

周小杰, 吕廷波, 邢猛, 等. 水肥耦合对新疆滴灌骏枣生长生理及产量的影响[J]. 华中农业大学学报, 2023, 42(5): 195-205.  
DOI: 10.13300/j.cnki.hnlkxb.2023.05.022

## 水肥耦合对新疆滴灌骏枣生长生理及产量的影响

周小杰, 吕廷波, 邢猛, 宋仁友, 付鑫法

石河子大学水利建筑工程学院/现代节水灌溉兵团重点实验室, 石河子 832000

**摘要** 为探索适宜滴灌骏枣提质增效的水肥耦合方案, 以新疆典型自压灌区昆玉市224团10 a成龄骏枣为研究对象, 基于当地实践生产, 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)、化肥(F1, 562.5 kg/hm<sup>2</sup>; F2, 810 kg/hm<sup>2</sup>; F3, 1 080 kg/hm<sup>2</sup>)双因素三水平进行小区试验, 探索新疆滴灌骏枣的新梢、枣吊、光合特性及产量品质对水肥耦合的响应规律。结果显示: 灌水、施肥和水肥交互作用对叶片净光合速率( $P_n$ )、蒸腾速率( $T_r$ )、气孔导度( $G_s$ )、胞间CO<sub>2</sub>浓度( $C_i$ )、新梢和枣吊的影响均表现为灌水>施肥>水肥交互作用; 对产量、灌溉水分利用效率(IWUE)的影响均表现为水肥交互作用>灌水>施肥; 对肥料偏生产力(PFP)影响表现为水肥交互作用>施肥>灌水; 对单果质量、骏枣纵横径表现为施肥>灌水>水肥交互作用; 对果形指数影响表现为施肥>水肥交互作用>灌水。结果表明: W3F2处理的骏枣新梢、枣吊最优, W2F3处理的产量、IWUE最优, W2F2处理的 $P_n$ 、 $T_r$ 、 $G_s$ 、单果质量、骏枣纵横径、果形指数最优, W3F1处理的PFP最优。

**关键词** 水肥耦合; 滴灌; 骏枣; 水肥一体化; 矮化密植; 新梢; 枣吊; 光合作用

**中图分类号** S665.1 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2023)05-0195-11

红枣(*Ziziphus jujuba* Mill.)作为新疆特色林果, 是当地农业经济的重要收入来源之一, 2019年新疆红枣种植面积约为47.62万hm<sup>2</sup>, 产量372.76万t<sup>[1]</sup>。新疆红枣种植区临近沙漠, 降水少, 蒸发大, 主要为沙土或沙壤土, 保水保肥能力差, 水资源短缺与水肥施用模式粗放问题制约当地滴灌骏枣种植业的发展, 同时不合理的灌水施肥量导致水肥利用率降低, 严重制约了新疆红枣产量与品质的提升。

水肥在适宜的范围内, 对作物生长、产量具有促进作用, 通过水肥调控能够实现作物优质高产<sup>[2]</sup>。近年来, 国内外学者从单因素角度研究了滴灌条件下灌水量<sup>[3]</sup>或施肥量<sup>[4]</sup>对红枣的影响, 结果表明水肥单因素对红枣各项指标的影响具有一定的局限性。有关水肥耦合对红枣的影响方面, 不同学者提出新疆滴灌红枣适宜的灌溉制度<sup>[5-6]</sup>。王振华等<sup>[7]</sup>研究表明滴灌红枣适宜的水肥投入范围分别为灌水量651~806 mm和施肥量708~810 kg/hm<sup>2</sup>。

水分和养分是影响作物生长、光合特性以及产量的重要因素, 合理的灌水施肥量极大促进作物生长, 改善叶片光合特性, 从而提高作物产量和品质<sup>[8]</sup>。不同生育期作物对肥料需求不同, 在枣树生育期前期, 适宜水量和少量多次氮肥能有效地促进作物对氮素的吸收和利用, 避免作物“徒长”, 中后期有利于光合产物集中在收获器官, 在节约水资源的同时减少氮肥损失量及盈余量, 降低对环境的影响<sup>[9]</sup>; 在枣树中后期进行多次追施钾肥, 能够提高叶片光合特性, 提高淀粉合成过程中相关酶的活性, 增加淀粉积累量以及提升其转移速率, 从而提高产量、钾素利用率<sup>[10]</sup>。适宜的灌水量、合理的分期追肥是骏枣优质高产的关键。

随着滴灌水肥一体化在南疆普及推广, 如何根据当地情况和枣树水肥需求规律选择适宜的灌水施肥量是保持水肥高效利用和维持产量品质稳定的关键。前人对骏枣生长及生理指标的观测主要选择单

收稿日期: 2022-11-26

基金项目: 新疆生产建设兵团新疆重点产业创新发展支撑计划项目(2022DB024); 新疆生产建设兵团节水灌溉试验计划项目(BTJSSY-202106)

周小杰, E-mail: 470493691@qq.com

通信作者: 吕廷波, E-mail: lvtingbo@126.com

一的生育期,对全生育期生长、生理指标观测试验较少。针对南疆骏枣水肥施用模式粗放等问题,本研究考察水肥耦合对骏枣全生育期生长、生理、产量与品质的响应规律,探索适宜南疆骏枣生长的最佳水肥管理模式,以期对矮化密植骏枣适宜的灌水施肥量提供借鉴。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

试验分别于2021年和2022年的4月至10月在新疆生产建设兵团第14师昆玉市224团7连(79°29' N, 37°35'E)开展。该地区海拔1 263.2 m,为暖温带极端干旱荒漠气候,多年平均气温、降水量、蒸发量分别为12.2 °C、33.4 mm、2 825 mm,最大冻土深度0.67 m。试验期内相对温度维持在6~30 °C,全年降雨稀少,主要集中在6月至8月,其中2021年出现极端降雨,6月17号当天降雨量达到53.1 mm,相对湿度范围为10%~88%,峰值出现在7月至8月期间。该地土壤质地为沙壤土,1.5 m土层内平均土壤干容重、pH分别为1.55 g/cm<sup>3</sup>和8.16,平均地下水埋深3 m。灌溉用水每次灌水前取样检测,平均pH为6.91。土壤有机质含量6.83 g/kg,铵态氮含量0.45 mg/kg,速效磷含量13.76 mg/kg,有效钾含量

39.81 mg/kg。

### 1.2 田间试验设置

研究对象为新疆生产建设兵团第14师昆玉市224团成龄骏枣,枣树株行距1 m×4 m,枣树株高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,滴灌带采用一行两管布置模式,分别位于枣树两侧,距树干60 cm。滴灌带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

根据参考文献和农户种植骏枣经验,按照当地农艺管理,以常规滴灌施肥为对照组,其灌水量为770 mm,施肥量为1 125 kg/hm<sup>2</sup>,在滴灌条件下采用水、肥双因素3水平处理,灌溉定额分别为:540 mm(W1)、630 mm(W2)、720 mm(W3)。施用肥料为尿素(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 50%)。施肥量采用N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O=2:1:1.5的质量比,分别为562.5 kg/hm<sup>2</sup>(F1)、810 kg/hm<sup>2</sup>(F2)、1 080 kg/hm<sup>2</sup>(F3)。方案如表1所示。共9处理,3次重复,共计9个小区,小区长80 m,宽4 m,各处理、重复之间设置保护行。滴水后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<sup>[11]</sup>。

表1 试验方案

Table 1 Experimental design

滴灌处理 Irrigation treatments	灌水量/mm Irrigation capacity	肥处理 Fertilizer treatment	施氮量/(kg/hm <sup>2</sup> ) Nitrogen application amount	施磷量/(kg/hm <sup>2</sup> ) Amount of phosphorus applied	施钾量/(kg/hm <sup>2</sup> ) Amount of potassium applied
W1	540	F1	240	120	202.5
		F2	360	180	270.0
		F3	480	240	360.0
W2	630	F1	240	120	202.5
		F2	360	180	270.0
		F3	480	240	360.0
W3	720	F1	240	120	202.5
		F2	360	180	270.0
		F3	480	240	360.0
CK	770	CK	495	255	375.0

### 1.4 测定项目与方法

试验前测定土壤基础理化性质和测量树体株高、干周和冠幅。

1) 枣树生长指标测定。在枣树不同生育期进行

生长状况的测定。在枣树萌芽展叶前每个处理选取3棵长势均匀枣树,分别在新梢和枣吊生长初期,在枣树树冠中上部表面,选择无病虫害,生长正常的新梢和枣吊,在东、西、南、北4个方向各选1支新梢与

表2 骏枣全生育期灌水施肥量

Table 2 Amount of irrigation and fertilization in the whole growth period of Jun jujube

生育阶段 Growth stage	时期(月-日) Time (Month-day)	水处理/mm Irrigation treatment				肥处理/(kg/hm <sup>2</sup> ) Fertilizer treatment				灌水施肥次数 Irrigation and fertilization
		W1	W2	W3	CK	F1	F2	F3	CK	
新梢萌芽期 Germination-new shoots stage	04/15—05/30	175	204	233	250	180	270	360	371	3
花果期 Flower stage	05/31—07/15	155	181	207	220	146.5	213	284	296	3
果实膨大期 Fruit growth stage	07/16—08/15	109	127	145	156	125	173	231	242	2
白熟期 White-mature stage	08/16—09/15	101	118	135	144	111	154	206	216	2
完熟期 Full-ripe stage	09/15—10/15	0	0	0	0	0	0	0	0	0
全生育期 Full fertility period	04/15—10/15	540	630	720	770	562.5	810	1080	1125	10

枣吊做上标记,采用游标卡尺和卷尺定期监测<sup>[12]</sup>。

2) 枣树生理指标测定。叶片净光合速率( $P_n$ )、胞间 $CO_2$ 浓度( $C_i$ )、气孔导度( $G_s$ )和蒸腾速率( $T_r$ )等参数采用Li-6400便携式光合测定仪。自新梢萌芽期开始,测定时间为每生育期选取3 d全天晴朗无云天气,于10:00、12:00、14:00、16:00、18:00、20:00进行,在每棵树上东、西、南、北选取4片同一叶位、叶龄,进行测定,3次重复,取平均值<sup>[5]</sup>。

3) 枣树产量。在枣树进入收获期后,按照小区取样,各处理任意选取9棵树,分别称量每棵树的产量,将9棵树的平均值作为各个处理枣树的产量。计算灌溉水利用效率(irrigation water use efficiency, IWUE,单位为 $kg/m^3$ ),即用每个处理小区的总产量比总灌溉量;肥料偏生产力(fertilizer partial productivity, PFP,单位为 $kg/kg$ ),为每个处理小区的总产量比总施肥量<sup>[7]</sup>。

4) 枣树品质。单果质量:将骏枣称质量分级后,按照每棵枣树随机选取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径( $a$ )、横径( $b$ )<sup>[13]</sup>。果形指数( $L$ )计算公式为: $L = (a/b)$ 。

## 1.5 数据处理

采用Excel 2018和SPSS 25进行数据处理。

## 2 结果与分析

### 2.1 全生育期不同水肥配比对滴灌骏枣生长的影响

由表3可知,2 a数据皆表现为不同水肥处理下,

骏枣在萌芽期和花果期的梢径、梢长生长量分别占全生育期70.90%~76.35%与82.08%~88.17%,枣吊直径和长度生长量分别占全生育期83.22%~89.69%与80.28%~85.19%。由此可知,新梢萌芽期和花果期为骏枣新梢和枣吊生长的主要生育期,该时期对水肥的响应最强,随着生育期推进,新梢和枣吊生长量不断减少,骏枣坐果以后,新梢和枣吊生长速率减缓,此阶段光合产物集中于果实器官,白熟期后生长量近乎停止。

新梢为当年生发育枝,由主芽发育而成。在全生育期同一施肥水平下,新梢(梢径、梢长)和枣吊(枣吊直径和长度)梢生长量皆表现为 $W3 > W2 > W1$ 。在大部分生育期同一灌水水平下,新梢和枣吊生长量呈单峰曲线变化,且随着生育期的推进,最终新梢和枣吊累积生长量表现为 $F2 > F3 > F1$ 。在新梢萌芽期和花果期间,骏枣新梢和枣吊的增长量随着灌水量和施肥量的增加而增加。在整个骏枣生育期期间,新梢和枣吊的总生长量皆为 $W3F2$ 处理最高,皆与CK差异显著( $P < 0.05$ ),其中全生育期梢径总生长量 $W3F2$ 处理(19.85~19.86 mm)较CK处理(17.25~17.40 mm)增加14.14%~15.07%。梢长总生长量 $W3F2$ 处理(145.17~149.50 cm)较CK处理(128.00~138.66 cm)增加7.81%~13.41%。枣吊直径总生长量 $W2F3$ 处理(7.95~8.50 mm)较CK处理(6.70~7.05 mm)增加12.76%~28.16%。枣吊长度总生长量 $W2F3$ 处理(73.00~73.30 cm)较CK处理(66.50~65.16 mm)增加10.22%~12.03%。

表3 全生育期不同水肥配比对骏枣生长的影响

Table 3 Effects of different water and fertilizer ratios on the growth of Jun jujube in the whole growth period

指标 Index	处理 Treatment	2021					2022				
		新梢萌芽期 Germination- new shoots stage	花果期 Flower and fruit period	幼果 膨大期 Fruit growth	白熟期 White- mature stage	完熟期 Full- ripen stage	新梢萌芽期 Germination- new shoots stage	花果期 Flower and fruit period	幼果 膨大期 Fruit growth	白熟期 White- mature stage	完熟期 Full- ripen stage
新梢直径/ mm Shoot diameter	W1F1	5.85	3.83	1.74	1.14	0.11	5.16	4.55	1.90	1.02	0.14
	W1F2	6.02	4.14	2.06	1.49	0.21	5.82	4.79	2.19	1.08	0.25
	W1F3	5.67	4.06	2.05	1.17	0.15	5.50	4.57	2.02	1.05	0.24
	W2F1	6.91	4.63	2.08	1.28	0.30	6.88	5.21	2.26	1.21	0.27
	W2F2	7.00	4.89	2.09	1.29	0.35	7.62	5.59	2.60	1.43	0.43
	W2F3	7.38	4.59	2.51	1.63	0.43	7.32	5.33	2.33	1.27	0.34
	W3F1	7.04	5.46	2.26	1.52	0.38	7.46	5.87	2.41	1.55	0.42
	W3F2	7.49	5.99	2.41	1.62	0.58	7.86	6.63	2.92	1.81	0.61
	W3F3	7.89	6.28	2.81	2.14	0.72	7.63	5.96	2.48	1.79	0.48
F值 F value	CK	7.42	5.79	2.30	1.36	0.51	7.19	5.54	2.47	1.59	0.44
	W	4.88*	5.62*	0.76	1.29	3.87	4.97*	4.13*	0.78	1.67	3.40
	F	0.45	0.25	0.50	1.15	0.84	0.33	0.44	0.37	0.11	0.99
	W×F	0.08	0.1	0.05	0.04	0.14	0.01	0.05	0.01	0.02	0.05
新梢长度/ mm Shoot length	W1F1	71.66	23.33	10.00	3.00	2.16	73.00	26.00	11.00	2.33	1.33
	W1F2	81.00	26.00	13.66	4.83	2.33	82.00	28.00	12.00	3.33	2.66
	W1F3	74.00	24.00	15.66	3.00	1.83	76.66	28.00	11.33	2.83	2.00
	W2F1	84.66	23.33	10.00	3.16	2.16	82.33	26.33	12.00	3.33	3.16
	W2F2	89.00	27.66	14.33	3.83	3.00	84.66	32.00	12.00	4.16	2.83
	W2F3	86.33	24.66	10.66	3.20	2.90	87.66	26.33	11.00	3.50	2.66
	W3F1	92.00	26.66	13.00	3.66	2.83	90.33	29.00	9.33	4.33	2.33
	W3F2	91.00	30.33	16.66	4.50	2.66	93.00	33.66	14.66	4.83	3.33
	W3F3	91.66	24.33	18.33	4.83	3.00	87.00	32.66	14.00	4.50	2.83
F值 F value	CK	86.66	29.33	15.66	3.66	3.16	91.66	27.33	14.00	3.33	2.33
	W	12.32**	3.98*	1.59	1.32	1.00	5.49*	6.44*	0.13	2.30	1.31
	F	0.41	0.92	1.64	0.95	0.21	0.72	0.49	0.37	0.48	0.60
	W×F	0.49	0.10	0.32	0.34	0.38	0.43	0.10	0.30	0.02	0.36
枣吊直径/ mm Jujube hanging diameter	W1F1	3.56	0.88	0.31	0.18	0.10	3.38	1.13	0.30	0.30	0.14
	W1F2	4.13	1.16	0.45	0.21	0.13	4.35	1.28	0.33	0.22	0.14
	W1F3	3.92	1.07	0.32	0.18	0.10	4.26	1.10	0.45	0.21	0.13
	W2F1	4.48	1.00	0.36	0.20	0.14	4.49	0.95	0.44	0.37	0.12
	W2F2	4.59	1.24	0.53	0.33	0.17	4.55	1.02	0.48	0.37	0.21
	W2F3	4.44	1.10	0.31	0.23	0.11	4.47	1.15	0.47	0.25	0.10
	W3F1	5.53	1.13	0.45	0.23	0.13	5.06	1.14	0.39	0.17	0.13
	W3F2	5.82	1.36	0.75	0.46	0.18	5.16	1.53	0.81	0.26	0.18
	W3F3	5.42	1.23	0.62	0.32	0.18	4.71	0.72	0.86	0.68	0.29
F值 F value	CK	4.63	1.16	0.46	0.25	0.18	4.84	0.92	0.74	0.35	0.18
	W	9.95**	3.84*	1.68	1.17	0.99	3.72*	4.47*	5.46*	1.57	1.12
	F	0.37	0.44	1.11	0.97	0.46	0.48	2.20	2.46	1.11	0.67
	W×F	0.09	0.01	0.12	0.17	0.16	0.53	1.96	4.20	1.17	1.29
枣吊长度/ mm Jujube hanging length	W1F1	30.33	12.00	6.00	1.33	0.50	31.7	10.63	6.16	1.33	0.83
	W1F2	32.66	12.33	7.66	1.66	0.83	32.16	11.66	6.66	2.00	1.00
	W1F3	32.00	11.00	8.00	1.83	0.67	34.00	9.33	6.33	1.83	1.16
	W2F1	33.00	14.00	7.00	1.83	0.83	35.06	11.60	6.50	2.00	1.00

续表3 Continued Table 3

指标 Index	处理 Treatment	2021					2022				
		新梢萌芽期 Germination- new shoots stage	花果期 Flower and fruit period	幼果 膨大期 Fruit growth	白熟期 White- mature stage	完熟期 Full- ripen stage	新梢萌芽期 Germination- new shoots stage	花果期 Flower and fruit period	幼果 膨大期 Fruit growth	白熟期 White- mature stage	完熟期 Full- ripen stage
枣吊长度/ mm Jujube hanging length	W2F2	36.33	15.66	9.00	2.33	1.00	38.66	13.66	9.16	2.50	1.33
	W2F3	35.66	13.00	6.00	1.66	0.83	34.00	12.33	8.00	2.16	1.16
	W3F1	37.66	16.00	8.00	2.16	1.00	40.00	14.66	6.00	2.33	1.16
	W3F2	40.66	18.33	10.00	2.66	1.66	41.33	17.66	9.66	2.83	1.50
	W3F3	37.00	17.66	8.33	2.33	1.16	39.66	17.00	8.33	2.50	1.16
	CK	35.66	17.00	7.33	2.00	1.18	38.66	14.66	8.00	2.16	1.00
<i>F</i> 值	W	13.72**	4.46*	4.12*	1.16	4.11	6.66**	7.06**	5.42*	2.04	0.59
<i>F</i> value	<i>F</i>	2.51	0.43	1.65	0.55	1.73	0.41	0.85	2.30	0.89	0.59
	W×F	0.41	0.14	0.48	0.18	0.27	0.40	0.21	0.40	0.03	0.17

由以上分析可知,适宜的灌水施肥量,有助于滴灌骏枣新梢与枣吊的生长,两者对水肥的响应规律相同。2 a数据皆表现为灌水分别对新梢和枣吊在萌芽新梢期和花果期期间生长量影响达到显著( $P < 0.05$ )和极显著水平( $P < 0.01$ ),而施肥和水肥交互作用在此期间均未达到显著性水平( $P > 0.05$ )。这与新梢枣吊生长量主要集中在萌芽新梢期和花果期时期相呼应。灌水对枣吊长度在2021年果实膨大期生长量影响达到显著性水平( $P < 0.05$ ),可能是枣吊生长相对于新梢生长具有延后性,从花果期开始,养分从枣树新梢逐渐转移至枣吊,枣树共开3次花后才结束花果期,期间部分枣树已经进入果实膨大期。灌水、施肥和水肥交互作用在萌芽新梢期和花果期对新梢和枣吊影响均表现为灌水>施肥>水肥交互作用。

## 2.2 全生育期不同水肥比对滴灌骏枣光合作用的影响

由表4可知,2 a数据皆表现为 $P_n$ 、 $T_r$ 、 $G_s$ 各指标在全生育期累积值在F1施肥水平下呈现为W3>W2>W1,在F2、F3施肥水平下呈现为W2>W3>W1。在同一灌水水平下, $P_n$ 、 $T_r$ 、 $G_s$ 等指标在各生育期累积值呈现为F2>F1>F3,而CK处理下的 $P_n$ 、 $T_r$ 、 $G_s$ 均不是最优处理,而 $C_i$ 则与 $P_n$ 、 $T_r$ 、 $G_s$ 表现相反。 $P_n$ 、 $T_r$ 、 $G_s$ 各指标累计值最大值为W2F2处理,较CK处理分别增加18.75%~22.96%、19.49%~19.81%、20.81%~21.00%,与CK处理差异均显著( $P < 0.05$ )。由以上结果可知,低灌水量极大抑制光合作用,过高的灌水施肥量水肥会对光合作用产生抑制作用,适宜的水肥配比量是促进光合作用的基本因素。 $C_i$ 累积最大值为W1F1处理,较CK

处理增加15.80%~16.84%,与CK处理差异显著( $P < 0.05$ )。

$P_n$ 、 $T_r$ 、 $G_s$ 、 $C_i$ 各指标在果实膨大期平均值占全生育期的比例分别为24.69%~27.85%、24.74%~27.67%、23.38%~25.34%、21.05%~22.22%,在完熟期其值占全生育期的比例分别为8.84%~12.31%、12.74%~16.89%、12%~13.72%、17.27%~18.94%。从全生育期角度来看, $P_n$ 、 $T_r$ 、 $G_s$ 在各生育期平均值随生育期推进,呈现先增大后减小规律,果实膨大期变化最大,完熟期变化最小, $C_i$ 在各生育期变化相对不明显。果实膨大期为果实成熟需水关键期,且随光合有效辐射的提高,白天温度升高,使得叶片蒸腾量较大,对水和肥的需求量显著提升,完熟期停止灌水施肥,此时枣树光合作用降低,树叶逐渐枯萎掉落。 $P_n$ 、 $T_r$ 、 $G_s$ 在新梢萌芽期与花果期最大值为W3F2处理,且花果期W3F2较CK增加值均高于新梢萌芽期,分别为19.31%~20.06%、20.07%~22.99%、18.59%~18.69%,在果实膨大期至完熟期最大值为W2F2处理,且果实膨大期W3F2较CK增加值高于白熟期和完熟期,分别为28.71%~30.93%、27.81%~30.58%、26.98%~27.64%。全生育期 $P_n$ 、 $T_r$ 、 $G_s$ 各指标在W1F1处理均为最小值,较CK分别减少28.74%~49.55%、29.05%~38.24%、21.13%~34.48%。 $C_i$ 则与 $P_n$ 、 $T_r$ 、 $G_s$ 指标规律相反,最大值均为W1F1处理,较CK处理增加14.95%~20.85%,在新梢萌芽期与花果期最小值为W3F2处理,在膨大期至完熟期最小值为W2F2处理。 $P_n$ 、 $T_r$ 、 $G_s$ 在新梢萌芽期和花果期随灌水施肥量的增加而增加,在果实膨大期至完熟期随灌水施肥量,呈现先增加后减少趋势。 $P_n$ 、 $T_r$ 、 $G_s$ 、 $C_i$ 各指标存在一定联系,由于

其气孔限制因素,骏枣可以通过控制叶片的气孔开放程度来影响 $P_n$ 、 $T_r$ 值的变化,进而适应外界环境。

2 a数据皆表现为在全生育期灌水对 $P_n$ 、 $T_r$ 、 $G_s$ 、 $C_i$ 等指标影响达到显著( $P<0.05$ )或极显著水平( $P<0.01$ ),施肥对 $P_n$ 、 $T_r$ 、 $G_s$ 的影响除完熟期外

皆达到极显著水平( $P<0.01$ ),水肥交互对 $P_n$ 、 $T_r$ 在除完熟期外皆达到显著( $P<0.05$ )或极显著水平( $P<0.01$ ),对 $G_s$ 在花果期和果实膨大期影响达到显著( $P<0.05$ )或极显著水平( $P<0.01$ )。灌水、施肥和水肥交互作用对 $P_n$ 、 $T_r$ 、 $G_s$ 、 $C_i$ 影响均表现为灌水 $>$ 施肥 $>$ 水肥交互作用。

表4 不同水肥对比对骏枣光合特性的影响

Table 4 Effects of different water and fertilizer ratios on photosynthetic characteristics of Jun jujube

指标 Index	处理 Treatment	2021					2022				
		新梢萌芽期 Germination- new shoots stage	花果期 Flower and fruit period	幼果 膨大期 Fruit growth	白熟期 White-ma- ture stage	完熟期 Full-rip- en stage	新梢萌芽期 Germina- tion-new shoots stage	花果期 Flower and fruit period	幼果 膨大期 Fruit growth	白熟期 White-ma- ture stage	完熟期 Full-rip- en stage
$P_n /$ [ $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ]	W1F1	3.77	4.63	5.95	5.43	2.57	3.70	4.51	5.87	5.36	2.73
	W1F2	4.46	5.49	7.06	6.00	2.92	4.38	5.34	6.95	6.34	3.12
	W1F3	4.03	4.95	6.38	5.42	2.67	3.96	4.83	6.28	5.73	2.85
	W2F1	6.04	7.43	10.23	9.13	3.90	6.44	7.24	9.91	9.19	3.78
	W2F2	7.15	10.63	13.27	12.12	4.80	7.02	10.56	12.93	11.96	4.72
	W2F3	6.54	10.42	12.65	11.80	4.60	6.82	10.43	12.69	11.55	4.65
	W3F1	7.01	9.54	10.23	10.44	4.23	6.62	9.09	10.28	10.13	4.05
	W3F2	8.45	10.80	12.93	11.72	4.66	8.58	10.68	12.22	11.04	4.12
	W3F3	8.03	10.12	11.68	11.07	4.44	7.58	10.05	11.31	10.52	4.10
	CK	6.94	8.30	9.39	7.99	3.82	6.87	8.95	10.52	9.68	3.83
F值 F value	W	4.88*	5.62*	0.76	1.29	3.87	4.97*	4.13*	0.78	1.67	3.40
	F	0.45	0.25	0.50	1.15	0.84	0.33	0.44	0.37	0.11	0.99
	W×F	0.08	0.10	0.05	0.04	0.14	0.011	0.055	0.01	0.02	0.05
$C_i / (\mu\text{mol}/\text{mol})$	W1F1	2.07	2.33	2.93	2.52	1.90	2.03	2.46	2.90	2.35	1.77
	W1F2	2.26	2.54	3.26	2.75	2.18	2.30	2.79	3.24	2.67	2.23
	W1F3	2.19	2.46	3.01	2.66	2.00	2.23	2.7	2.95	2.58	2.11
	W2F1	2.77	3.33	4.12	3.98	2.18	2.83	3.43	3.99	3.78	2.05
	W2F2	3.07	4.46	5.99	4.74	3.40	3.12	4.59	5.26	4.62	2.92
	W2F3	2.91	4.28	5.59	4.55	3.11	2.97	4.30	5.16	4.20	2.68
	W3F1	3.43	4.17	4.65	4.18	2.61	3.49	4.04	4.51	4.05	2.60
	W3F2	4.03	4.54	5.21	4.60	3.29	3.10	4.48	5.06	4.26	2.99
	W3F3	3.78	4.16	4.99	4.30	2.95	3.85	4.07	4.25	4.16	2.74
	CK	2.72	3.18	3.89	3.43	2.32	2.87	3.49	3.84	3.53	2.50
F值 F value	W	12.32**	3.98*	1.59	1.32	1.00	5.49*	6.44*	0.13	2.30	1.31
	F	0.41	0.92	1.64	0.95	0.21	0.72	0.49	0.37	0.48	0.60
	W×F	0.49	0.10	0.32	0.34	0.38	0.43	0.10	0.30	0.02	0.36
$G_s /$ [ $\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ]	W1F1	0.12	0.15	0.17	0.16	0.08	0.12	0.15	0.17	0.16	0.08
	W1F2	0.17	0.19	0.20	0.20	0.11	0.15	0.18	0.19	0.19	0.11
	W1F3	0.14	0.16	0.19	0.18	0.10	0.14	0.16	0.19	0.18	0.09
	W2F1	0.17	0.18	0.20	0.19	0.12	0.16	0.19	0.21	0.19	0.12
	W2F2	0.20	0.24	0.28	0.26	0.14	0.20	0.24	0.27	0.26	0.14
	W2F3	0.18	0.23	0.26	0.24	0.13	0.18	0.22	0.26	0.24	0.13
	W3F1	0.19	0.20	0.23	0.20	0.13	0.19	0.19	0.23	0.21	0.13
	W3F2	0.22	0.24	0.26	0.24	0.15	0.22	0.24	0.27	0.24	0.14
	W3F3	0.20	0.21	0.23	0.22	0.13	0.20	0.21	0.24	0.22	0.13

续表4 Continued Table 4

指标 Index	处理 Treatment	2021					2022				
		新梢萌芽期 Germination- new shoots stage	花果期 Flower and fruit period	幼果 膨大期 Fruit growth	白熟期 White-ma- ture stage	完熟期 Full-rip- en stage	新梢萌芽期 Germina- tion-new shoots stage	花果期 Flower and fruit period	幼果 膨大期 Fruit growth	白熟期 White-ma- ture stage	完熟期 Full-rip- en stage
F值 F value	CK	0.19	0.20	0.22	0.21	0.11	0.18	0.20	0.22	0.20	0.12
	W	9.95**	3.84*	1.68	1.17	0.99	3.72*	4.47*	5.46*	1.57	1.12
	F	0.37	0.44	1.11	0.97	0.46	0.48	2.20	2.46	1.11	0.67
	W×F	0.09	0.01	0.12	0.17	0.16	0.53	1.96	4.20	1.17	1.29
T <sub>r</sub> / [mmol/(m <sup>2</sup> ·s)]	W1F1	221.81	225.45	231.68	228.74	200.56	219.91	223.46	235.70	230.77	199.88
	W1F2	192.16	195.26	213.33	202.17	184.27	191.59	194.68	217.06	204.54	186.28
	W1F3	209.12	212.50	222.24	220.19	188.54	209.12	212.50	222.24	220.19	191.54
	W2F1	204.13	207.43	218.82	213.03	182.47	196.51	199.68	216.05	206.52	170.96
	W2F2	189.13	192.19	208.27	197.46	172.28	185.55	188.55	203.95	195.12	165.30
	W2F3	193.61	196.74	214.21	202.11	178.22	188.89	191.94	213.64	198.60	178.24
	W3F1	183.91	186.88	203.49	192.01	170.66	180.73	183.65	201.60	190.06	168.01
	W3F2	165.52	168.19	185.93	176.71	162.70	161.77	164.38	187.74	172.70	158.30
	W3F3	177.94	180.82	201.59	188.58	167.76	175.46	178.30	198.42	184.65	166.42
F值 F value	CK	190.33	193.57	200.99	197.70	165.95	190.41	194.67	205.04	196.02	172.16
	W	13.72**	4.46*	4.12*	1.16	4.11	6.66**	7.06**	5.42*	2.04	0.59
	F	2.51	0.43	1.65	0.55	1.73	0.41	0.85	2.30	0.89	0.59
	W×F	0.41	0.14	0.48	0.18	0.27	0.40	0.21	0.40	0.03	0.17

2.3 水肥对比对滴灌骏枣产量和品质的影响

如表5所示,2 a数据皆表现为水肥交互作用对产量、IWUE、PFP和单果质量达到显著水平( $P < 0.05$ )或极显著水平( $P < 0.01$ ),灌水对产量、IWUE、单果质量、纵横径影响达到显著水平( $P < 0.05$ )或极显著水平( $P < 0.01$ ),施肥对产量、PFP、单果质量和纵横径影响达到显著水平( $P < 0.05$ )或极显著水平( $P < 0.01$ )。灌水、施肥和水肥交互作用对产量、IWUE的影响均表现为水肥交互作用>灌水>施肥;对单果质量、骏枣纵横径影响则表现为施肥>灌水>水肥交互作用;对PFP影响表现为水肥交互作用>施肥>灌水。对果形指数影响表现为施肥>水肥交互作用>灌水。

在W1灌水水平下,产量、IWUE、单果质量、骏枣纵横径均表现为F2>F3>F1,随着施肥量增加先增加后减少,且W1处理产量显著低于W2、W3处理;果形指数表现为F1>F3>F2,随着施肥量增加先减少后增加。在W2、W3灌水水平下随着施肥量增加,产量、IWUE表现为F3>F2>F1;单果质量、骏枣纵横径则表现为F2>F3>F1;果形指数表现为F1>F2>F3。PFP则在灌水量相同情况下,随着施肥量增加表现为F1>F2>F3。即在满足灌水需求的情况下,骏枣产量和IWUE随施肥量增加而增加,

达到一定程度后,增幅减小;单果质量、骏枣纵横径随施肥量增加先增后减少;而PFP、果形指数却出现随施肥量增加而减少现象。由此得出,提高灌水施肥量显著提高产量的同时,PFP却不断降低,适宜的施肥量对单果质量、骏枣纵横径提升更大,经济效益更高。

在F1施肥水平下随着灌水量增加,产量表现为W3>W2>W1,IWUE、PFP、单果质量和骏枣纵横径均表现为W3>W2>W1。在F2、F3施肥水平下,产量、IWUE、PFP、单果质量和骏枣纵横径均随着灌水量的增加而增加,其中单果质量表现为W2>W1>W3,这说明在满足肥料需求的情况下,轻度的水分亏缺相对高水处理有利于单果质量的增加。IWUE和PFP在所有处理中除了PFP的W1F3处理外皆大于CK处理,由此得出,过高的灌水施肥量极大降低IWUE和PFP。果形指数在同一施肥水平下,无明显规律,总体上呈现W1大于W2、W3处理。W2F3处理的骏枣产量和IWUE最高,与CK相比分别提高13.92%~14.09%、38.94%~39.13%,与CK均具有显著性差异( $P < 0.05$ )。PFP为W2F1处理最高,较CK提高90.38%~96.37%,与CK均具有显著性差异。单果质量,纵径、横径则是W2F2处理最高,与CK相比分别提高9.68%~10.30%、

表5 不同水肥配比对滴灌骏枣产量和品质的影响

Table 5 Yield and quality of Jun jujube under drip irrigation with different water and fertilizer ratios

年份 Year	处理 Treatment	产量/(kg/hm <sup>2</sup> ) Yield	IWUE/ (kg/m <sup>3</sup> )	PFP/ (kg/kg)	单果质量/g Fruit weight	纵径/mm Longitudinal di- ameter	横径/mm Transverse diameter	果形指数 Shape index of fruit
2021	W1F1	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	1.66±0.03a
	W1F2	7 154.74±134.40e	1.32±0.03b	8.83±0.17d	13.64±0.52cd	47.78±2.00bcd	30.49±0.88ab	1.57±0.04a
	W1F3	6 893.62±129.05ef	1.28±0.02bc	6.38±0.12b	13.41±0.58bc	47.08±2.80cde	29.68±1.37ab	1.58±0.04a
	W2F1	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	1.54±0.15a
	W2F2	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	1.66±0.07a
	W2F3	10 114.12±471.98a	1.60±0.07a	9.36±0.43d	13.74±0.40abc	50.03±0.8abc	31.27±0.60a	1.60±0.04a
	W3F1	8 408.12±551.59cd	1.17±0.08d	14.94±0.98a	10.02±0.68f	46.11±1.60de	28.67±0.48bc	1.61±0.03a
	W3F2	9 069.63±294.51b	1.26±0.04bc	11.19±0.36c	14.00±0.57ab	50.42±1.10ab	31.70±0.42a	1.59±0.05a
	W3F3	9 278.53±242.10b	1.29±0.03bc	8.59±0.22de	13.33±0.93bc	49.41±1.00bc	31.33±1.18a	1.58±0.03a
	CK	8 878.14±141.18bc	1.15±0.01d	7.80±0.13e	13.20±0.84bc	47.93±1.90bcd	29.80±1.92ab	1.61±0.07a
	W	8.62*	16.54**	2.18	6.93**	4.46*	4.99*	0.06
	F	3.67	0.85	17.14**	62.39**	21.07**	16.42**	2.03
	W×F	209.53**	99.87**	487.05**	4.94*	2.79	0.03	0.17
2022	W1F1	6 537.78±66.65f	1.21±0.01c	11.62±0.10bc	11.21±0.30c	44.77±1.27d	27.79±1.70d	1.61±0.06a
	W1F2	7 163.02±183.87e	1.33±0.03b	8.84±0.28d	13.36±0.24b	46.90±2.62cd	29.59±1.00bcd	1.59±0.11a
	W1F3	7 275.40±263.49e	1.35±0.05b	6.74±0.24f	13.29±0.37b	46.76±1.25cd	29.29±0.70bcd	1.60±0.05a
	W2F1	8 254.25±185.03d	1.31±0.03b	14.67±0.33a	11.38±0.22c	46.18±0.28cd	28.36±0.70d	1.63±0.05a
	W2F2	9 743.35±116.35a	1.55±0.02a	12.03±0.14b	14.62±0.30a	51.55±0.64a	32.50±0.85a	1.59±0.06a
	W2F3	9 908.61±215.94a	1.57±0.03a	9.17±0.20d	14.23±0.21a	49.32±0.9abc	31.13±0.62ab	1.59±0.01a
	W3F1	8 525.56±345.12cd	1.18±0.04cd	15.16±0.62a	10.52±0.15d	46.32±0.64cd	28.34±0.58d	1.64±0.04a
	W3F2	9 259.55±141.52b	1.29±0.02b	11.43±0.17c	13.46±0.25b	50.71±2.65ab	31.96±1.52a	1.59±0.01a
	W3F3	9 321.00±287.61b	1.30±0.04b	8.60±0.27d	13.29±0.14b	48.89±2.70abc	30.92±1.50abc	1.58±0.05a
	CK	8 684.73±94.46c	1.13±0.01d	7.72±0.08e	13.33±0.53b	47.45±0.30bcd	28.92±0.93cd	1.64±0.05a
	W	24.45**	42.62**	2.56	28.86**	8.29**	6.85*	0.01
	F	7.69*	3.55	15.96**	253.68**	13.71**	20.15**	1.458
	W×F	45.69**	76.93**	38.54**	3.07*	0.81	0.10	0.122

8.64%~10.53%、7.18%~11.09%，与CK处理均具有显著性差异。

### 3 讨论

灌水量和施肥量是作物生长发育的关键因素，合理调控水肥用量可促进作物的生长发育，提高产量、品质、水和肥的利用效率。滴灌水肥一体化根据作物不同生长阶段的需水需肥特性，将水分和养分输送到作物的根部位置，为作物提供适宜的灌水、施肥量。灌水、施肥对生长指标影响显著，与王振华等<sup>[7]</sup>、赵文举等<sup>[14]</sup>的研究相同。本研究表明，适宜的灌水施肥量有助于骏枣新梢与枣吊的生长，二者对水肥的响应规律相同。“以水促肥、以肥调水”是水肥供应的关键，只有合理的水肥配比才能有利于作物生长发育。在作物发育过程中，水、氮两因素相互影响，一方面适宜的灌水和硝态氮可以加速作物根系

的发育<sup>[15]</sup>，另一方面根系又能提高作物吸收氮素的效率<sup>[16]</sup>。适宜灌水量时，增加施氮量可以显著促进作物的生长，最终增加作物产量<sup>[17]</sup>，养分溶解于水中通过质流或扩散达到根系表面，适宜的灌水施肥量有利于K<sup>+</sup>、H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>等离子的扩散过程，进而促进作物吸收养分，促进植株生长<sup>[18]</sup>。低水低肥严重抑制骏枣生长发育，高水高肥导致骏枣新梢与枣吊徒长。萌芽期和花果期为骏枣新梢和枣吊的主要生育期，随着生育期推进，新梢和枣吊生长量不断减少，骏枣坐果以后，新梢和枣吊生长速率减缓，白熟期后生长量近乎停止。

周罕觅等<sup>[8]</sup>研究表明，植株生长量与作物P<sub>n</sub>、T<sub>r</sub>、G<sub>s</sub>密切相关，与本研究结果相同。P<sub>n</sub>、T<sub>r</sub>、G<sub>s</sub>各生育期平均值随生育期推进，呈现先增大后减小规律，果实膨大期变化最大，完熟期变化最小，C<sub>i</sub>在各生育期变化相对不明显，与马凯等<sup>[19]</sup>研究相似。P<sub>n</sub>自新梢

萌芽期起平均光强不断提高,至果实膨大期达到顶峰,随后降低至完熟期最低。 $T_r$ 、 $G_s$ 自萌芽期新梢期起随平均光强、温度不断提高,平均湿度先不断减少而后增加,至果实膨大期达到顶峰,随后平均光强、温度不断降低,平均湿度不断增加, $T_r$ 随之减少至完熟期最低。扁青永等<sup>[5]</sup>在果实膨大期测试骏枣光合作用研究表明,过高或者过低灌水不利叶片光合作用。本试验进一步研究得出 $P_n$ 、 $T_r$ 、 $G_s$ 在新梢萌芽期与花果期随灌水量的增加而增加,其中花果期变化量大于新梢萌芽期,且与同生育期骏枣新梢与枣吊受水肥影响规律一致。增加灌水量和适宜施肥量提高骏枣新梢和枣吊生长量,从而增强光合作用进而提升干物质累积量,两者起到相互促进作用<sup>[20]</sup>。研究发现,灌溉和增施氮肥能够显著提升叶片含氮量,从而增加叶片叶绿素和光合关键酶含量进而改善 $P_n$ <sup>[21]</sup>。 $P_n$ 、 $T_r$ 、 $G_s$ 在果实膨大期至完熟期随灌水量增加,呈现先增加后减少趋势,并且全生育期在灌水量一致时随施肥量增加呈现先增加后减少趋势。进入果实膨大期后,适量追施钾肥能改善作物叶片光合特性,提高光合产物分配到生殖器官的比例和同化效率<sup>[9]</sup>。本研究结果还表明,过低的水分或过高的灌水施肥量对光合作用存在抑制作用,因低灌水导致土壤亏水会诱导植物根部产生激素脱落酸(ABA),该信号通过木质部在水分传输作用下传送至树冠后将引发叶片气孔关闭,进而导致 $T_r$ 、 $P_n$ 降低<sup>[22]</sup>,水分和肥料对于光合作用的提高具有一定的拮抗作用<sup>[5]</sup>,适宜的灌水施肥量是提高光合指标的关键。

水肥通过影响气孔、非气孔因素和叶片色素以及叶片中酶活性等因素对作物光合作用造成影响,从而影响产量。本研究结果表明,满足作物灌水量需求情况下,骏枣产量、IWUE随施肥量增加而增加;单果质量、骏枣纵横径随施肥量先增加后减少;PFP却出现随施肥量增加而降低。施肥量可以促进作物冠层发育和根系生长,促使作物吸收土壤水分,提高产量,进而提高IWUE<sup>[23]</sup>。灌水和施肥对单果质量、骏枣纵横径影响显著,不合理的施肥导致PFP减少,降低作物的经济效益,减小产投比<sup>[24]</sup>。我们认为,增加灌水施肥量在提高产量的同时,PFP却随之减少,适宜的施肥量对单果质量、骏枣纵横径提升更大,经济效益更高。低灌水处理显著减少植株产量,低施肥处理则显著减少单果质量和果实尺寸<sup>[25]</sup>。本研究中W2F3处理产量最高,而W2F2单果质量和骏枣纵横径更优,这主要由于单株产量及果实等级比例影

响果实大小,高施肥量下,骏枣出现徒长情况,坐果率越高,养分没有集中在果实上,则果实尺寸越小,从而减少单果质量。

## 参考文献 References

- [1] 梁丰志,童盼盼,张亚若,等.新疆南疆不同灰枣产区果实品质分析及优生区划分[J].华中农业大学学报,2021,40(4):123-132.LIANG F Z, TONG P P, ZHANG Y R, et al. Analysis of fruit quality and division of eugenic zone in different gray jujube producing regions in Southern Xinjiang [J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2021, 40(4): 123-132 (in Chinese with English abstract).
- [2] 李建明,潘铜华,王玲慧,等.水肥耦合对番茄光合、产量及水分利用效率的影响[J].农业工程学报,2014,30(10):82-90. LI J M, PAN T H, WANG L H, et al. Effects of water-fertilizer coupling on tomato photosynthesis, yield and water use efficiency [J]. Transactions of the CSAE, 2014 (10): 82-90 (in Chinese with English abstract).
- [3] 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):1086-1092. HU J S, WANG Z H, ZHENG X R. 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): 1086-1092 (in Chinese with English abstract).
- [4] 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 J F, GENG Q L, CAO W C, et al. Effects of type and amount of nitrogen fertilizer on photosynthetic characteristics and yield of jujube under drip irrigation [J]. Transactions of the CSAE, 2020, 36(7): 92-98 (in Chinese with English abstract).
- [5] 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 Q Y, WANG Z H, HU J S, 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 (in Chinese with English abstract).
- [6] 侯裕生,王振华,李文昊,等.水肥耦合对南疆沙区滴灌红枣光合特性及叶绿素相对含量的影响[J].排灌机械工程学报,2018,36(9):914-919,924. HOU Y S, WANG Z H, LI W H, et al. Effects of water and fertilizer coupling on photosynthetic characteristics and chlorophyll relative contents of jujube under drip irrigation in southern Xinjiang sandy area [J]. Journal of drainage and irrigation machinery engineering, 2018, 36(9): 914-919, 924 (in Chinese with English abstract).
- [7] 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 Z H, BIAN Q Y, LI W H, et al. Suitable water

- and fertilizer amount for mature jujube with drip-irrigation under fertigation in Southern Xinjiang sandy area [J]. Transactions of the CSAE, 2018, 34 (11) : 96-104 (in Chinese with English abstract).
- [8] 周罕觅,张硕,杜新武,等.滴灌条件下水肥耦合对苹果幼树生长与生理特性的影响[J].农业机械学报,2021,52(10):337-348.ZHOU H M, ZHANG S, DU X W, et al. Effects of water and fertilizer coupling on growth and physiological characteristics of young apple tree under drip irrigation [J]. Transactions of the CSAM, 2021, 52 (10) : 337-348 (in Chinese with English abstract).
- [9] 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 Z H, CHEN X J, LÜ D S, et al. Effects of water and fertilizer coupling on the yield and quality of processing tomato under aerated drip irrigation [J]. Transactions of the CSAE, 2020, 36(19) : 66-75 (in Chinese with English abstract).
- [10] 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 Z H, QUAN L S, ZHENG X R, 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 CSAM, 2016, 47 (10) : 91-100 (in Chinese with English abstract).
- [11] 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 X J, LÜ T B, XING M, etc. Effects of water and fertilizer coupling on yield and fruit grade of jujube under drip irrigation [J]. Journal of irrigation and drainage, 2023, 42 (7) : 45-51, 100 (in Chinese with English abstract).
- [12] 鲍士旦.土壤农业化学分析[M].北京:中国农业出版社,2015. BAO S D. Soil agrochemical analysis [M]. Beijing: China Agricultural Press, 2015 (in Chinese).
- [13] 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 M Q, LI C F, LUO H P, et al. Physical characteristics of red jujube in different grades and its influence on classification results [J]. Transactions of the CSAM, 2018, 49 (8) : 324-330 (in Chinese with English abstract).
- [14] 赵文举,马锋,曹伟,等.水肥耦合对基质栽培番茄产量及品质的影响[J].农业工程学报,2022,38(2):95-101. ZHAO W J, MA F, CAO W, et al. Effects of water and fertilizer coupling on the yield and quality of tomatoes [J]. Transactions of the CSAE, 2022, 38 (2) : 95-101 (in Chinese with English abstract).
- [15] 张立进,巢思琴,鲁梦珍,等.优化施肥对油菜-水稻复种系统作物产量及氮磷流失的影响[J].华中农业大学学报,2022,41(6):27-34. ZHANG L J, CAO S Q, LU M Z, et al. Effects of optimized fertilization on yield of crops and loss of nitrogen and phosphorus in multiple cropping system of rapeseed-rice [J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2022, 41 (6) : 27-34 (in Chinese with English abstract).
- [16] 胡梦芸,门福圆,张颖君,等.水氮互作对作物生理特性和氮素利用影响的研究进展[J].麦类作物学报,2016,36(3):332-340. HU M Y, MEN F Y, ZHANG Y J, et al. Research progress on water-nitrogen interaction and its effects on crop growth and utilization of nitrogen [J]. Journal of triticeae crops, 2016, 36 (3) : 332-340 (in Chinese with English abstract).
- [17] MINER G L, DELGADO J A, IPPOLITO J A, et al. Influence of long-term nitrogen fertilization on crop and soil micro-nutrients in a no-till maize cropping system [J]. Field crops research, 2018, 228: 170-182.
- [18] AN N, PALMER C M, BAKER R L, et al. Plant high-throughput phenotyping using photogrammetry and imaging techniques to measure leaf length and rosette area [J]. Computers and electronics in agriculture, 2016, 127: 376-394.
- [19] 马凯,王振华,王天宇,等.水氮耦合对微咸水膜下滴灌棉花光合特性及产量的影响[J].西北农业学报,2022,31(5):559-568. MA K, WANG Z H, WANG T Y, et al. Effects of water and nitrogen coupling on photosynthetic characteristics and yield of film mulching cotton under brackish water drip irrigation [J]. Acta agriculturae boreali-occidentalis sinica, 2022, 31 (5) : 559-568 (in Chinese with English abstract).
- [20] 沈东萍,张国强,王克如,等.滴灌量对高产春玉米冠层结构特征及产量的影响[J].西北农业学报,2018,27(8):1137-1145. SHEN D P, ZHANG G Q, WANG K R, et al. Effect of drip irrigation on canopy structure and yield of high-yield spring maize [J]. Acta agriculturae boreali-occidentalis sinica, 2018, 27 (8) : 1137-1145 (in Chinese with English abstract).
- [21] 孙光照,刘小刚,余小弟,等.微润管布设方式和施肥水平对蓝莓生长及光合特性的影响[J].生态学杂志,2019,38(2):604-611. SUN G Z, LIU X G, YU X D, et al. Effects of moisture patterns and fertilization levels on growth and physiological characteristics of blueberry [J]. Chinese journal of ecology, 2019, 38 (2) : 604-611 (in Chinese with English abstract).
- [22] 张效星,樊毅,贾悦,等.水分亏缺对滴灌柑橘光合和产量及水分利用效率的影响[J].农业工程学报,2018,34(3):143-150. ZHANG X X, FAN Y, JIA Y, et al. Effect of water deficit on photosynthetic characteristics, yield and water use efficiency in Shiranui citrus under drip irrigation [J]. Transactions of the CSAE, 2018, 34 (3) : 143-150 (in Chinese with English abstract).
- [23] 张富仓,高月,焦婉如,等.水肥供应对榆林沙土马铃薯生长和水肥利用效率的影响[J].农业机械学报,2017,48(3):270-278. ZHANG F C, GAO Y, JIAO W R, et al. Effects of water and fertilizer supply on growth, water and nutrient use efficiencies of potato in sandy soil of Yulin area [J]. Transactions of the CSAM, 2017, 48 (3) : 270-278 (in Chinese with English abstract).

- [24] LANDL M, SCHNEPF A, UTEAU D, et al. Modeling the impact of biopores on root growth and root water uptake [J]. Vadose zone journal, 2019, 18(1): 1-20.
- [25] GONZALEZ-DUGO V, RUZ C, TESTI L, et al. The impact of deficit irrigation on transpiration and yield of mandarin and late oranges [J]. Irrigation science, 2018, 36(4/5): 227-239.

## Effects of water and fertilizer coupling on growth physiology and yield of Jun jujube under drip irrigation in Southern Xinjiang

ZHOU Xiaojie, LÜ Tingbo, XING Meng, SONG Renyou, FU Xinfu

*School of Water Conservancy and Construction Engineering, Shihezi University/  
Key Laboratory of Modern Water-Saving Irrigation Corps, Shihezi 832000, China*

**Abstract** In order to explore the coupling scheme of water and fertilizer suitable for drip irrigation to improve the quality and efficiency of Jun jujube, 10 a Jun jujube of 224 regiment in Kunyu City, a typical self-pressure irrigation area in Southern Xinjiang was studied. Referring to the local practice, the irrigation amount of 770 mm and the fertilization amount of 1 125 kg/hm<sup>2</sup> were used as the control, a two-factor three-level plot trial was conducted with water (W1, 540 mm; W2, 630 mm; W3, 720 mm), chemical fertilizer (F1, 562.5 kg/hm<sup>2</sup>; F2, 810 kg/hm<sup>2</sup>; F3, 1 080 kg/hm<sup>2</sup>). To explore the response law of new shoot, bearing branch, photosynthetic characteristics and yield of Jun jujube under drip irrigation in Southern Xinjiang to water and fertilizer coupling. The results showed that the effects of irrigation, fertilization and water-fertilizer interaction on leaf net photosynthetic rate ( $P_n$ ), transpiration rate ( $T_r$ ), stomatal conductance ( $G_s$ ), intercellular CO<sub>2</sub> concentration ( $C_i$ ), new shoots and bearing branch were in the order of irrigation > fertilization > water-fertilizer interaction. The effects on yield and irrigation water use efficiency (IWUE) were water and fertilizer interaction > irrigation > fertilization. The effect on fertilizer partial factor productivity (PFP) was water and fertilizer interaction > fertilization > irrigation. The single fruit weight, vertical and horizontal diameter of Jun jujube showed fertilization > irrigation > water and fertilizer interaction. The effect on fruit shape index was fertilization > water and fertilizer interaction > irrigation. The results showed that W3F2 was the best treatment for shoot and bearing, W2F3 was the best treatment for yield and IWUE, W2F2 was the best treatment for  $P_n$ ,  $T_r$ ,  $G_s$ , single fruit weight, vertical and horizontal diameter, W3F1 was the best treatment for PFP. This study can provide scientific basis for water and fertilizer management of dripper Jun jujube in Southern Xinjiang.

**Keywords** water and fertilizer coupling; drip irrigation; Jun jujube; integration of water and fertilizer; dwarfing and dense planting; new shoots; jujube hanging; photosynthesis

(责任编辑:陆文昌)