文章编号:1000-7601(2018)04-0165-07 doi:10.7606/j.issn.1000-7601.2018.04.24

水肥供应对南疆沙区滴灌红枣生理、生长及产量的影响

扁青永[1],王振华[1,2],胡家帅[1],何新林[1,2],李朝阳[1]

(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:为了了解南疆沙区水肥供应对滴灌红枣生理、生长指标与产量的影响,以当地 8 a 成龄骏枣树为供试材料,结合大田试验,在滴灌条件下进行水肥二因素三水平完全处理小区试验。结果表明:灌水因素对红枣叶片光合特性(净光合速率(*Pn*)、蒸腾速率(*Tr*)、气孔导度(*Gs*)、细胞间隙 CO_2 浓度(*Ci*)、水分利用效率(*WUE*))、红枣梢径和梢长增加量及灌溉水分利用效率(*iWUE*)达到显著($P<0.05$)或极显著水平($P<0.01$),水肥交互作用对红枣光合特性、梢径和梢长增加量、产量及灌溉水分利用效率(*iWUE*)达到显著($P<0.05$)或极显著水平($P<0.01$),施肥对红枣以上指标未达到显著性水平($P>0.05$);过高或过低的灌水量均不利于红枣光合作用、生长发育及增产效果,较低的施肥量可以促进红枣生理生长、达到红枣增产的目的;W2F1 处理下红枣叶片 *Pn*(8.94 μmol · m^{-2} · s^{-1})、*Tr*(3.86 mmol · m^{-2} · s^{-1})、*Gs*(0.49 μmol · m^{-2} · s^{-1})和 *Ci*(707.41 μmol · m^{-2} · s^{-1})值最大,比最小值分别提高23.00%、22.54%、58.06%和 58.08%;W3F3 处理下 *WUE* 值(2.56 μmol · $mmol^{-1}$)最大;梢径增加量和梢长增加量最大值分别在 W2F2 处理(6.31 mm)、W3F2 处理(64 cm),比最小值分别提高 51.32%、33.33%;W2F1 处理下产量(7 256 kg · hm^{-2})最大,比最小值处理增产 55.67%,增产效应(33.14%)最大;*iWUE* 最大值在 W1F3 处理(8.17 kg · m^{-3}),与 W2F1 处理无显著性差异($P>0.05$)。红枣净光合速率与蒸腾速率、气孔导度之间密切相关,红枣产量与红枣梢径增加量有较好的相关关系,梢径增加量在一定程度上能反应红枣产量。灌水量 820 mm、施肥量 $N-P_2O_5-K_2O$:200 − 100 − 150 kg · hm^{-2}(W2F1 处理)为南疆沙区节水、节肥的最佳水肥供应模式。

关键词:水肥供应;南疆沙区;滴灌;红枣;生理;生长;产量

中图分类号:S665.1 **文献标志码**:A

Effects of water and fertilizer supply on physiology, growth and yield of drip-irrigation jujube in the southern Xinjiang sandy area

BIAN Qing-yong[1], WANG Zhen-hua[1,2], HU Jia-shuai[1], HE Xin-lin[1,2], LI Chao-yang[1]

(1. *College of Water Resources and Architectural Engineering, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang* 832000, *China*;
2. *Key Laboratory of Modern Water-saving Irrigation Corp, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang* 832000, *China*)

Abstract: To explore the effects of supplying water and fertilizer on yield, physiology and growth of drip-irrigation jujube in the southern Xinjiang sandy area, "Jun-jujube of the 8 years" was used for field experiment. A three-level-complete-treatment plot experiment of two factors of water and nitrogen under drip irrigation was conducted. Results showed that irrigation had significant ($P<0.05$) or highly significant ($P<0.01$) effect on jujube leaves' photosynthetic characteristics (net photosynthetic rate (*Pn*), transpiration rate (*Tr*), stomatal conductance (*Gs*), intercellular CO_2 concentration (*Ci*), water use efficiency (WUE), shoots diameter, length increment of jujube and irrigation water use efficiency (iWUE). Water and fertilizer interaction had significant ($P<0.05$) or highly significant ($P<0.01$) effect on photosynthetic characteristics, shoots diameter and length increment, yield and irrigation application use efficiency (iWUE). Fertilization had no significant effect on the above indices ($P>0.05$). Too high or too low irrigation level were unfavorable to photosynthesis, growth and yield increase of jujube. Low fertilizer level could promote jujube's physiology and growth and increase jujube yield. *Pn*(8.94 μmol · m^{-2} ·

收稿日期:2017-03-18 **修回日期**:2017-05-20

基金项目:国家科技支撑计划项目(2014BAC14B01)

作者简介:扁青永(1991-),男,新疆奎屯人,硕士研究生,研究方向为节水灌溉理论与技术。

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

s^{-1}), *Tr*(3.86 mmol · m^{-2} · s^{-1}), *Gs*(0.49 μmol · m^{-2} · s^{-1}), *Ci*(707.41 μmol · m^{-2} · s^{-1}) with W2F1 treatment were at the maximum value, which increased by 23.00%, 22.54%, 58.06% and 58.08%, respectively, compared with the minimum value in all treatments; WUE value (2.56 μmol · $mmol^{-1}$) was the highest under W3F3 treatment; The maximum increment in shoots diameter and tip length was in W2F2 treatment (6.31 mm) and W3F2 treatment (64 cm), respectively, with an increase of 51.32% and 33.33% compared with minimum treatment. A yield of 7 256 kg · hm^{-2} under W2F1 treatment, which was 55.67% higher than the minimum yield of all treatments. had the highest yield-increasing effect (33.14%). Irrigation application use efficiency (iWUE) under W1F3 treatment was at the maximum value, but showed no significant difference compared with W2F1 ($P>0.05$). *Pn* was closely related to transpiration rate and stomatal conductance. The correlation between yield and diameter increment of jujube was good. Diameter increment correlated with the jujube yield to some extent. According to the results, the preliminary conclusion could be reached that irrigation of 820 mm and fertilizer of N－P_2O_5－K_2O:200－100－150 kg · hm^{-2}(W2F1 treatment) was the best water-fertilizer supply model saving water and fertilizer in the southern Xinjiang sandy area.

Keywords: water and fertilizer supply; southern Xinjiang sandy area; drip-irrigation; jujube; physiology; growth; yield

红枣是南疆沙区发展节水型林果业重要经济作物,但南疆地区水资源极度匮乏,枣园缺少合理的科学灌溉施肥技术,传统的漫灌和大量施肥现象普遍存在。据统计,在新疆生产建设兵团第一师所在地区(南疆阿克苏)传统的漫灌灌溉方式红枣种植面积达12.7万 hm^2,占红枣种植面积95%,而红枣滴灌方式应用普及率只有5%,传统漫灌方式直接影响红枣的生长、产量和生产效益,同时也会影响生态环境,因此实现滴灌条件下水肥合理利用,对改善粗放的水肥管理起到积极作用[1-2]。

近年来,国内外学者就滴灌条件下相关作物灌溉施肥制度取得了不少成果[3-10]。研究表明,合理灌溉施肥有利于作物生理生长和产量的提高,此外,一些学者对红枣进行单因素分析研究[11-12],但水肥供应方面对红枣研究较少;还有一些研究主要局限于单方面灌溉定额、施肥量(或施肥方式)对红枣各项指标的影响。本文通过试验研究不同水肥处理对南疆沙区滴灌红枣生理生长及产量的影响,探索适应该地区红枣生长的最佳供水施肥模式,对改善南疆沙区传统农业有一定指导意义。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于2016年5-11月在新疆生产建设兵团第一师阿拉尔农业灌溉试验站进行。该区地处亚欧大陆腹地的塔里木河畔,受塔克拉玛干沙漠的影响,属典型的大陆性极端干旱荒漠气候类型。年均日照时数达2 865 h,年均气温10.7℃,≥10℃积温为4 113℃,无霜期达220 d,多年平均降水量为67 mm,多年平均蒸发量2 110 mm。试验地地下水埋深大于3.5 m,试验站设有小型气象站,可自动记录大气压力、地面温度、有效辐射、最小相对湿度和太阳辐射等。供试土壤(0~20 cm)基本理化性质:土壤质地以粉砂质粘壤土为主,有机质3.81 g · kg^{-1},全氮0.47 g · kg^{-1},碱解氮15 mg · kg^{-1},速效磷9.4 mg · kg^{-1},速效钾68 mg · kg^{-1},田间持水量为24.13%(灌后24 h测定),干容重1.41 g · cm^{-3}。

以第一师阿拉尔农业灌溉试验站内8 a成龄骏枣树为试验材料,2008年种植,2009年嫁接,常年连续漫灌,2016年5月15日开始在漫灌改滴灌条件下进行水肥供应试验。

1.2 田间试验布置

枣树采用宽窄行种植模式,滴灌铺设均为1行2管,即在树行两侧20 cm处各布置一根滴灌带,在枣树根部处开孔安装滴头,滴灌施肥由水肥一体化设备控制,设备主要由水源、水泵、旋翼式水表、比例施肥泵和输配水管道系统等组成。滴灌带为内镶贴片式滴灌带,内径12 mm,滴头间距300 mm,滴头流量2 L · h^{-1},滴灌工作压力0.05~0.12 MPa,红枣种植模式见图1。

1.3 试验方法

试验区在常年漫灌改滴灌条件下进行,需要较大的灌水量和施肥量满足红枣生长需求,根据文献[12]和当地农艺管理,设定灌溉定额和施肥量两个因素,采用水、肥二因素三水平完全处理。灌溉定额设620 mm(W1),820 mm(W2),1 020 mm(W3)三个水平,施肥量采用N∶P_2O_5∶K_2O=2∶1∶1.5的比例,设定三个水平(低肥,中肥,高肥),即施肥量N－P_2O_5－K_2O分别为200－100－150 kg · hm^{-2}(F1),400－200－300 kg · hm^{-2}(F2),600－300－

450 kg · hm^{-2}(F3),共 9 个处理,每个处理设定 3 次重复。根据红枣的需肥规律,采取少量多次的原则,萌芽新梢期施入 1 次,花期施肥 2 次,幼果膨大期施肥 2 次,白熟期施肥 2 次,完熟期不施肥,将肥料完全溶解于肥料罐中,通过水肥一体化装置施入,施肥前 30 min 滴水,停水前 30 min 结束施肥。试验具体灌溉制度见表 1。

1.4　测试项目及方法

1.4.1　生长指标　在 2016 年 5 月 5 日进行第一次新梢长度和梢径(主梢)的测定,每个处理取样 5 棵红枣树,7~10 d 测量一次,2016 年 7 月 10 日最后一次测定,梢长和梢径增加量=最后梢长和梢径测定数据—最初梢长和梢径测定数据,并取平均值。新梢长度用卷尺测定,从新梢与主干交界处起测量;梢径使用游标卡尺进行测量,测量部位始终为新梢基部。

1.4.2　光合指标　于 2016 年 7 月 30 日 10∶00-20∶00进行光合指标的测定(2016 年 7 月 31 日 10∶00-20∶00 进行验证测量),采用 Li-6400 便携式光合测定仪,测定净光合速率(*Pn*)、气孔导度(*Gs*)、胞间 CO_2浓度(*Ci*)和蒸腾速率(*Tr*)的日变化,在 10∶00-20∶00 时间段进行,每隔 2 h 测定一次。光源采用自然光源,每个处理选取 3 棵红枣树,在每棵树上分别选取上、中、下 3 片叶子进行测定,每个处理共计 9 片叶并取其均值,测定前对叶片做好标记。根据记录参数计算水分利用率(*WUE*),其计算公式为:*WUE*=*Pn*/*Tr*。

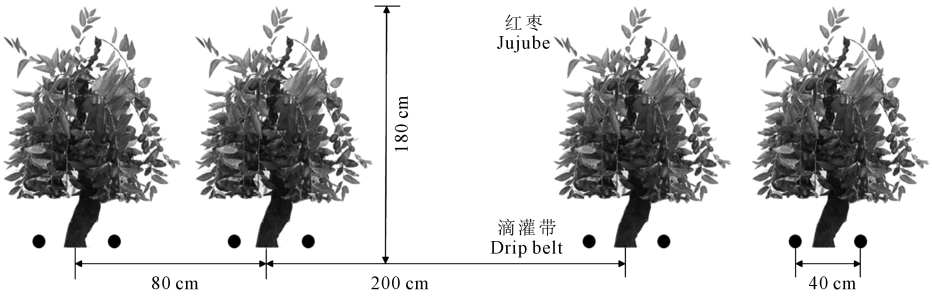

图 1　红枣种植模式

Fig.1　The planting patterns of jujube

表 1　红枣全生育期灌溉制度

Table 1　The irrigation system in the whole stages of jujube

生育阶段 Growth stage	时间 Time (M-d)	水处理/mm Irrigation treatments			肥处理/(kg · hm^{-2}) Fertilization treatments			灌水次数 Irrigation times	施肥次数 Fertilization times
		W1	W2	W3	F1	F2	F3		
萌芽新梢期 Germination-new shoots stage	04-30—06-20	70	110	150	90	180	270	1	1
花期 Flower stage	06-21—07-20	160	200	240	120	240	360	2	2
幼果膨大期 Young fruit growth stage	07-21—08-17	160	200	240	120	240	360	2	2
白熟期 White-mature stage	08-18—09-18	160	200	240	120	240	360	2	2
完熟期 Full ripen stage	09-19—10-30	70	110	150				1	

1.4.3　红枣产量指标　红枣成熟后按小区采摘,每个处理随机取 5 棵,取平均值,再折合每公顷产量,计算灌溉水分利用效率(*iWUE*,kg · m^{-3}),即用每个处理的总产量比总灌溉量[13]。

1.4.4　增产效应

$$E_I = (Y_X - Y_L)/Y_L$$ [14]

式中:Y_X 为某水分处理和某肥料处理的产量(kg · hm^{-2});Y_L 为低水分低肥料处理的产量(kg · hm^{-2})。

2　结果与分析

2.1　水肥供应对滴灌红枣生理指标的影响

表 2 是不同的水肥处理对红枣叶片净光合速率(*Pn*)、蒸腾速率(*Tr*)、气孔导度(*Gs*)、胞间 CO_2浓度(*Ci*)和水分利用效率(*WUE*)的影响。其中灌水对红枣叶片 *Pn*、*Tr*、*Gs*、*Ci* 和 *WUE* 影响均达到极显著水平($P<0.01$);施肥对红枣叶片 *Pn*、*Tr*、*Gs*、*Ci* 和 *WUE* 的影响不显著($P>0.05$);水肥交互作用对红枣叶片 *Pn*、*Tr*、*Gs* 和 *WUE* 影响达到极显著水平($P<0.01$),对 *Ci* 的影响达显著($P<0.05$)水平。

由表 2 可以看出,不同水肥处理 *Pn*、*Tr*、*Gs* 和 *Ci* 分别介于 7.26~8.94 μmol · m^{-2} · s^{-1}、3.15~3.86 mmol · m^{-2} · s^{-1}、0.31~0.49 μmol · m^{-2} · s^{-1} 和 447.50~710.00 μmol · m^{-2} · s^{-1}之间,*Pn*、*Tr*、*Gs*、*Ci* 最大值出现在 W2F1 处理(*Ci* 最大值处理与 W2F1 处理无显著性差异),最小值出现在 W1F1 处理,但 *Ci* 最小值在 W1F3 处理,各处理 *Pn*、*Tr*、*Gs* 和 *Ci* 最大值比最小值分别提高23.00%、22.54%、58.06%和

58.08%。说明红枣叶片 *Pn*、*Tr*、*Gs*、*Ci* 间有着密切关系,叶片自身能够通过气孔导度的开放大小来控制红枣净光合速率和蒸腾速率,其归因于气孔因素。WUE 最大值出现在 W3F3 处理,与 W2F1 处理相比,其 *Pn*、*Tr*、*Gs* 和 *Ci* 明显下降,但 WUE 反而增加了 10.82%,说明 W2F1 处理虽然能得到较高水平的净光合速率和蒸腾速率,水分利用效率最大值却出现在 W3F3 处理。由表还可以看出,红枣叶片 *Pn*、*Tr*、*Gs* 和 *Ci* 随灌溉量的增加表现为:W2>W3>W1;红枣 *WUE* 表现为:W3>W1>W2;增加施肥量,红枣叶片 *Pn*、*Tr*、*Gs* 和 *Ci* 之间差异较小,不同施肥水平未达到显著水平(P>0.05),说明灌水因素对红枣的光合特性和叶片水分利用效率的影响大于施肥。

表 2 不同水肥处理对红枣叶片光合特性和水分利用效率的影响

Table 2 Effects of different water and fertilizer treatments on photosynthetic characteristics and water use efficiency of jujube

灌水处理 Irrigation treatments	施肥处理 Fertilization treatments	*Pn*/ (μmol·m^{-2}·s^{-1})	*Tr*/ (mmol·m^{-2}·s^{-1})	*Gs*/ (μmol·m^{-2}·s^{-1})	*Ci*/ (μmol·m^{-2}·s^{-1})	*WUE*/ (μmol·mmol^{-1})
W1	F1	7.26±0.07f	3.15±0.055b	0.31±0.011c	447.50±2.78f	2.31±0.100c
	F2	7.82±0.12e	3.17±0.015b	0.33±0.015c	519.89±3.38e	2.47±0.031b
	F3	7.73±0.04e	3.19±0.045b	0.35±0.10c	365.07±5.11g	2.42±0.035b
W2	F1	8.93±0.03a	3.86±0.010a	0.49±0.015a	707.41±4.48a	2.31±0.026c
	F2	8.34±0.08cd	3.68±0.021a	0.47±0.037ab	639.25±3.45b	2.26±0.009c
	F3	8.43±0.03c	3.76±0.020a	0.45±0.015b	710.42±2.79a	2.24±0.153c
W3	F1	8.24±0.05d	3.27±0.057b	0.35±0.015c	631.01±2.52b	2.52±0.006ab
	F2	8.67±0.13b	3.40±0.059b	0.36±0.016c	592.06±2.04c	2.55±0.042ab
	F3	8.41±0.09cd	3.28±0.049b	0.44±0.032b	536.53±1.44d	2.56±0.031a
显著性分析(F 值检验) Significance test (F value analysis)						
W(灌溉 Irrigation)		10.346*	63.199**	13.897**	13.434**	19.949**
F(施肥 Fertilization)		0.39	0.1	0.152	0.165	0.311
W×F		77.549**	10.517**	10.597**	1251.19*	24.602**

注:数值为平均值±标准差,不同字母表示同一列在 P<0.05 水平差异显著,* 表示在 P<0.05 水平差异显著,* * 表示在 P<0.01 水平差异显著。下同。

Note:Data is mean standard error, different letters in each column indicate significant difference between treatments(P<0.05), * and * * represent P<0.05 significant and P<0.01 significant respectively, the same as following.

2.2 水肥供应对滴灌红枣生长指标的影响

图 2 是不同水肥处理对红枣梢径增加量和梢长增加量的影响。可以看出,灌水对红枣梢径增加量的影响达到显著水平(P<0.05),对红枣梢长增加量同样达到显著性水平(P<0.05),施肥对红枣梢长增加量和梢径增加量均不显著(P>0.05);水肥交互作用对红枣梢长增加量和梢径增加量达到极显著水平(P<0.01)。

如图 2a 所示,不同水肥处理的红枣梢径增加量在 4.17~6.31 mm,最大值为 W2F2 处理,比最小值 W1F1 处理增加了 51.32%。随着灌水量的增加,红枣梢径增加量逐渐升高,表现为:W3>W2>W1>W3 水平红枣梢径增加量比 W1,W2 灌溉水平分别增加 10.42%、5.56%(F1),25.49%、10.34%(F2),11.32%、5.36%(F3);在 W1 灌溉水平下,施肥量对红枣梢径增加量影响表现为:F3>F1>F2,类似在 W2,W3 灌溉水平梢径增加量表现为:F3>F2>F1>F2>F1>F3;说明不同灌溉水平施肥量对红枣梢径增加量的影响不同。由此说明,灌水因素对红枣梢径增加量的影响大于施肥。

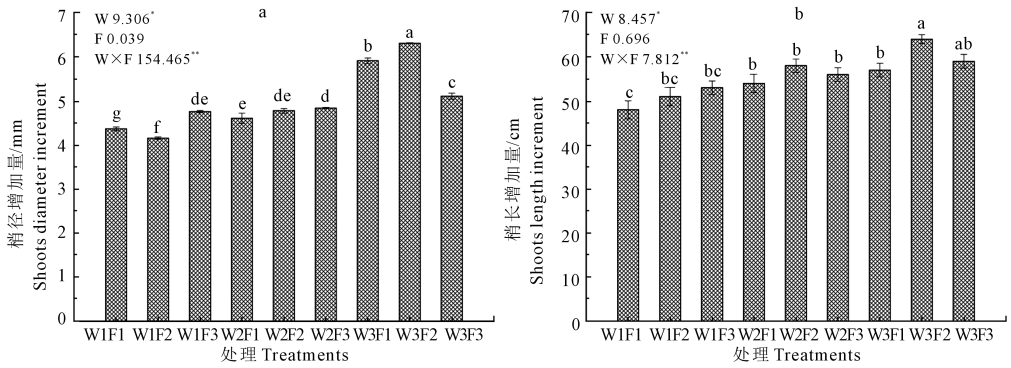

图 2 不同水肥处理对红枣梢径增加量和梢长增加量的影响

Fig.2 Effects of different water and fertilizer treatments on shoots diameter and length increment of jujube

如图 2b 所示,不同水肥处理的红枣梢长增加量在 48~64 cm,W3F2 处理值最大,比最小值 W1F1 处理提高 33.33%。梢长增加量与梢径增加量的变化规律相似,随着灌水量的增加而逐渐变大,表现为:W3>W2>W1;W3 施肥量的红枣梢长增加量比 W1、W2 分别增加 18.75%、5.56%(F1),25.49%、10.34%(F2),11.32%、5.36%(F3);在 W1 灌溉水平下,施肥量增加,梢长增加量表现为:F3>F2>F1;在 W2、W3 灌溉量条件下表现为:F2>F3>F1,说明不同灌溉水平的施肥量对红枣梢长增加量的响应不同。由此说明,灌水因素对红枣梢长增加量的影响大于施肥。

2.3　水肥供应对红枣产量和灌溉水分利用效率的影响

不同水肥处理对红枣产量和灌溉水分利用效率的影响见表 3。如表所示,灌水对红枣产量的影响不显著($P>0.05$),对灌溉水利用效率的影响达到极显著($P<0.01$,$F=11.32$),施肥对红枣产量和灌溉水分利用效率的影响不显著($P>0.05$,$F=0.409$,$P>0.05$,$F=0.17$),水肥交互作用对红枣产量和灌溉水利用效率的影响均达到极显著($P<0.01$)水平。

从表 3 可以看出,不同水肥处理红枣产量 4 661~7 256 kg·hm^{-2},最大值为 W2F1 处理,比最小值 W1F2 处理提高 55.67%。随着灌水量增加,红枣产量表现为:W2>W1>W3,W2 灌水量比 W1、W3 分别提高 24.18%、24.82%;随施肥量的提高,红枣产量表现为:F1>F3>F2,F1 施肥量比 F3、F2 分别提高 7.12%、10.93%。灌溉水分利用效率在 W1F3 处理下最高(8.17 kg·m^{-3}),但与 W2F1 处理无显著性差异($P>0.05$);增产效应反映了不同水肥处理相比于低水低肥的增产效果,可以看出,W1F2、W3F2、W3F3 处理的增产效应为负值,W2F1 处理的增产效应值最高为 33.14%,此结果与产量结果相吻合。由此说明,并不是增加水肥使用量就能显著提高红枣产量,只有水肥交互作用达到最佳耦合效应才能提高红枣产量,本试验条件下,W2F1 组合耦合效果较好,此处理为节水、节肥的最优处理。

表 3　不同水肥处理对红枣产量和灌溉水分利用效率的影响

Table 3　Effects of different water and fertilizer treatments on yield and irrigation water use efficiency

灌水处理 Irrigation treatments	施肥处理 Fertilization treatments	Y/(kg·hm^{-2})	$iWUE$/(kg·m^{-3})	E_I/%
W1	F1	5450±104.58d	7.57±0.15b	—
	F2	4661±85.58e	6.47±0.12c	-14.48
	F3	5879±84.79c	8.17±0.25a	7.87
W2	F1	7256±125.79a	7.87±0.14ab	33.14
	F2	6803±84.89b	7.38±0.19b	24.83
	F3	5799±55.65c	6.29±0.16c	6.4
W3	F1	5603±89.81cd	5.19±0.15d	2.81
	F2	4894±95.73e	4.53±0.14e	-10.2
	F3	5414±105.23d	5.01±0.21d	-0.66
显著性分析(F 值检验) Significance test (F value analysis)				
W(灌溉 Irrigation)		4.707	11.32**	/
F(施肥 Fertilization)		0.409	0.17	/
W×F		78.009**	155.822**	/

2.4　红枣生理生长指标间的相关性分析

2.4.1　*净光合速率与其他生理生长指标间的相关关系*　光合作用是植物将太阳能转化为生物能,并利用它将二氧化碳和水等无机物合成有机物时释放出氧气的过程,对植物的代谢、生长有重要作用[15-16]。因此研究红枣叶片净光合速率与其他生理、生长指标间的相关关系尤为重要。从图 3(a)可以看出净光合速率与蒸腾速率、气孔导度之间呈现二次曲线关系,净光合速率与蒸腾速率之间的决定系数为 $R^2=0.84258$,净光合速率与气孔导度之间 $R^2=0.87449$,这说明红枣净光合速率与蒸腾速率、气孔导度之间密切相关,说明净光合速率在一定程度上能反应蒸腾速率、气孔导度;图 3(b)显示,净光合速率与梢径增加量、梢长增加量之间分别呈现直线关系、三次曲线关系,净光合速率与梢径增加量、梢长增加量决定系数分别为 $R^2=0.256$、$R^2=52\,933$,这说明红枣叶片净光合速率与梢径增加量、梢长增加量有一定关系,但不密切。

2.4.2　*产量与生理生长指标间的相关关系*　产量作为最重要的经济指标,与红枣生理、生长特性存在一定关系。图 3 是红枣产量与其他指标间的相关关系。从图 3(a)可以看出,产量与红枣叶片净光合速率呈现二次曲线关系、与叶片水分利用效率呈现直线关系。产量与净光合速率之间的决定系数 R^2

=0.325 6,产量与水分利用效率的拟合度 R^2 = 0.323 6,根据拟合度可知,红枣产量与净光合速率、水分利用效率之间存在一定关系,但不密切;图 3(b)为红枣产量与生长指标的拟合关系,可以看红枣产量与红枣梢径增加量有较好的拟合关系(R^2 = 0.754 7),产量与梢长增减量有一定的关系,但不密切,说明红枣梢径增加量在一定程度上能反应红枣产量。

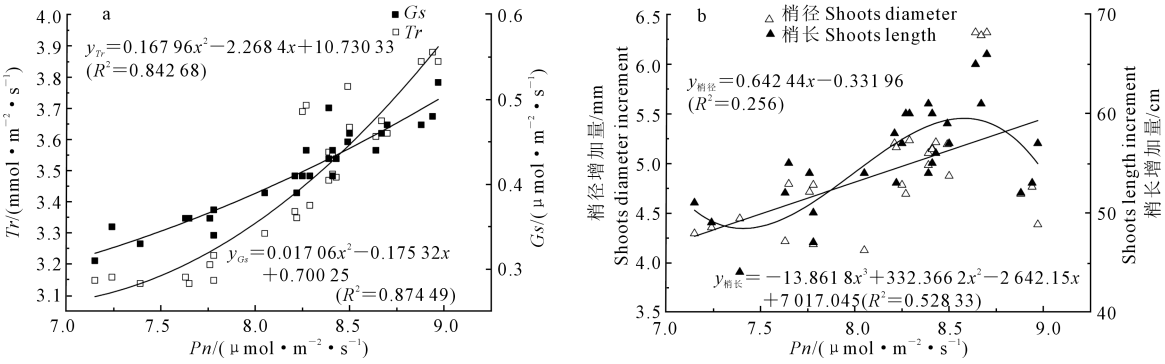

图 3 红枣叶片净光合速率与其他生理生长指标间的相关关系

Fig.3 Correlation between net photosynthetic rate of jujube leaves and other physiological growth indexes

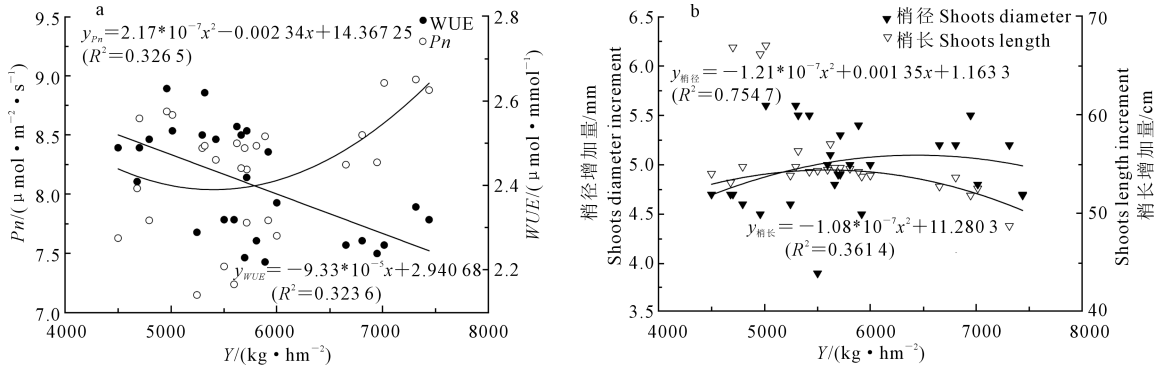

图 4 红枣产量与其他生理生长指标间的相关关系

Fig.4 Correlation between jujube yield and other physiological growth indexes

3 讨 论

水肥因子在农业生产中起到决定性作用,当水肥耦合效应达到最优时,才能起到高产增收的效果[17]。本文通过田间试验,研究了不同水肥处理对滴灌红枣生理生长及产量的影响,以期为南疆节水灌溉技术提供指导。

水肥因素是作物生长和发育的重要保障,也是影响作物光合特性的主要因素[18]。本试验条件下,灌水和水肥交互作用对叶片光合特性的影响达到极显著水平,施肥则不显著。这与王德权等[19]研究结果相似。此外本试验结果还表明,过高或者过低的灌水量均不利于红枣叶片进行光合作用,存在明显负效应,这与李银坤[20]等研究结果一致;提高施肥并未提高红枣光合特性,与王景燕等结果相反[21],这可能由于本试验是在滴灌改漫灌条件下进行,往年长期漫灌的红枣对养分需求较多,因此本试验设定的施肥水平较高,另一方面,可能灌水和施肥对于叶绿素的提高具有拮抗作用,适宜的水肥调控才能显著提高作物光合指标[7]。

"以水促肥、以肥调水"这是水肥供应的关键,只有合理的水肥配比才能有利于作物生长发育和提高产量[22]。本文研究结果表明,水肥交互作用对红枣梢径和梢长增加量的影响呈极显著水平,灌水对其影响为显著性水平,施肥则不显著,这与刘小刚[23]等对小粒咖啡苗生长的研究结果相似。田军仓等[24-25]学者研究认为灌水量与施肥量的交互作用对产量影响显著。本试验结果表明,水肥交互作用对红枣产量达到显著性水平,灌水和施肥均未达到显著性水平;不同水肥条件下,红枣的产量表现不同,水分不足时,适当增加灌水有利于提高红枣产量,过高的水肥使用量反会减少红枣产量。

通过对红枣净光合速率、产量与其他指标的曲线拟合,表明红枣叶片 *Pn*、*Tr*、*Gs* 三者密切相关,*Pn* 与 *Tr*、*Gs* 之间的拟合程度较高,这与周罕觅[26]等研究成果一致。红枣的光合作用和蒸腾作用直接受气孔导度的影响,叶片自身能够通过气孔导度的开放大小来控制红枣净光合速率和蒸腾速率,其归因

于气孔因素;产量与梢径增加量有较好的拟合关系,梢径增加量在一定程度上能反映红枣产量,而产量与梢长增加量拟合程度不高,可能是由于在实验过程中要进行修枝,对红枣梢长有一定的影响。本试验得到最佳水肥组合是在试验设定的水肥量基础上得到的,并未通过建立数学模型而得到适宜的灌溉制度,这部分仍需进一步研究,另外,试验只进行了 1 年,部分结果还需长期验证。

4　结　论

1)灌水因素对红枣叶片光合特性(*Pn*、*Tr*、*Gs*、*Ci*、*WUE*)、红枣梢径和梢长增加量、灌溉水分利用效(*iWUE*)的影响显著,水肥交互作用对红枣光合特性、红枣梢径和梢长增加量、产量和灌溉水分利用效率(*iWUE*)的影响均显著。

2)滴灌条件下,不同水肥处理红枣叶片 *Pn*、*Tr*、*Gs*、*Ci* 最大值均为 W2F1 处理;W3F3 处理下红枣叶片 *WUE* 值最高,与 W2F1 处理相比,其 *Pn*、*Tr*、*Gs* 和 *Ci* 明显下降,但 *WUE* 增加了 10.82%;红枣梢径增加量、梢长增加量最大值分别在 W2F2、W3F2 处理;红枣产量和增产效应最大值均在 W2F1 处理,灌溉水利用效率最大值在 W1F3 处理,但与 W2F1 处理无显著性差异($P>0.05$)。

3)红枣净光合速率与蒸腾速率、气孔导度之间密切相关,叶片通过控制气孔导度的开放大小来影响红枣净光合速率和蒸腾速率,其归因于气孔因素;红枣产量与红枣梢径增加量有较好的相关关系,红枣梢径增加量在一定程度上能反应红枣产量。

4)本试验条件下,全面考虑水肥协同效应、生理生长及产量等多种指标,认为南疆沙区滴灌红枣灌溉定额和施肥量控制在 820 mm(W2)、$N-P_2O_5-K_2O$ 200－100－150 kg·hm^{-2}(F1)左右时比较适宜,该水肥灌溉制度为南疆地区红枣优质高效生产提供重要依据。

参 考 文 献:

[1] Wolfe D W,Henderson D W,Hsiao T C,et al.Interactive water and nitrogen effects on senescence of maize.I.leaf area duration,nitrogen distribution,and yield[J].American Society of Agronomy,1988,80(6):859-864.

[2] Wang Y, Zhang Y P. Quantitative effect of soil texture composition on retardation factor of K^+ transport[J]. Pedosphere, 2001, 11(4):377-382.

[3] Thompson T L,Doerge T A,Godin R E.Nitrogen and water interactions in subsurface dripirrigated cauliflower:Ⅱ.agronomic,economic,and environmental outcomes[J].Soil Science Society of America Journal,2000,64(1):412-418.

[4] 贾志宽,韩清芳,杨万忠,等.水肥条件对冬小麦旗叶光合特性及生物量的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2015,43(12):83-90.

[5] 吴立峰,张富仓,范军亮,等.水肥耦合对棉花产量、收益及水分利用效率的效应[J].农业机械学报,2015,46(12):164-172.

[6] 周罕觅,张富仓,Roger Kjelgren,等.水肥耦合对苹果幼树产量、品质和水肥利用的效应[J].农业机械学报,2015,46(12):173-183.

[7] 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.

[8] 杨小振,张显,马建祥,等.滴灌施肥对大棚西瓜生长、产量及品质的影响[J].农业工程学报,2014,30(7):109-118.

[9] 王成,孙凯,姚宝林,等.南疆绿洲区滴灌红枣不同生育期水肥利用研究[J].节水灌溉,2014,(05):18-21.

[10] 胡安焱,董新光,魏光辉,等.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.

[11] 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.

[12] 胡家帅,王振华,郑旭荣,等.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.

[13] 张辉,张玉龙,虞娜,等.温室膜下滴灌灌水控制下限与番茄产量、水分利用效率的关系[J]. 中国农业科学,2006,39(2):425-432.

[14] Badr M A,Abou S D,Husseinw A EI-Tohamy,et al.Nutrient uptake and yield of tomato under various methods of fertilizer application and levels of fertigation in arid lands[J].Gesunde pflanzen,2010,62:11-19.

[15] Meianied J,Thomasc H.Nickel toxicity in mycorrhizal birch seedlings infected with Lactarius rufus or Scleroderma flavidum I.Effects on growth photosynthesis respiration and transpiration[J]. New Phytologist,1988,108(4):451-59.

[16] Silvia A,Marta C,Monica G,et al.Estimation of Mediterranean forest transpiration and photosynthesis through the use of anecosystem simulation model driven by remotely sensed data[J].Global Ecology and Biogeography,2004,13(4):371-380.

[17] 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(03):1-13.

[18] 赵永平.灌溉和施氮对甜叶菊光合特性和产量品质的调控[D].兰州:甘肃农业大学,2014.

[19] 王德权,马忠明,杨蕊菊,等.水肥耦合条件下间作小麦光合特性的响应[J].中国农学通报,2009,25(15):215-218.

[20] 李银坤,武雪萍,吴会军,等.水氮条件对温室黄瓜光合日变化及产量的影响[J].农业工程学报,2010,26(增刊1):122-129.

[21] 王景燕,龚伟,包秀兰,等.水肥耦合对汉源花椒幼苗叶片光合作用的影响[J].生态学报,2016,36(05):1321-1330.

[22] 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.

[23] 刘小刚,徐航,程金焕,等. 水肥耦合对小粒咖啡苗木生长和水分利用的影响[J].浙江大学学报(农业与生命科学版),2014,40(01):33-40.

[24] 何进宇,田军仓.膜下滴灌旱作水稻水肥耦合模型及组合方案优化[J].农业工程学报,2015,31(13):77-82.

[25] 韩丙芳,田军仓,杨金忠,等.膜侧灌甜菜水肥耦合产量效应研究[J].中国农村水利水电,2008,(03):39-43.

[26] 周罕觅,张富仓,Roger Kjelgren,等.苹果幼树生理特性和水分生产率对水肥的响应研究[J].农业机械学报,2015,46(04):77-87.