)、K<sub>2</sub>O (124.44~228.58 kg/hm<sup>2</sup>)<sup>[16]</sup>。胡安焱等<sup>[17]</sup>在新疆阿克苏地区研究认为, 灌水对红枣产量的影响效应大于施肥, 水肥耦合显著增加红枣产量。宋亚伟等<sup>[18]</sup>对骏枣商品果率、外观品质、制干品质和果实品级进行相关研究。此外, 学者<sup>[19-20]</sup>通过红枣水肥试验得出其最优水肥配比与灌水施肥制度。王振华等<sup>[21]</sup>通过运用二元回归分析及归一化方法, 建立水肥关系模型并获得新疆沙区成龄红枣适宜水肥投入范围。【切入点】目前大部分研究在建立水肥投入为自变量、红枣果实指标为因变量时, 虽然研究的指标较多, 但关于水肥供应对骏枣优劣果率的影响研究较少。

收稿日期: 2022-12-13 修回日期: 2023-03-31 网络出版日期: 2023-05-09  
基金项目: 兵团新疆重点产业创新发展支撑计划项目(2022DB024); 兵团节水灌溉试验计划项目(BTJSSY-202106)  
作者简介: 周小杰(1995-), 男, 福建福安人。硕士研究生, 主要从事节水灌溉理论与新技术研究。E-mail: 470493691@qq.com  
通信作者: 吕廷波(1978-), 男, 山东临朐人。教授, 主要从事节水灌溉理论与新技术研究。E-mail: lvtngbo@126.com  
©《灌溉排水学报》编辑部, 开放获取 CC BY-NC-ND 协议

本研究以骏枣等级比例为突破点,将探究骏枣产量与果实等级之间的关系作为重点。【拟解决的关键问题】以南疆和田地区矮化密植骏枣为研究对象,针对南疆骏枣水肥管理模式粗放问题,研究南疆滴灌不同水肥管理对红枣产量及等级品质的影响,建立不同水肥管理方法与产量、等级的数学模型,探索该地区骏枣生产的最佳水肥管理模式,以期对矮化密植骏枣生产的适宜水肥管理提供借鉴。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

试验于2021年4—10月在新疆生产建设兵团第十四师昆玉市224团7连(79°29'N, 37°35'E)进行。该地区海拔1263.2 m,为典型的温带大陆性气候,年均气温为12.3℃,年均降水量为33.4 mm,年均蒸发量为2825 mm,年均无霜期为214 d,最大冻土深度0.7 m。该地土壤质地为沙壤土,1.5 m土层内平均土壤干体积质量1.55 g/cm<sup>3</sup>、pH值为8.16,平均地下水埋深3 m。每次灌水前检测灌溉用水,pH值平均为6.91。土壤理化性质如下,有机质量为6.83 g/kg,铵态氮量为0.45 mg/kg,硝态氮量为29.32 mg/kg,速效磷量为13.76 mg/kg,有效钾量为39.81 mg/kg。试验区主要气象要素见图1。

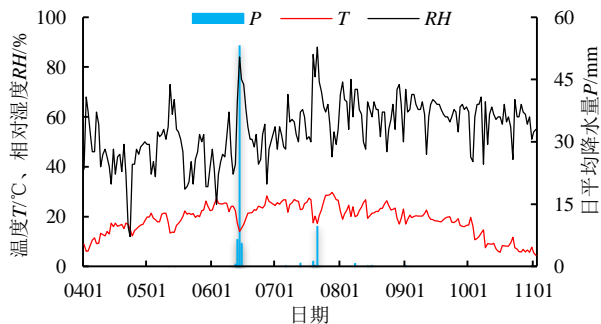


图1 2021年试验区气象要素

Fig.1 Meteorological elements of the test site in 2021

### 1.2 田间试验设置

研究对象为10 a 成龄骏枣,2010年种植,次年嫁接,枣树株行距1 m×4 m。枣树平均株高2 m、干周(离地面20 cm处)40 cm、冠幅1.82 m。滴灌施肥由小型施肥罐和水表精确控制,滴灌带采用1行2管布置模式,分别位于枣树两侧,距树干60 cm。滴头为单翼迷宫式,滴灌带外径16 mm,壁厚0.30 mm,滴头间距30 cm,流量3.2 L/h。

### 1.3 试验设计

通过文献[13]和参考农户经验,按照当地农艺管理措施,以常规滴灌施肥为对照组,其灌水量为770 mm,施肥量为1125 kg/hm<sup>2</sup>。采用水、肥双因素三水平处理方法,灌溉定额分别为:540 mm (W1)、630 mm (W2)、720 mm (W3)。使用肥料为尿素(含N 46%),磷酸一铵(含P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 60.85%, N 12.17%),硫酸钾(含K<sub>2</sub>O 52%)。施肥量采用N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O=4:2:3的比例,分别为562.5 kg/hm<sup>2</sup> (F1)、810 kg/hm<sup>2</sup> (F2)、1080 kg/hm<sup>2</sup> (F3)。具体水肥处理方案如表1所示,共10个处理,3次重复,30个小区,小区长70 m,宽4 m。各小区之间保留一行枣树作为保护行。

灌水开始后0.5 h施肥,灌水停止前0.5 h施肥结束。骏枣全生育期灌水和施肥情况如表2所示。

表1 试验方案

灌水处理	灌水量/mm	施肥处理	施氮量/(kg hm <sup>-2</sup> )	施磷量/(kg hm <sup>-2</sup> )	施钾量/(kg hm <sup>-2</sup> )
W1	540	F1	240	120	202.5
		F2	360	180	270
		F3	480	240	360
W2	630	F1	240	120	202.5
		F2	360	180	270
		F3	480	240	360
W3	720	F1	240	120	202.5
		F2	360	180	270
		F3	480	240	360
CK	770	CK	495	255	375

表2 骏枣全生育期灌水施肥量

Table 2 The amount of irrigation and fertilization in the whole growth period of Junzao

生育阶段	时间	灌水处理/mm				施肥处理/(kg hm <sup>-2</sup> )					灌水施肥次数
		W1	W2	W3	CK	F1	F2	F3	CK		
萌芽新梢期	0415—0530	175	204	233	250	180	270	360	371	3	
花果期	0531—0715	155	181	207	220	146.5	213	284	296	3	
果实膨大期	0716—0815	109	127	145	156	125	173	231	242	2	
白熟期	0816—0915	101	118	135	144	111	154	206	216	2	
完熟期	0915—1015	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
全生育期	0415—1015	540	630	720	770	562.5	810	1080	1125	10	

### 1.4 试验测定项目与方法

#### 1.4.1 产量、果品等级及外观品质

产量:在枣树进入收获期后,按照小区取样,各处理随机选取9棵树,分别称量每棵树的红枣产量,将9棵树产量的平均值作为每个处理枣树的产量。

果品等级:红枣果品样本依据前人<sup>[22]</sup>研究将收集的样本热风干燥(湿基含水率(25±6)% )处理后,根据骏枣长径分为5个品级:特级(36 mm以上)、一级(32~36 mm)、二级(28~32 mm)、三级(24~28 mm)、四级(20~24 mm)。将每个处理的红枣使用

分级机器进行果品分级。

单果质量：将骏枣称质量分级后，按照每一棵枣树随机选取 15 颗的标准采用称质量法测出不同处理平均单果质量。

骏枣纵横径：将骏枣称质量分级后，按照每一棵枣树随机选取 15 颗的标准采用游标卡尺测出不同处理平均骏枣纵横径。

#### 1.4.2 灌溉水分利用效率与肥料偏生产力

灌溉水分利用效率 ( $IWUE$ ,  $\text{kg}/\text{m}^3$ )<sup>[23]</sup>计算式为：

$$IWUE=Y/W, \quad (1)$$

式中： $Y$ 为骏枣产量( $\text{kg}/\text{hm}^2$ )； $W$ 为骏枣灌水量( $\text{mm}$ )。灌水量： $1\text{ mm}=10.005\text{ m}^3/\text{hm}^2$ 。

肥料偏生产力 ( $PPF$ ,  $\text{kg}/\text{kg}$ )<sup>[23]</sup>计算式为：

$$PPF=Y/F, \quad (2)$$

式中： $F$ 为投入的  $\text{N}$ 、 $\text{P}_2\text{O}_5$  和  $\text{K}_2\text{O}$  总质量 ( $\text{kg}/\text{hm}^2$ )。

#### 1.4.3 相关性分析

将灌水施肥的数学模型计算得出的产量、等级预测值与实测值进行相关性分析，指标包括显著性差异 ( $P$ )、决定系数 ( $R^2$ )、均方根误差 ( $RMSE$ )、归一化均方误差 ( $NRMSE$ )， $RMSE$  和  $NRMSE$  按式 (1) 一式 (2) 计算。

$$RMSE=\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^n(Y_a-Y_b)^2}, \quad (3)$$

$$NRMSE=100\sqrt{\frac{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^n(Y_a-Y_b)^2}{Y_c}}, \quad (4)$$

式中： $Y_a$ 为实测值； $Y_b$ 为预测值； $Y_c$ 为实测值平均值； $RMSE$  大小代表偏差程度， $RMSE$  越小，精确程

度越高； $NRMSE<10\%$ 为极好， $10\%\sim 20\%$ 为良好， $20\%\sim 30\%$ 为中等， $\geq 30\%$ 为差<sup>[21]</sup>。

#### 1.5 数据处理

数据采用 Excel 2018, Matlab 2019 和 SPSS 25 进行处理 (双因素分析和 Duncan 法 ( $P=0.05$ ) 进行多重比较)，图表分别采用 Excel 2018 和 Origin 2018 绘制。

## 2 结果与分析

### 2.1 水肥配比对滴灌骏枣产量和品质的影响

如表 3 所示，灌水量对骏枣产量、单果质量、骏枣纵横径影响达到显著水平 ( $P<0.05$ )，对  $IWUE$  达到极显著水平 ( $P<0.01$ )，施肥量对  $PPF$ 、单果质量、骏枣纵横径达到极显著水平 ( $P<0.01$ )。水肥交互作用对骏枣产量、 $IWUE$  和  $PPF$  的影响均达到极显著水平 ( $P<0.01$ )。W1F1 处理产量、骏枣纵横径值最低，其 W1F1 处理产量和横径与 CK 均具有显著性差异 ( $P<0.05$ )，较 CK 产量和横径分别减少 25.29%、8.1%。W3F1 处理单果质量最低，与 CK 具有显著性差异 ( $P<0.05$ )，较 CK 减少 24.09%。W2F3 处理的骏枣产量和  $IWUE$  最高，与 CK 具有显著性差异 ( $P<0.05$ )，较 CK 产量和  $IWUE$  分别提高 13.92%、39.13%。W3F1 处理  $PPF$  最高，与 CK 具有显著性差异 ( $P<0.05$ )，较 CK 提高 91.53%。W2F2 处理单果质量、骏枣纵横径最高，其中单果质量、纵径与 CK 均具有显著性差异 ( $P<0.05$ )，较 CK 分别提高 10.3%、10.54%。

表 3 不同水肥配比滴灌骏枣产量和品质

Table 3 Yield and quality of Junzao under drip irrigation with different water and fertilizer ratios

灌水处理	施肥处理	产量/(kg hm <sup>-2</sup> )	灌溉水分利用效率/(kg m <sup>-3</sup> )	肥料偏生产力/(kg kg <sup>-1</sup> )	单果质量/g	纵径/mm	横径/mm
W1	F1	6 632.50±99.95f	1.23±0.02cd	11.79±0.18f	11.14±0.06e	45.38±1.53de	27.39±0.42c
	F2	7 154.74±134.40e	1.32±0.03b	8.83±0.17d	13.64±0.52cd	47.78±2.09bcd	30.49±0.88ab
	F3	6 893.62±129.05ef	1.28±0.02bc	6.38±0.12b	13.41±0.58bc	47.08±2.85cde	29.68±1.37ab
W2	F1	8 354.41±142.35de	1.32±0.02b	14.85±0.25a	11.65±0.57de	44.12±2.35e	28.68±2.13bc
	F2	9 905.22±168.98a	1.57±0.03a	12.23±0.21b	14.56±0.12a	52.98±0.71a	31.94±1.35a
	F3	10 114.12±471.98a	1.60±0.07a	9.36±0.43d	13.74±0.44abc	50.03±0.86abc	31.27±0.6a
W3	F1	8 408.12±551.59cd	1.17±0.08d	14.94±0.98a	10.02±0.68f	46.11±1.6de	28.67±0.48bc
	F2	9 069.63±294.51b	1.26±0.04bc	11.19±0.36c	14±0.57ab	50.42±1.1ab	31.7±0.42a
	F3	9 278.53±242.1b	1.29±0.03bc	8.59±0.22de	13.33±0.93bc	49.41±1.03bc	31.33±1.18a
CK	CK	8 878.14±141.18bc	1.15±0.01d	7.8±0.13e	13.2±0.84bc	47.93±1.98bcd	29.8±1.92ab
显著性分析 ( $P$ 值检验)							
$W$		<0.05	<0.01	>0.05	<0.05	<0.05	<0.05
$F$		>0.05	>0.05	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
$W\times F$		<0.01	<0.01	<0.01	>0.05	>0.05	>0.05

注  $P<0.05$  表示水平差异显著， $P<0.01$  表示水平差异极显著，下同。

W2、W3 处理下产量与  $IWUE$  均表现为 F3 处理 > F2 处理 > F1 处理；W1 处理下产量与  $IWUE$  表现为 F2 处理 > F3 处理 > F1 处理；单果质量、骏枣纵横径在同一灌水处理下，均表现为 F2 处理 > F3 处理 > F1 处理。产量在 F1 处理下表现为 W3 处理 > W2 处理 >

W1 处理；在 F2、F3 处理下表现为 W2 处理 > W3 处理 > W1 处理。 $IWUE$  在 F1、F2 处理下表现为 W2 处理 > W1 处理 > W3 处理；在 F3 处理下表现为 W2 处理 > W3 处理 > W1 处理。单果质量、骏枣纵横径在 F2 处理下均表现为 W2 处理 > W3 处理 > W1 处理，

单果质量在 F1、F3 处理下表现为 W2 处理>W1 处理>W3 处理。以上结果表明, 灌水量是作物产量的基本保证, 在 W2、W3 水平下, 作物产量随施肥量的提高而增加, 在同一施肥水平下, 过高或过低的灌水量抑制骏枣产量、单果质量和骏枣纵横径, W1 处理与 F1 处理产量、单果质量和骏枣纵横径相比其他处理极大减少, 适宜的水肥配比能进一步提高产量和品质。PFP 除 W1F3 处理略低于 CK 外, 其余处理与 IWUE 所有处理皆大于 CK。在同一灌水水平下, PFP 表现为随施肥量提高而递减。

## 2.2 水肥对比对滴灌骏枣等级比例的影响

将骏枣根据长径分成 5 个等级, 其中优级果包括特级果、一级果, 劣级果包括三级、四级果<sup>[20]</sup>。由表 4 可知, 灌水和施肥对骏枣等级比例的影响均达到显

著水平 ( $P<0.05$ ), 水肥交互作用对骏枣等级比例除四级果率外均达到极显著水平 ( $P<0.01$ ); 对四级果率达到显著水平 ( $P<0.05$ )。W2F2 处理优级果率 (38.19%) 最高; 劣级果率 (14.22%) 最低, 其特级果率、一级果率与 CK 均具有显著性差异, 较 CK 分别增加 95.58%、59.58%; 其三级果率和四级果率与 CK 均具有显著性差异, 较 CK 分别减少 65.65%、71.09%。W3F1 处理劣级果率 (60.82%) 最高; 优级果率 (11.11%) 最低, 其三级果率和四级果率与 CK 均具有显著性差异, 较 CK 分别增加 56.45%、36.43%; 其特级果率、一级果率与 CK 均具有显著性差异, 较 CK 分别减少 55.37%、50.36%。W1F2 处理二级果率最高, 与 W2F2 处理和 CK 均具有显著性差异, 较 W2F2 处理、CK 分别增加 6.14%、37.82%。

表 4 不同水肥配比较骏枣等级比例

Table 4 Different water and fertilizer ratios drip irrigation Junzao grade ratio

灌水处理	施肥处理	特级果率/%	一级果率/%	二级果率/%	三级果率/%	四级果率/%
W1	F1	3.25±0.08f	14.76±0.44f	31.35±0.79f	34.97±0.1b	15.67±0.33b
	F2	4.16±0.32e	14.86±0.55f	50.51±0.62a	24.81±0.14f	5.66±0.33h
	F3	3.44±0.25f	19.95±0.88d	43.59±0.9c	24.47±0.27f	8.55±0.26g
W2	F1	2.42±0.38g	14.1±0.49f	39.31±0.42e	29.64±0.13c	14.54±0.16c
	F2	9.29±0.96a	28.9±0.74a	47.59±1.02b	10.56±0.31h	3.66±0.09j
	F3	7.58±0.1b	28.09±0.75a	42.01±0.63d	18.1±0.14g	4.22±0.04y
W3	F1	2.12±0.2g	8.99±0.46g	28.07±0.93y	43.54±0.23a	17.28±0.27a
	F2	6.61±0.08c	26.43±0.35b	32.98±0.02h	24.59±0.2f	9.39±0.24f
	F3	5.11±0.11d	24.03±0.1c	33.21±0.29h	27.03±0.15e	10.62±0.26e
CK	CK	4.75±0.1de	18.11±0.15e	36.65±0.34g	27.83±0.17d	12.66±0.26d
显著性分析 ( $P$ 值检验)						
W		<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
F		<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
W×F		<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.05

对于灌水量水平, 除 W1 处理的一级果率和 W3 处理二级果率外, 其他处理的特级果率、一级果率、二级果率在同一灌水水平中均表现为 F2 处理>F3 处理>F1 处理; 在同一灌水水平中, 劣级果率除 W1 处理的三级果率外, 均呈 F1 处理>F3 处理>F2 处理。对于施肥量水平, 在同一施肥水平中, 劣级果率呈现为 W3 处理>W1 处理>W2 处理。优级果率在 F1 处理中, 呈现为 W1 处理>W2 处理>W3 处理; 在 F2、F3 处理中, 呈现为 W2 处理>W3 处理>W1 处理。W1 特级果率均小于 CK。

## 2.3 滴灌骏枣水肥配比模型优化

如表 5 所示, 建立的二元二次回归方程以不同水肥配比作为自变量, 以骏枣指标作为因变量。通过

MATLAB 软件运算, 其中灌水量、施肥量的下限分别为 W1、F1 处理, 灌水施肥的上限为 CK 的灌水、施肥量, 得出回归方程的极值, 及其所对应的灌水、施肥量。通过分析可知, 不同水肥对比对各骏枣指标达到极显著水平 ( $P<0.01$ ), 决定系数大于 0.80。其中在满足  $Y_{1-4}$  方程最大值时对应的灌水、施肥量接近, 而其他方程满足最大值对应的灌水、施肥量与上述方程相差较大。即不同指标无法同时达到最大, PFP、二~四级果率、单果质量、骏枣纵横径与其他指标适宜的水肥区间具有一定差异, 因此不单独列出回归方程, 在综合评价中只考虑产量、IWUE、特级果率和一级果率。

表 5 不同水肥配比投入与产量, 等级指标的回归模型

Table 5 Regression model of input and yield and grade index of different water and fertilizer ratios

输出变量	回归方程	W	F	Y	R <sup>2</sup>	P
产量	$Y_1 = -63\ 032.408\ 37 + 210.880\ 08W + 3.856\ 49F - 0.165\ 28W^2 - 5.48 \times 10^{-3}F^2 + 1.141 \times 10^{-2}WF$	674.3	1\ 053.9	1\ 010.1	0.9	<0.01
灌溉水分利用效	$Y_2 = -8.356\ 38 + 3.301\ 6 \times 10^{-2}W + 6.548\ 2 \times 10^{-4}F - 2.510\ 04 \times 10^{-5}W^2 - 8.503\ 29 \times 10^{-7}F^2 + 1.691\ 12 \times 10^{-6}WF$	635	1\ 016.5	1.55	0.84	<0.01
特级果率	$Y_3 = -99.013\ 19 + 0.266\ 78W - 4.459 \times 10^{-2}F - 2.316\ 73 \times 10^{-4}W^2 - 3.872\ 12 \times 10^{-5}F^2 + 3.929 \times 10^{-5}WF$	652.68	906.95	8.27	0.8	<0.01
一级果率	$Y_4 = -300.701\ 95 + 0.868\ 33W + 0.098\ 71F - 7.354\ 62 \times 10^{-4}W^2 - 9.626\ 02 \times 10^{-5}F^2 + 9.203\ 88 \times 10^{-5}WF$	650.69	964.7	29.42	0.84	<0.01

注 表中 Y 对应的数值分别为回归方程计算得出极值, W 和 F 分别为 Y 对应的灌水 (W)、施肥 (F) 量。

通过将本试验实际骏枣水肥数据与骏枣产量、骏枣等级比例建立的数学模型，求得预测值并进行相关性分析，对比实测值与预测值的拟合程度（表 6）。从表 6 可以看出，产量和等级比例的实测值与预测值相关性良好，*NRMSE* 值在 20% 之内（良好），决定系数  $R^2$  在 0.889 以上。

表 6 模型预测值与实测的骏枣产量及等级比例对比

Table 6 Comparison of the predicted value of the model with the measured yield and grade ratio of Junzao

指标	<i>RMSE</i>	<i>NRMSE</i> /%	$R^2$	<i>P</i>
产量/(kg hm <sup>-2</sup> )	17.78	21	0.952	<0.01
灌溉水分利用效率/(kg m <sup>-3</sup> )	0.004	26.17	0.917	<0.01
特级果率/%	0.05	9.71	0.889	<0.01
一级果率/%	0.02	11.11	0.914	<0.01

为了进行直接比较，将骏枣指标归一化处理，即各处理值与其极值之比，得出灌水施肥量与相对产量、相对灌溉水分利用效率、相对特级果率和相对一级果率的关系图。图 2 为不同水肥处理的骏枣相对产量、

相对水分利用效率和果品率。图中白色区域为最大值，灰色区域为最小值，在相对值 0.9 以上可接受区域骏枣指标出现重合区域，本试验进行数据分析时将该重合区域作为合理的可接受范围。

根据参数估计的似然函数组合方法，共有加法组合方式  $C_1$ 、乘法组合方式  $C_2$  和均方组合方式  $C_3$ ，用 3 种组合方式对产量、灌溉水分利用效率、特级果率和一级果率重合区域进行计算，求出 3 种组合最优灌水施肥值，以  $C_1$ 、 $C_2$ 、 $C_3$  中灌水施肥值的极值作为最优灌水施肥区间。

$$C_1 = \frac{\sum_{i=1}^K Y_i}{K}, \quad (5)$$

$$C_2 = \prod_{i=1}^K Y_i, \quad (6)$$

$$C_3 = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^K \frac{1}{K} Y_i^2\right)}, \quad (7)$$

式中： $Y_i$  为相对产量、相对灌溉水分利用效率、相对特级果率和相对一级果率； $K$  为目标个数。

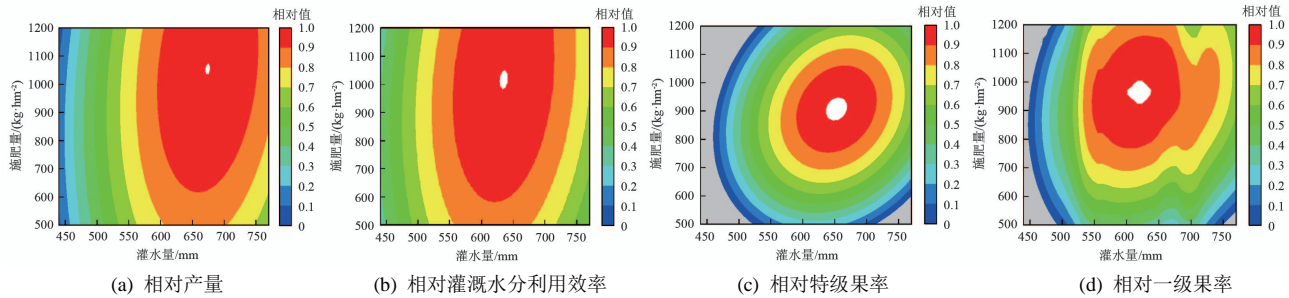


图 2 不同水肥处理的骏枣相对产量、相对水分利用效率和果品率

Fig.2 Relative yield, relative water use efficiency and fruit rate of Junzao under different water and fertilizer treatments

表 7 中，产量、灌溉水分利用效率、特级果率和一级果率，皆达到重合区域，最佳水肥配比区间分别为 639.21~642.85 mm 和 842.36~864.04 kg/m<sup>2</sup>，其中，N 为 374.38~384.02 kg/hm<sup>2</sup>，P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 为 187.19~192.01 kg/m<sup>2</sup>，K<sub>2</sub>O 为 280.79~288.02 kg/m<sup>2</sup>。

表 7 不同组合及其所需灌水量和施肥量

Table 7 Different combinations and their corresponding irrigation and fertilizer amounts

组合	灌水量/mm	施肥量/(kg hm <sup>-2</sup> )	产量/(kg hm <sup>-2</sup> )	灌溉水分利用效率/(kg m <sup>-3</sup> )	特级果率/%	一级果率/%
$C_1$	642.13	858.75	9 603.08	1.48	7.79	27.85
$C_2$	639.21	842.36	9 587.34	1.46	7.57	27.49
$C_3$	642.85	864.04	9 608.13	1.48	7.80	27.87

### 3 讨论

滴灌下的施肥方法关键在于“以水促肥、以肥调水”，合理的灌水施肥量能在提高作物产量的同时有利于品质的提高，达到节水节肥的作用，使作物经济效益更高<sup>[21,24]</sup>。本试验条件下，不同灌水施肥量对骏枣的产量和品质影响不同，适宜的水肥配比能进一步

提高产量和品质。胡安焱等<sup>[17]</sup>认为，适宜水肥配比情况下，红枣产量受水肥交互作用影响明显增加，这与本研究结论相同。在骏枣生长前期，适宜的水分起到充分运移氮素至骏枣根部合理位置作用，而氮素可以促进骏枣对水分的吸收。扁青永等<sup>[19]</sup>在常年漫灌枣地改滴灌条件下的试验得出，改用滴灌方式下灌水为 820 mm，氮（N）、磷（P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>）、钾（K<sub>2</sub>O）肥施肥量分别为 200、100、150 kg/hm<sup>2</sup> 时红枣产量最高，本文在 W2F2 处理下产量更高，滴灌与漫灌相比，能让水肥集中在枣树根部，提高枣树对养分的吸收，采取漫灌改为滴灌的枣树与滴灌枣树需水需肥量存在差异。南疆骏枣种植区域多为沙壤土，高灌水量会导致氮素淋失，影响骏枣吸收养分<sup>[25]</sup>。本试验结果认为，在灌水量一致情况下，施肥量的增加在提高产量的同时 *FPF* 显著降低。高施氮量导致骏枣果树新梢和枣吊徒长，导致坐果率降低，最终影响产量、单果质量和纵横径<sup>[26]</sup>。在本试验中，灌水对骏枣产量的影响达到差异显著性水平，水肥耦合作用对骏枣产量的影响达到极显著水平，这与扁青永等<sup>[20]</sup>的研究结果相同。不同水肥条件对红枣的产量表现不同，适当增加灌水

量有利提高红枣产量、单果质量和纵横径,但过高的水肥使用量会减少红枣产量、单果质量和纵横径<sup>[27-28]</sup>。本试验中水肥交互作用对骏枣产量、*IWUE*、*FPF* 影响具有极显著差异,这与多位学者研究结果一致<sup>[17-19]</sup>。

低水低肥,高水高肥等不合理的水肥供应策略容易出现骏枣低等级果占比过高,导致骏枣商品性过低,最终影响骏枣的品质。胡家帅等<sup>[12]</sup>研究得出,灌水量的增加使红枣等级果率呈波动性变化,可能是不同试验地点和处理(灌水单因素)的差异性导致对骏枣各等级果率的影响不同。在骏枣幼果膨大期前灌水充足,施肥量不足情况下会导致贪青,骏枣生长前期缺少钾、钙等元素,果皮厚度和韧性差;施肥量过高情况下,生长后期过量的钾肥会导致骏枣裂果情况的出现。本试验中 W2F3 处理和 W3F3 处理产量分别高于 W2F2 处理与 W3F2 处理,但整体等级比例却相反,这与付诗宁等<sup>[29]</sup>研究相似。当灌水量和施肥量不断增加情况下,骏枣出现徒长情况<sup>[21]</sup>,造成大量开花结果,导致生育后期果实养分跟不上,果实不饱满,从而等级比例降低。在满足高产的条件下,高施肥不利于果品等级的进一步提高,合理的水肥配比是提高骏枣商品性的关键因素,在追求产量的同时,提高骏枣商品性对骏枣产品竞争力起到关键作用。

水肥耦合在滴灌条件下存在阈值反应,达到阈值之前,增加水肥投入具有增产,提质增效的作用;高于阈值,将导致作物减产,品质降低<sup>[30]</sup>。多位学者<sup>[31-33]</sup>通过建立灌水肥料投入与作物指标回归方程,将目标函数进行归一化处理,运用空间方法,分别在 80%、85%和 95%的重叠区域寻求最佳灌水施肥区间,对提高作物水肥管理水平具有很好的作用。王振华等<sup>[18]</sup>通过数学模型分析认为滴灌红枣适宜的水肥投入范围分别为 651~806 mm 和 708~810 kg/hm<sup>2</sup>,其中 N (311~345 kg/hm<sup>2</sup>), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (156~178 kg/hm<sup>2</sup>), K<sub>2</sub>O (233~267 kg/hm<sup>2</sup>), 与本试验在 90%的重合区域得出最佳灌水施肥区间研究结论相似,表明适宜的灌水施肥区间,在达到高产高效的同时,能够起到节水节肥的作用。本试验研究结论能为和田地区滴灌骏枣的适宜水肥配比提供借鉴。本研究只进行了 1 a 的试验,在后续的研究中可结合其他品质指标,进一步完善。

#### 4 结论

1) 本试验条件下 W2F3 处理骏枣产量(10 114.12 kg/hm<sup>2</sup>)与 *IWUE* (1.6 kg/m<sup>3</sup>) 最高; W3F1 处理 *FPF* (14.94 kg/kg) 最优; W2F2 处理单果质量(14.56 g)、纵径(52.98 mm)、横径(31.94 mm) 最优; W2F2 处理优级果率(38.19%) 最高。

2) 施肥量一致,低灌水量条件下,产量、单果

质量、骏枣纵横径极大程度降低。灌水量一致情况下,施肥量过低,骏枣果品等级极大程度降低。适宜的水肥投入,是提高产量、果品等级、品质的关键。

3) 通过建立不同水肥配比与产量、骏枣等级的数学模型,结合骏枣提质增效目标综合考虑,得出和田滴灌骏枣适宜的水肥配比区间为 639.21~642.85 mm 和 842.36~864.04 kg/hm<sup>2</sup>,其中 N (374.38~384.02 kg/hm<sup>2</sup>), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (187.19~192.01 kg/hm<sup>2</sup>), K<sub>2</sub>O (280.79~288.02 kg/hm<sup>2</sup>)。

(作者声明本文无实际或潜在的利益冲突)

#### 参考文献:

- [1] 刘孟军, 汪民. 中国枣种质资源[M]. 北京: 中国林业出版社, 2009. LIU Mengjun, WANG Min. Germplasm resources of Chinese jujube[M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2009.
- [2] GAO Zhiyong, WANG Xing. Spatial variability of leaf wetness under different soil water conditions in rainfed jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.) in the loess hilly region, China[J]. Journal of Arid Land, 2022, 14(1): 70-81.
- [3] 江立. 生物炭与氮肥配比对土壤微生物特性和红枣产量的影响[J]. 灌溉排水学报, 2020, 39(9): 81-86. JIANG Li. The combination of biochar addition and nitrogen fertilizer application affects soil microbial community and functions and jujube yield[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2020, 39(9): 81-86.
- [4] 张波, 吕廷波, 赵秀杰, 等. 干旱绿洲区骏枣作物系数及灌溉制度[J]. 西南农业学报, 2021, 34(11): 2 356-2 363. ZHANG Bo, LYU Tingbo, ZHAO Xiujie, et al. Crop coefficient and irrigation system of jujube in arid oasis area[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2021, 34(11): 2 356-2 363.
- [5] LI Zhaoyang, ZONG Rui, WANG Tianyu, et al. Adapting root distribution and improving water use efficiency via drip irrigation in a jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.) orchard after long-term flood irrigation[J]. Agriculture, 2021, 11(12): 1 184.
- [6] YE Shenglan, LIU Tiancheng, NIUYan. Effects of organic fertilizer on water use, photosynthetic characteristics, and fruit quality of pear jujube in Northern Shaanxi[J]. Open Chemistry, 2020, 18(1): 537-545.
- [7] DONG Xiaochang, TANG Haixia, ZHANG Qionget, et al. Transcriptomic analyses provide new insights into jujube fruit quality affected by water deficit stress[J]. Scientia Horticulturae, 2022, 291: 110 558.
- [8] 马军勇, 郑国玉, 周建伟, 等. 不同灌水下限对灰枣树生长及水分利用效率的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2020, 38(2): 58-61, 92. MA Junyong, ZHENG Guoyu, ZHOU Jianwei, et al. Effects of different irrigation thresholds on the growth and water use efficiency of jujube trees[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2020, 38(2): 58-61, 92.
- [9] 焦炳忠, 孙兆军, EL-SAWY S M, 等. 基于土壤水分下限的灵武长枣微孔渗灌灌溉制度研究[J]. 农业机械学报, 2020, 51(5): 305-314. JIAO Bingzhong, SUN Zhaojun, EL-SAWY S M, et al. Irrigation schedule of microporous infiltration irrigation for Lingwu jujube based on lower limit of soil moisture[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020, 51(5): 305-314.
- [10] LIU Zhipeng, ZHU Chengli, WU Shuyu, et al. Effects of regulated deficit irrigation on soil salinity, physiological processes and fruit quality of gray jujube under desert conditions[J]. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 2019, 12(3): 52-59.
- [11] 王娟, 马英杰, 洪明, 等. 调亏灌溉对滴灌红枣生长与品质的影响[J]. 灌溉排水学报, 2014, 33(3): 126-129. WANG Juan, MA Yingjie, HONG Ming, et al. The effects of regulated deficit irrigation on drip irrigation red jujube growth and quality[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2014, 33(3): 126-129.

- [12] 胡家帅, 王振华, 郑旭荣. 灌水对滴灌红枣产量、品质及水分利用的影响[J]. 排灌机械工程学报, 2016, 34(12): 1 086-1 092.  
HU Jiashuai, WANG Zhenhua, ZHENG Xurong. Effects of different irrigation treatments on drip irrigation red jujube's yield, quality and water use efficiency[J]. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering, 2016, 34(12): 1 086-1 092.
- [13] 张波, 吕廷波, 赵秀杰, 等. 不同灌溉定额对滴灌骏枣生长的影响[J]. 水土保持学报, 2021, 35(6): 168-174, 182.  
ZHANG Bo, LYU Tingbo, ZHAO Xiujie, et al. Effects of different irrigation quotas on the growth of red jujube under drip irrigation[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2021, 35(6): 168-174, 182.
- [14] 张计峰, 耿庆龙, 曹文超, 等. 氮肥品种与施氮量对滴灌红枣光合特性和产量的影响[J]. 农业工程学报, 2020, 36(7): 92-98.  
ZHANG Jifeng, GENG Qinglong, CAO Wenchao, et al. Effects of type and amount of nitrogen fertilizer on photosynthetic characteristics and yield of jujube under drip irrigation[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2020, 36(7): 92-98.
- [15] 张亚鸽, 吴正保, 史彦江, 等. 不同施肥处理对骏枣光合特性及产量的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2015, 33(6): 83-87.  
ZHANG Yage, WU Zhengbao, SHI Yanjiang, et al. Effects of different fertilization treatments on photosynthetic characteristics and yield of Jun jujube[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2015, 33(6): 83-87.
- [16] 徐福利, 王渭玲, 叶胜兰. 山地滴灌下矮化密植枣树氮磷钾施肥效应模式研究[J]. 灌溉排水学报, 2015, 34(3): 40-43.  
XU Fuli, WANG Weiling, YE Shenglan. Fertilizer efficiency and fertilizer mode of N, P, K for drarf close planting Chinese jujube under drip irrigation in mountainous region[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2015, 34(3): 40-43.
- [17] 胡安焱, 董新光, 魏光辉, 等. 滴灌条件下水肥耦合对干旱区红枣产量的影响[J]. 灌溉排水学报, 2010, 29(6): 60-63.  
HU Anyan, DONG Xinguang, WEI Guanghui, et al. Coupling effects of water and fertilizer on yield of Chinese jujube under drip irrigation in the arid area[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2010, 29(6): 60-63.
- [18] 宋亚伟, 陈虹, 胡安鸿. 不同坐果时间骏枣商品果率和果实品质的比较[J]. 经济林研究, 2019, 37(4): 210-213.  
SONG Yawei, CHEN Hong, HU Anhong. Comparisons of fruit commodity rate and fruit quality of Junzao jujube between different fruiting periods[J]. Non-Wood Forest Research, 2019, 37(4): 210-213.
- [19] 扁青永, 王振华, 胡家帅, 等. 水肥供应对南疆沙区滴灌红枣生理、生长及产量的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2018, 36(4): 165-171.  
BIAN Qingyong, WANG Zhenhua, HU Jiashuai, et al. Effects of water and fertilizer supply on physiology, growth and yield of drip-irrigation jujube in the Southern Xinjiang sandy area[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2018, 36(4): 165-171.
- [20] 扁青永, 王振华, 胡家帅, 等. 水肥耦合对南疆沙区滴灌红枣光合特性及产量的影响[J]. 西北农业学报, 2018, 27(5): 707-715.  
BIAN Qingyong, WANG Zhenhua, HU Jiashuai, et al. Effects of water and fertilizer coupling on photosynthetic characteristics, growth and yield of red jujube under drip irrigation condition[J]. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica, 2018, 27(5): 707-715.
- [21] 王振华, 扁青永, 李文昊, 等. 南疆沙区成龄红枣水肥一体化滴灌的水肥适宜用量[J]. 农业工程学报, 2018, 34(11): 96-104.  
WANG Zhenhua, BIAN Qingyong, LI Wenhao, et al. Suitable water and fertilizer amount for mature jujube with drip-irrigation under fertigation in Southern Xinjiang sandy area[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2018, 34(11): 96-104.
- [22] 吴明清, 李传峰, 罗华平, 等. 不同等级新疆骏枣物理特征及其对分级结果的影响[J]. 农业机械学报, 2018, 49(8): 324-330.  
WU Mingqing, LI Chuanfeng, LUO Huaping, et al. Physical characteristics of red jujube in different grades and its influence on classification results[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018, 49(8): 324-330.
- [23] WU Yang, ZHAO Zhi, WANG Wei, et al. Yield and growth of mature pear trees under water deficit during slow fruit growth stages in sparse planting orchard[J]. Scientia Horticulturae, 2013, 164: 189-195.
- [24] 刘小刚, 孙光照, 彭有亮, 等. 水肥耦合对芒果光合特性和产量及水肥利用的影响[J]. 农业工程学报, 2019, 35(16): 125-133.  
LIU Xiaogang, SUN Guangzhao, PENG Youliang, et al. Effect of water-fertilizer coupling on photosynthetic characteristics, fruit yield, water and fertilizer use of mango[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2019, 35(16): 125-133.
- [25] 付彦博, 王成福, 黄建, 等. 水肥交互对红枣产量及生理状况的影响[J]. 新疆农业科学, 2017, 54(1): 66-75.  
FU Yanbo, WANG Chengfu, HUANG Jian, et al. Interaction effects of water and fertilizer on the yield and physiological condition of Zizyphus Jujube[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2017, 54(1): 66-75.
- [26] 王振华, 陈潇洁, 吕德生, 等. 水肥耦合对加气滴灌加工番茄产量及品质的影响[J]. 农业工程学报, 2020, 36(19): 66-75.  
WANG Zhenhua, CHEN Xiaojie, LYU Desheng, et al. Effects of water and fertilizer coupling on the yield and quality of processing tomato under aerated drip irrigation[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2020, 36(19): 66-75.
- [27] 叶胜兰, 刘天成. 不同滴灌制度对陕北山地梨枣产量及水分利用效率的影响[J]. 灌溉排水学报, 2018, 37(1): 28-34.  
YE Shenglan, LIU Tiancheng. Effects of different drip irrigation systems on yield and water use efficiency of pear-jujube in the loess plateau[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2018, 37(1): 28-34.
- [28] 任玉忠, 王水献, 谢蕾, 等. 干旱区不同灌溉方式对枣树水分利用效率和果实品质的影响[J]. 农业工程学报, 2012, 28(22): 95-102.  
REN Yuzhong, WANG Shuixian, XIE Lei, et al. Effects of irrigation methods on water use efficiency and fruit quality of jujube in arid area[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(22): 95-102.
- [29] 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.
- [30] 王振华, 权丽双, 郑旭荣, 等. 水氮耦合对滴灌复播油葵氮素吸收与土壤硝态氮的影响[J]. 农业机械学报, 2016, 47(10): 91-100.  
WANG Zhenhua, QUAN Lishuang, ZHENG Xurong, et al. Effects of water-nitrogen coupling on nitrogen uptake and nitrate accumulation in soil of oil sunflower in drip-irrigated multiple cropping system[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(10): 91-100.
- [31] 岳文俊, 张富仓, 李志军, 等. 水氮耦合对甜瓜氮素吸收与土壤硝态氮累积的影响[J]. 农业机械学报, 2015, 46(2): 88-96, 119.  
YUE Wenjun, ZHANG Fucang, LI Zhijun, et al. Effects of water and nitrogen coupling on nitrogen uptake of muskmelon and nitrate accumulation in soil[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(2): 88-96, 119.
- [32] 邢英英, 张富仓, 吴立峰, 等. 基于番茄产量品质水肥利用效率确定适宜滴灌灌水施肥量[J]. 农业工程学报, 2015, 31(S1): 110-121.  
XING Yingying, ZHANG Fucang, WU Lifeng, et al. Determination of optimal amount of irrigation and fertilizer under drip fertigated system based on tomato yield, quality, water and fertilizer use efficiency[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2015, 31(S1): 110-121.
- [33] THOMPSON T L, DOERGE T A, GODIN R E. Nitrogen and water interactions in subsurface drip-irrigated cauliflower II. agronomic, economic, and environmental outcomes[J]. Soil Science Society of America Journal, 2000, 64(1): 412-418.

spatiotemporal variation at large scales is essential for improving agricultural management but challenging. This paper aims to investigate the application of airborne technologies for inversely estimating the spatiotemporal change in nitrogen and water in saline soils. **【Method】** The research area is located in southern Xinjiang. Remote sensing images were used to analyze the spectral characteristics of saline soils with different water, nitrogen, and salt contents. Inversion models for estimating water, nitrogen and salt contents were developed, using partial least squares regression (PLSR), support vector regression (SVR), and BP neural network (BPNN), respectively. The accuracy of each model was evaluated against ground-truth data. **【Result】** The characteristic bands of soil water are around 1 900 nm, the characteristic bands of soil nitrogen are between 1 490~1 506, 1 540~2 006, 2 011~2 500 nm, and the characteristic bands of soil salt are between 1 880~1 883 and 1 890~1 942 nm. The PLSR model has the best inversion effect on water, nitrogen and salt, followed by BPNN model and SVR model. **【Conclusion】** The characteristic spectral bands around 1 900 nm were sensitive to changes in soil water, nitrogen, and salt content. The optimal inversion model for estimating soil water, nitrogen, and salt involved using the Savitzky-Golay method for smoothing, principal component analysis for dimensionality reduction, and partial least squares regression for developing the inverse model.

**Key words:** soil spectral characteristics; saline soils; inversion model; soil salinity; soil nitrogen content; soil moisture

责任编辑: 韩 洋

(上接第 51 页)

## The Combined Effect of Irrigation and Fertilization on

### Yield and Quality of Fruits of Chinese Date

ZHOU Xiaojie<sup>1,2</sup>, LYU Tingbo<sup>1,2\*</sup>, XING Meng<sup>1,2</sup>, SONG Renyou<sup>1,2</sup>, FU Xinfu<sup>1,2</sup>

(1. School of Water Conservancy and Construction Engineering, Shihezi University, Shihezi 832000, China;

2. Key Laboratory of Modern Water-saving Irrigation Corps, Shihezi 832000, China)

**Abstract:** **【Objective】** Jujube (Chinese date) is an important cash crop in southern Xinjiang but its production relies on irrigation and fertilization due to the limited rainfall in this region. This paper aims to investigate the combined effect of irrigation and fertilization on yield and quality of jujube fruits in attempts to find an optimal irrigation-fertilization combination for jujube production in this region. **【Method】** The field experiment was conducted in a 10-year-old orchard in the 224 Regiment of Kunyu City; it is a typical self-pressurized irrigation area in southern Xinjiang. The experiment had three irrigation treatments: irrigating 540 mm (W1), 630 mm (W2) and 720 mm (W2) of water. Each treatment had three fertilizations: 562.5 kg/hm<sup>2</sup> (F1), 810 kg/hm<sup>2</sup> (F2) and 1 080 kg/hm<sup>2</sup> (F3). The control was fertigation used by local growers: irrigating 770 mm of water and applying 1 125 kg/hm<sup>2</sup> of nitrogen fertilizer (CK). In each treatment, we measured fruit yield and quality. **【Result】** Irrigation amount affected irrigation water use efficiency (*IWUE*), single-fruit weight, transverse and longitudinal diameters and quality of the fruits, all at significant levels ( $P < 0.05$ ). Fertilization impacted fruit quality significantly with  $P < 0.05$ , fertilizer partial productivity (PPF), single fruit weight, transverse and longitudinal diameters of the fruits significantly with  $P < 0.01$ . The combined effect of irrigation and fertilization on yield, *IWUE*, PPF, and fruit quality was significant with  $P < 0.01$ . The highest yield and *IWUE* appeared in W2+F3, which differed significantly from those in CK ( $P < 0.05$ ). W2+F2 gave the best fruit quality-measured in single fruit weight, transverse and longitudinal diameters of the fruits. W2+F2 and W2+F3 did not show significant difference in fruit quality, except for the numbers of top-graded fruits. **【Conclusion】** An optimal combination of irrigation and fertilization can improve yield, appearance quality and grade ratio of the jujube fruits. Comprehensive analysis considering both fruit quality and water and fertilizer use efficiency indicated that the optimal irrigation and fertilization for the jujube was to irrigate 639.21~642.85 mm of water, and fertilize 374.38~384.02 kg/hm<sup>2</sup> of N, 87.19~192.01 kg/hm<sup>2</sup> of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, and 280.79~288.02 kg/hm<sup>2</sup> of K<sub>2</sub>O.

**Key words:** Junzao; drip irrigation; water and fertilizer ratio; yield; fruit grade; Junzao grade ratio

责任编辑: 赵宇龙