

不同灌水量对滴灌猕猴桃光合、产量与水分利用效率的影响

张效星¹, 樊毅², 崔宁博^{1,3*}, 李晨^{1,4}, 胡笑涛⁵, 龚道枝⁶

(1. 四川大学水力学与山区河流开发保护国家重点实验室/水利水电学院, 成都 610065;
2. 四川省水利科学研究院, 成都 610072; 3. 南方丘区节水农业研究四川省重点实验室,
成都 610066; 4. 水利部长江水利委员会综合管理中心, 武汉 430015; 5. 西北农林科技大学
旱区农业水土工程教育部重点实验室, 陕西 杨凌 712100; 6. 中国农业科学院
农业环境与可持续发展研究所/作物高效用水与抗灾减损国家工程实验室, 北京 100081)

摘要:【目的】揭示不同灌水量对滴灌猕猴桃生长、产量及水分利用效率的调控效应。【方法】以7 a生“金艳”猕猴桃为试材,在果实膨大期(III期)、果实成熟期(IV期)各设置1个对照(CK)和4个灌水处理,即高水(HW)、中水(MW-1)、偏低水(MW-2)和低水处理(LW),灌水量分别为CK的55%、65%、75%和85%。【结果】猕猴桃叶片光合特性因生育期和灌水量的不同而呈现明显差异,其光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)和气孔导度(g_s)均随灌水量的减小而减小,但III-HW、IV-HW处理的 P_n 与CK差异不显著($P>0.05$),III-HW和IV-MW-2处理的瞬时水分利用效率较CK分别显著提高了2.70%、5.41%($P<0.05$);各处理猕猴桃产量较CK仅下降0.09%~6.24%,产量水分利用效率(WUE_y)则提高了2.82%~23.16%,其中III-HW、IV-MW-1处理产量仅下降了0.09%、2.45%,而 WUE_y 提高了2.82%、10.73%。【结论】滴灌猕猴桃果实膨大期高水处理、果实成熟期中水处理保持产量无明显下降,有效提高 WUE_y ,并节水2.50%、11.62%(分别节水156、726 m³/hm²),具有较好的节水稳产效果。

关键词:滴灌; 不同灌水量; 猕猴桃; 光合特性; 产量; 产量水分利用效率

中图分类号:S274.1; S512.9

文献标志码:A

doi:10.13522/j.cnki.gggs.20180254

张效星, 樊毅, 崔宁博, 等. 不同灌水量对滴灌猕猴桃光合、产量与水分利用效率的影响[J]. 灌溉排水学报, 2019, 38(1):1-7.

0 引言

猕猴桃(*Actinidia chinensis* Planch)富含钙、铁、锌、硒等多种微量元素及人体所需多种维生素、氨基酸,素有“水果之王”的美誉^[1-2]。猕猴桃原产于中国秦巴山脉^[3],目前全球形成了以意大利、新西兰、中国、智利为主的猕猴桃产业格局。我国作为世界第3大生产国,目前已形成四川龙门山和苍溪产业带、陕西秦岭北麓产业带、湖南湘西产业带和河南西峡产业带4大产区,发展出了60多个品种^[4]。但近年来频发的季节性干旱及粗放式水肥管理导致其产量不稳定、品质较低,阻碍了猕猴桃产业的发展。

猕猴桃属于大型落叶木质藤本植物,与草本植物相比,猕猴桃果树根系空间扩展范围广、密度低,水分输导距离相对较长,对水分的吸收阻力大,但由于果树自身的水分协调适应机制,气孔导度(g_s)对叶片内外水汽压差响应迅速,发生水分亏缺时 g_s 迅速下降^[5];也有研究指出,水分亏缺会抑制光合作用相关酶的活性^[6],减小叶片 g_s ^[7-9],导致胞间CO₂摩尔分数下降^[6-7],甚至会破坏叶绿体的光合活性^[10],使光合速率(P_n)下降、同化物积累受阻。同时,适度的水分亏缺能够增强植物的抗逆性^[11]。内源激素脱落酸(ABA)将土壤干旱信号传递给茎和叶,通过调控气孔开度减小叶片蒸腾(T_r),产生一定的自我保护效应^[11],进而提高水分利用效率,当水分亏缺解除后,ABA下降, g_s 增加,植物体内同化速度加快, P_n 明显提高。促进营养生长向生殖生长

收稿日期:2018-05-02

基金项目:“十二五”国家科技支撑计划项目(2015BAD24B01-01);国家自然科学基金面上项目(51779161);中央高校基本科研业务费专项资金项目(2016CDDY-S04-SCU, 2017XDLZ-N22)

作者简介:张效星(1994-),女,山西平遥人。硕士研究生,主要从事节水灌溉理论与新技术研究。E-mail: 13281090829@163.com

通信作者:崔宁博(1981-),男。副教授,主要从事节水灌溉理论与新技术研究。E-mail: cuiningbo@126.com

过渡,呈现出“补偿效应”^[12-15],最终引起作物光合产物由营养器官向生殖器官分配^[11]。

国内外关于果树水分亏缺的研究较多。对金钱橘^[16]、猕猴桃^[17-18]、苹果^[19-20]等进行亏水处理后,叶片 g_s 、 T_r 、 P_n 均减小,主要原因是水分亏缺造成叶片气孔关闭,影响了与外界气流的交换^[16],尤其猕猴桃对土壤水分十分敏感,水分亏缺直接影响叶片 T_r ,进而提高瞬时水分利用效率(WUE_i)^[18]。研究发现,白天对柑橘进行亏水处理, WUE_i 提高13%~15%^[21]。同时,亏水处理减小了苹果果径,并造成减产^[19-20]。然而,对Navelina橘进行轻度亏水不会降低产量,同时可节水12%~27%^[21],节水小于1 000 m³/hm²(约3 m³/棵)时,亏水不会影响产量和果实品质^[22]。芒果亏水试验中,中度亏水(50%)达到了最大产量(18.4 t/hm²)和最大水分利用效率(7.14 kg/m³)^[23]。在10月中旬—12月中旬对柑橘施用75%灌溉水,对产量无显著影响^[24]。在苹果开花期后第40~70天进行亏水,在达到最大产量和最高水分利用效率的同时,苹果品质未受影响^[25]。梨枣树调亏灌溉后,品质得到了提高^[26]。猕猴桃亏水处理后,总叶面积减小了72%~77%,根茎比高于对照3.5倍^[17],亏水处理影响猕猴桃干物质分配^[18]。在开花期前10~30 d亏水或果径达到成熟时60%~80%亏水均不会影响猕猴桃产量,有些处理的产量甚至比对照高10.49%^[27]。亏水灌溉条件下桃子的可溶性固形物、总酸度高于充分灌溉^[21]。当茎水势(Ψ_{st})>-2.0 MPa时,亏水将对柑橘产量、品质带来不利影响^[21]。为此,以四川地区最为广泛的“金艳”猕猴桃为研究对象,结合生产实际并以当地灌溉量为对照组,在2个生育期分别进行不同灌水量的处理,分析不同生育期不同灌水量对猕猴桃光合、产量与水分利用效率的影响,对充分发挥果树的生產潜力、促进西南地区猕猴桃产业健康发展具有重要的现实意义。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于2016年3月下旬—10月下旬在四川省成都市蒲江县复兴乡陈坝村猕猴桃基地(海拔534 m, 103°19′—103°41′E、30°5′—30°21′N)进行。试验区位于成都平原腹地,以平坝、丘陵地形为主,属亚热带湿润季风气候区,年均气温为16.3℃,年均降雨量为1 196.2 mm,年均相对湿度为87.84%。选用地块占地面积0.43 hm²,土壤类型以黄壤土为主,体积质量为1.27~1.45 g/cm³,田间质量持水率为27.34%,土壤全氮质量分数为0.69 g/kg,有机质量为9.32 g/kg,有效磷量为4.6 mg/kg,速效钾量为130 mg/kg。

1.2 试验设计

试验选用7 a生“金艳”猕猴桃,株高170~200 cm,株径8~10 cm,冠层高度1.5~2.0 m,沿列成“Y”形分枝,伸展2.9~3.0 m,平均株行距5 m×4.5 m,平均种植密度为450株/hm²,每个处理重复3次,其主要生育期划分为抽梢展叶期(I期,3月下旬至4月中旬)、开花坐果期(II期,4月中旬至5月上旬)、果实膨大期(III期,5月上旬至6月下旬)和果实成熟期(IV期,6月下旬至10月下旬)。试验以常规灌溉为对照(CK),分别在III期、IV期设置4个亏水水平,灌水量分别为CK的85%(HW)、75%(MW-1)、65%(MW-2)和55%(LW),灌水周期为7~10 d,详见表1。试验用肥均按照当地适宜的水溶肥配方施加,且采用水肥一体化设备操作。不同处理的灌溉次数与CK一致。

表1 猕猴桃滴灌水分亏缺试验各处理灌水定额

	mm								
处理	CK	III-LW	III-MW-2	III-MW-1	III-HW	IV-LW	IV-MW-2	IV-MW-1	IV-HW
灌水水平	无	低水	偏低水	中水	高水	低水	偏低水	中水	高水
抽梢展叶期(I)	19.05	19.05	19.05	19.05	19.05	19.05	19.05	19.05	19.05
开花坐果期(II)	27.30	27.30	27.30	27.30	27.30	27.30	27.30	27.30	27.30
果实膨大期(III)	39.00	21.45	25.35	29.25	33.15	39.00	39.00	39.00	39.00
果实成熟期(IV)	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00	18.15	21.45	24.75	28.05
总灌水量	617.55	551.57	568.06	584.56	601.05	461.59	500.58	539.57	578.56

滴灌带布设在果树两侧,间距1.2 m;支管进口处设置水表、阀门、比例施肥泵;每6条支管布设1条干管,干管首端安装水表与阀门,滴灌采用以色列Dripnet PC压力补偿式滴灌带,沿地面布设,每条滴灌带等间距内嵌14个压力补偿滴头(每棵树单侧7个滴头),流量1.6 L/h。滴灌系统水源为地下水,水量充足,水质良好。滴灌系统首部包含溶肥池、过滤装置、水表、阀门、施肥泵(不施肥时关闭)等设施。

试区采用高透光薄膜电动防雨棚作为避雨设施,搭建5.5 m高连拱大棚,交拱处积雨在南侧较低处汇集排除,排水沟(表面敷0.05 mm厚防水膜)南北走向,布置在2列果树中间,尺寸为深60 cm、宽50 cm,兼具地

面排水、隔离试区、降低地下水位的作用,整个试区与周围区域间预留2~3列果树作为保护带,保护带水肥施加参照对照组,试区地下水埋深12 m。

1.3 测定方法

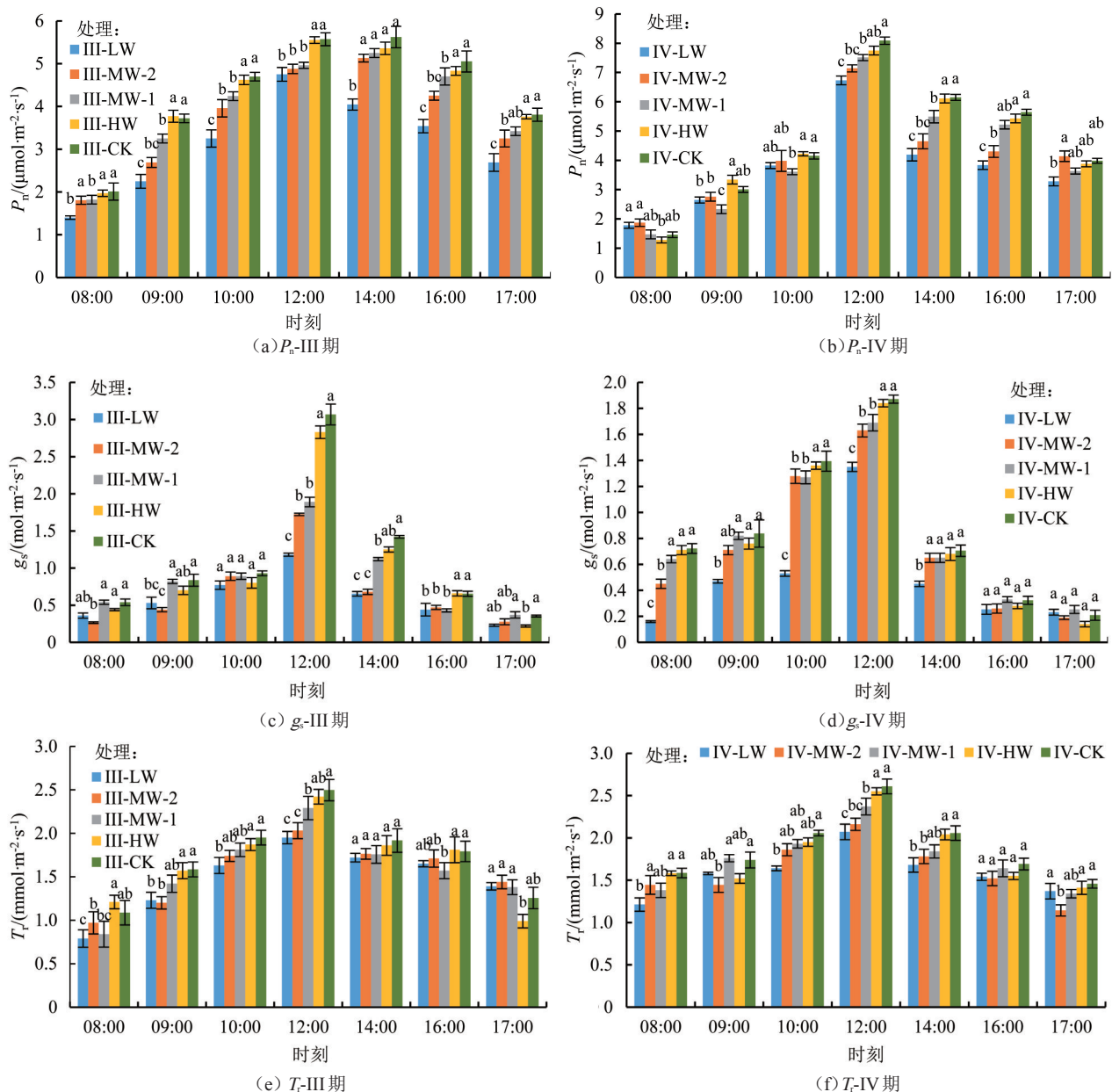
采用取土烘干法测定土壤含水率;使用全自动便携式光合仪(LCPro-SD,英国ADC),分别于III期(6月15日,灌水后第6天)、IV期(7月30日,灌水后第6天)天气晴朗日选择各处理具有代表性的4片叶子,测定08:00—18:00猕猴桃的光合特性,包括净光合速率(P_n)、气孔导度(g_s)、蒸腾速率(T_r)和胞间 CO_2 体积分数(C_i)、大气温度(T)和光合有效辐射(photosynthetically active radiation, PAR)。并计算叶片瞬时水分利用效率($WUE_i = P_n/T_r$)和羧化速率($CE = P_n/C_i$);采用水量平衡法计算耗水量。

采用SPSS19.0软件进行单因素方差(analysis of variance, ANOVA)分析,采用Microsoft Excel 2007绘制图表。

2 结果与分析

2.1 光合特性

图1为滴灌不同灌水量条件下猕猴桃叶片光合特性和叶片瞬时水分利用效率的日变化,表2为滴灌水亏缺猕猴桃光合特性日均值,图表中不同小写字母表示在0.05水平上处理间差异显著。



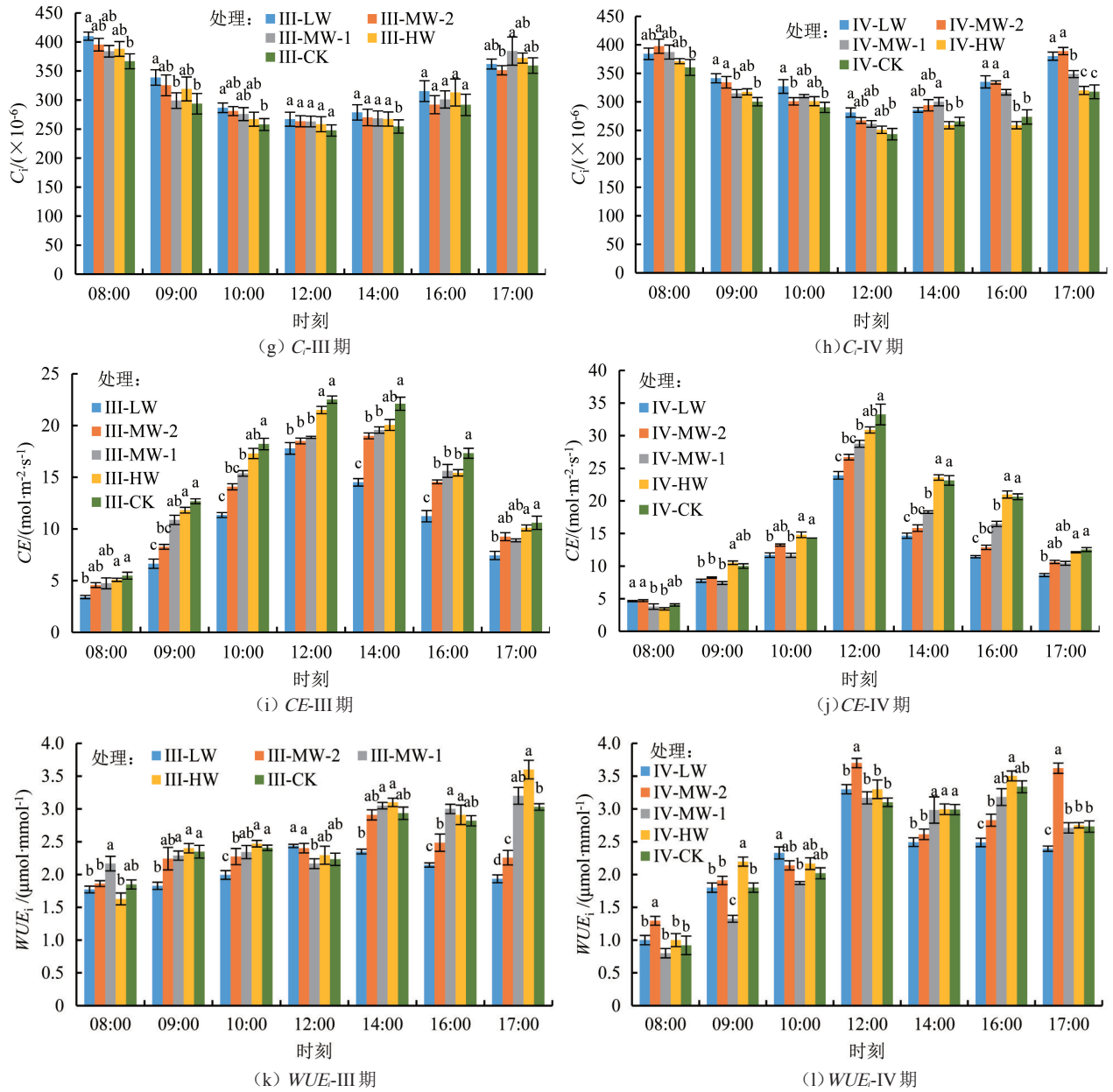


图1 猕猴桃叶片光合特性和叶片瞬时水分利用效率的日变化

表2 滴灌水分亏缺猕猴桃光合特性日均值

生育期	处理	P_n / ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	T_n / ($\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	g / ($\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	C_i / ($\times 10^{-6}$)	CE / ($\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	WUE_i / ($\mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1}$)
果实膨大期(III)	III-LW	4.00±0.035d	1.79±0.006c	0.98±0.044d	276.84±1.732a	0.014 4±0.001 3d	2.23±0.042c
	III-MW-2	4.42±0.002c	1.89±0.001bc	1.31±0.065c	272.26±0.001b	0.016 2±0.001 0c	2.34±0.001ab
	III-MW-1	4.60±0.006b	2.05±0.012b	1.39±0.058c	269.38±0.577b	0.017 1±0.001 0b	2.24±0.015c
	III-HW	5.09±0.001a	2.15±0.006ab	1.82±0.015b	262.65±4.619c	0.019 4±0.003 6b	2.37±0.008a
	CK	5.13±0.218a	2.22±0.319a	2.00±0.066a	252.71±2.174d	0.020 3±0.006 3a	2.31±0.651b
果实成熟期(IV)	IV-LW	5.28±0.497c	1.86±0.415c	0.94±0.072c	304.16±1.528a	0.017 3±0.001 38c	2.84±0.575a
	IV-MW-2	5.56±0.360b	2.01±0.254bc	1.45±0.01b	284.08±7.211b	0.019 6±0.001 3b	2.77±0.197b
	IV-MW-1	5.56±0.472b	2.15±0.254b	1.48±0.026b	285.60±3.055b	0.019 5±0.001 3b	2.59±1.867c
	IV-HW	5.99±0.069a	2.25±0.329ab	1.60±0.130a	276.09±6.351c	0.021 7±0.000 4a	2.66±0.963c
	CK	6.12±0.218a	2.33±0.319a	1.63±0.066a	266.80±2.174d	0.022 9±0.006 3a	2.62±0.651c

从图1和表2可以看出,1)净光合速率(P_n)因生育期和灌水量的不同呈现一定差异; P_n 日变化呈单峰状,12:00达到峰值,IV期各处理 P_n 在12:00为6.73~8.09 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,17:00为3.28~3.98 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,均高于III期(4.75~5.57 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 、2.69~3.81 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$; P_n 随灌水量的减小而下降,与CK相比,III、IV期各处理的 P_n 分别下降0.92%~22.09%、2.17%~13.80%,其中III-LD、IV-LD处理的降幅仅为0.92%、2.17%,与CK差异不显著($P>0.05$), P_n 变化规律与文献[28]的试验结果一致。

2)猕猴桃叶片气孔导度(g_s)日变化呈单峰状,12:00达到峰值,III、IV期各处理 g_s 在12:00分别达1.18~3.07、1.5~1.87 mol/(m²·s);同时, g_s 日均值随灌水量的减小而降低,表现为CK>HW处理>MW-1处理>MW-2处理>LW处理,与文献[27]的研究结果相同。与CK相比,III、IV期不同灌水量处理后 g_s 降幅分别为9.19%~51.22%、1.98%~42.42%,IV-HW处理较CK差异不显著($P>0.05$)。 g_s 的变化与 T 、 RH 、 PAR 密切相关,且变化较为敏感,随着温度的升高和光照强度的增强,叶片相关酶的活性提高, g_s 增大。

3)猕猴桃叶片蒸腾速率(T)日变化呈“08:00—10:00迅速上升、10:00—12:00缓慢上升、12:00左右达到最大、12:00—16:00缓慢下降、16:00开始迅速减小”的变化趋势。 T 日变化因生育期和灌水量的不同表现出一定的差异:IV期各处理当天 T_{max} 在2.07~2.61 mmol/(m²·s)之间,较III期各处理 T_{max} 高4.4%~6.15%; T 随亏水度的加剧而降低,日均 T 表现为CK>HW处理>MW-1处理>MW-2处理>LW处理,其中III-HW和IV-HW处理较CK差异不显著($P>0.05$),其余处理差异均达显著水平($P<0.05$)。 T 与 g_s 变化趋势一致, T 随 g_s 的增大而增加。

4)猕猴桃叶片胞间CO₂体积分数(C_i)日变化呈凹型,III、IV期各处理 C_i 在08:00分别达366.7×10⁻⁶~410×10⁻⁶、360.36×10⁻⁶~379.58×10⁻⁶,12:00最小,分别为247.62×10⁻⁶~267.53×10⁻⁶、243.29×10⁻⁶~281.32×10⁻⁶;结合表2可知, C_i 随灌水量的减小而增大,均值表现为LW处理>MW-2处理>MW-1处理>HW处理>CK,III-LW、IV-LW处理较CK显著提高9.54%、14.00%($P<0.05$);同时,III期各处理 C_i 整体低于IV期3.63%~6.63%。 C_i 值与 P_n 、 g_s 密切相关,夜间叶片几乎不进行光合作用,且受呼吸作用的影响,猕猴桃叶片在08:00、19:00时最大,随着光照强度的增强, g_s 提高、 P_n 增强、CO₂消耗量逐渐增加, C_i 开始下降,且12:00达到最低,12:00—15:00逐渐回升。

5)猕猴桃叶片羧化速率(CE)日变化为单峰型, CE 与灌水量成正比,灌水量大, CE 越大,整体表现为CK>HW处理>MW-1处理>MW-2处理>LW处理,III、IV期不同灌水量处理的 CE 日均值较CK分别降低5.06%~14.95%、0.83%~16.76%,除IV-HW处理外,其余处理较CK差异均达显著性水平($P<0.05$);同时,IV期叶片 CE 日均值整体高于III期32.73%~45.20%,印证了文献[29]研究结果。IV期干物质、糖分等快速积累,营养物质从叶片向果实加速转移,进一步加快了同化速率,使 CE 保持较高水平,但受水分影响而呈现一定差异。

6)猕猴桃叶片瞬时水分利用效率(WUE_i)在08:00受低温影响较低;09:00—10:00气温逐渐回升、光照强度增强,且 P_n 提高速度高于 T ,因此 WUE_i 曲线开始升高,IV期 WUE_i 在12:00显著高于III期,可能是IV期 PAR 高于III期、 T 较低所致。同时,IV期的 WUE_i 较III期高,IV期亏水后的 WUE_i 较CK处理的变幅在-1.46%~8.36%之间。

2.2 产量、耗水量及水分利用效率

表3为不同生育期不同灌水量下猕猴桃产量、耗水量及水分利用效率 WUE_y 。表3显示,不同灌水量降低了猕猴桃果树的耗水量,亏水处理III、IV生育期的耗水量较CK分别下降2.50%~10.14%、5.76%~22.92%,而产量分别下降0.09%~6.24%、2.45%~5.79%,说明不同灌水量的处理对猕猴桃产量的影响较小; WUE_y 分别提高2.82%~7.34%、0~

表3 猕猴桃产量、耗水量及水分利用效率

生育期	处理	耗水量/mm	产量/(kg·hm ²)	WUE_y /(kg·m ⁻³)
果实膨大期(III)	III-LW	581.71	10 385.6±55.9b	1.85±0.01ab
	III-MW-2	601.20	11009.1±60.3ab	1.90±0.01a
	III-MW-1	620.69	10 977.5±22.5ab	1.85±0.01ab
	III-HW	640.18	11 066.7±50.5a	1.82±0.01ab
果实成熟期(IV)	IV-LW	481.78	10 522.8±51.6b	2.18±0.01a
	IV-MW-2	514.71	10 633.4±61.0b	2.07±0.01ab
	IV-MW-1	552.43	10 805.2±32.9ab	1.97±0.01ab
	IV-HW	589.03	10 435.8±56.2b	1.77±0.01b
	CK	625.03	11 076.9±34.1a	1.77±0.01b

23.16%,且 WUE_y 随着灌水量的减小大致呈增加的趋势,IV-LW处理的最大(2.18 kg/m³),与文献[26]对猕猴桃的亏水试验结果一致。其中,III-HW、IV-MW-1处理在节水2.50%、11.62%的同时,产量较CK仅下降0.09%、2.45%, WUE_y 提高2.82%、10.73%,是猕猴桃较为适宜的灌水模式。

3 讨论

试验研究发现,滴灌条件下不同生育期适度减少灌水并未显著降低猕猴桃光合速率(P_n),并且有效提高了叶片水分利用效率。猕猴桃对土壤水分十分敏感^[18],当发生水分亏缺时,气孔导度(g_s)降低1.98%~51.22%,蒸腾速率(T)降低3.52%~20.45%。本试验减小灌水量后光合速率增加的原因可能是由于适度的亏水刺激了光化学系统中的相关酶活性,使光合速率较CK高甚至在部分时间显著高于CK。在胡瓜试验^[30]发现,亏水初期碳同化关键酶基因 $rbcl$ 和 $rbcs$ 相关mRNA的表达呈上升趋势,轻度亏水条件下Rubisco

酶活性提高^[30-31],在适度亏水(叶水势-1.40~-1.20 MPa)后,光系统II的最大光化学效率、实际光化学效率、最大羧化速率、光合电子传递速率均提高,非光化学猝灭降低,叶片净光合速率表现为增大^[31]。

本试验研究发现,滴灌条件下不同生育期适度减少灌水在保持猕猴桃产量无明显下降的前提下,提高产量水分利用效率(WUE_y)。本试验中,减小灌水量后产量较CK仅下降0.09%~6.24%,说明在特定生育期减小灌水量对猕猴桃产量的影响较小, WUE_y 提高0%~23.16%,与文献[27]亏水试验结果一致。光合作用是猕猴桃形成产量的重要基础,植物经受适度干旱后普遍存在“补偿效应”,得益于复水后具有高水力传导力,气孔迅速打开, P_n 迅速恢复^[18],且 P_n 高于对照水平,加速了光合产物的形成^[22],有利于果实细胞分裂和细胞膨大,促进了果实体积增加,果实出现加速生长的现象^[21],在其他条件不变的情况下,节约灌溉用水,不减产甚至提高产量^[22,31,33]。本试验中IV-MW-1处理的 P_n 较CK下降9.15%($P<0.05$),但产量仅下降2.45%, WUE_y 提高了10.73%。除此之外,适度减小灌水量,对于防止枝蔓的疯长、徒长和提高花芽生理分化十分有效,有利于同化物由营养器官向生殖器官分配^[11]。

4 结 论

1)猕猴桃叶片光合特性因生育期和灌水量的不同而呈现一定的差异,随灌水量的减小,光合速率、蒸腾速率和气孔导度整体呈降低的变化趋势。III-HW、IV-HW处理的光合速率与CK差异不显著($P>0.05$),瞬时水分利用效率较CK显著提高2.70%、1.39%,III-HW处理与CK之间差异达显著水平($P<0.05$)。

2)滴灌不同灌水量对猕猴桃产量影响较小,产量水分利用效率随灌水量的减小大致呈增加的变化趋势。与CK相比,在果实膨大期、果实成熟期进行亏水处理后,猕猴桃产量仅下降0.09%~6.24%,产量水分利用效率提高了0%~23.16%。

3)滴灌减小灌水量后,III-HW、IV-MW-1处理在节约灌溉水2.5%、11.62%的同时,产量较CK仅下降0.09%、2.45%, WUE_y 提高2.82%、10.73%,说明在猕猴桃果实膨大期进行高水、果实成熟期进行中水处理能达到较好的节水稳产效果。

参考文献:

- [1] 黄宏文. 猕猴桃高效栽培[M]. 北京:金盾出版社,2001.
- [2] 崔致学. 中国猕猴桃[M]. 济南:山东科学技术出版社,1993.
- [3] 贺浩浩. 猕猴桃园水肥一体化应用效果研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2015.
- [4] 徐小彪,张秋明. 中国猕猴桃种质资源的研究与利用[J]. 植物学通报, 2003, 20(6):648-655.
- [5] MITCHELL J P, SHENNAN C, GRATAN S R, et al. Tomato fruit yield and quality under water deficit and salinity[J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 1991, 116: 215-221.
- [6] FACIA J M, MEDINAA E T, MARTÍNEZ-COBBA, et al. Fruit yield and quality response of a late season peach orchard to different irrigation regimes in a semi-arid environment[J]. Agricultural Water Management, 2014, 143: 102-112.
- [7] 张乐,尹娟,王怀博,等. 不同灌水处理对玉米生长特性及水分利用效率的影响[J]. 灌溉排水学报, 2018, 37(2): 24-29.
- [8] BOYER J S. Water Deficits and Plant Growth[M]. New York :Academic Press, 1976: 153-190.
- [9] 许大全,李德耀,沈允钢,等. 田间小麦叶片光合作用“午睡”现象的研究[J]. 植物生理学报, 1984, 10(3):269-276.
- [10] FARQUHAR G D, SKARKEY T D. Stomatal conductance and photosynthesis[J]. Annual Review of Plant Physiology, 1982(33): 317-345.
- [11] 康绍忠,蔡焕杰. 农业水管理学[M]. 北京:中国农业出版社,1996.
- [12] 茆智,崔远来,李新健. 我国南方水稻水分生产函数试验研究[J]. 水利学报,1994(9):21-30.
- [13] CHAVES M M, MAROCO J P, PEREIRA J S. Understanding plant responses to drought from genes to the whole plant[J]. Functional Plant Biology, 2003, 30(3): 239-264.
- [14] JACKSON R B, SPERRY J S, DAWSON T E. Root water uptake and transport: using physiological processes in global predictions[J]. Trends in Plant Science, 2000, 5(11): 482-488.
- [15] EAPEN D, BARROSO M L, PONCE G, et al. Hydrotropism: root growth responses to water[J]. Trends in Plant Science, 2005, 10(1): 44-50.
- [16] CHANG Y C, CHANG Y S, LIN L H. Response of shoot growth, photosynthetic capacity, flowering, and fruiting of potted ‘Nagami’ kumquat to different regulated deficit irrigation[J]. Horticulture, Environment, and Biotechnology, 2015, 56(4): 444-454.
- [17] CHARTZOULAKIS K, NOITSAKIS B, THERIOS I. Photosynthesis, plant growth and dry matter distribution in kiwifruit as influenced by water deficits[J]. Irrigation Science, 1993, 14(1):1-5.
- [18] GUCCIF R, MASSAI R. The effect of drought and vapour pressure deficit on gas exchange of young kiwifruit (*Actinidiadeliciosa* var. *deliciosa*) vines [J]. Annals of Botany, 1996, 77 (6) :605-613.
- [19] LEIB B G, CASPARI H W, REDULLA C A, et al. Partial rootzone drying and deficit irrigation of ‘Fuji’ apples in a semi-arid climate[J]. Irrigation Science, 2006, 24 (2) :85-99.
- [20] GOODWIN I, WHEATON A D, O’CONNELL M G. Response of pink lady apple to irrigation estimated from effective area of shade[J]. Acta Horticulturae, 2008, 792 (792):495-502.

- [21] GASQUE María, MARTÍ Pau, GRANERO Beatriz, et al. Effects of long-term summer deficit irrigation on 'Navelina' citrus trees[J]. Agricultural Water Management, 2016, 169: 140-147.
- [22] GARCÍATEJERO I, ROMEROVICENTE R, JIMÉNEZBOCANEGRA J A, et al. Response of citrus trees to deficit irrigation during different phenological periods in relation to yield, fruit quality, and water productivity.[J]. Agricultural Water Management, 2010, 97(5):689-699.
- [23] ZUAZO D, HVGGO V, PLEGUEZHELO, et al. Impact of sustained-deficit irrigation on tree growth, mineral nutrition, fruit yield and quality of mango in Spain[J]. Fruits, 2011,66(4): 257-268.
- [24] WIEBEREN. Effects of regulated deficit irrigation on fruit yield, quality, and physiology of Washington navel orange trees[J].Dissertations & Theses - Gradworks, 2016.
- [25] KÜÇÜKYUMUK C, KAÇAL E, YILDIZ H. Effects of different deficit irrigation strategies on yield, fruit quality and some parameters: 'Braeburn' apple cultivar[J].Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 2013, 41 (2) :510-517.
- [26] 易晓丽, 曹红霞, 王雪梅, 等. 温室梨枣树土壤水分和品质对调亏灌溉的响应[J]. 灌溉排水学报, 2012, 31(3):68-71.
- [27] LAGOS L O, LAMA W, HIRZEL J, et al. Regulated deficit irrigation evaluation on kiwi (*Actinidia deliciosa*) production[J]. Agrociencia, 2017, 51(4): 359-372.
- [28] 莫凌, 韦兰英, 张中峰, 等. 桂北中华猕猴桃光合蒸腾特性及其影响因子研究[J]. 西南农业学报, 2008, 21(4):1-8.
- [29] 方绍正. 遮荫和水分对“皖翠”猕猴桃光合生理特性影响的研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2005.
- [30] ZHANG Lidong, ZHANG Liuxia, SUN Jianlei, et al. Rubisco gene expression and photosynthetic characteristics of cucumber seedlings in response to water deficit[J]. Scientia Horticulturae. 2013, 161: 81-87.
- [31] CUI Yakun, TIAN Zhongwei, ZHANG Xu, et al. Effect of water deficit during vegetative growth periods on post-anthesis photosynthetic capacity and grain yield in winter wheat (*Triticum aestivum*, L.)[J]. Acta Physiologiae Plantarum, 2015, 37(10):1-10.
- [32] KAMER P J. Water Relation of plant[M]. New York: Academic Press, 1987: 360-364.

The Effects of Drip-irrigation Amount on Photosynthesis, Yield and Water Use Efficiency of Kiwifruit

ZHANG Xiaoxing¹, FAN Yi², CUI Ningbo^{1,3*}, LI Chen^{1,4}, HU Xiaotao⁵, GONG Daozhi⁶

(1. State Key Laboratory of Hydraulics and Mountain River Engineering & College of Water Resource and Hydropower, Sichuan University, Chengdu 610065, China; 2. Sichuan Provincial Water Conservancy Research Institute, Chengdu 610072, China; 3. Provincial Key Laboratory of Water-saving Agriculture in Hill Areas of Southern China, Chengdu 610066, China; 4. Integrated Management Center, Changjiang Water Resources of Commission of the Ministry of Water Resources, Wuhan 430015, China; 5. Key Laboratory of Agricultural Soil and Water Engineering in Arid and Semiarid Areas, Ministry of Education, Northwest A&F University/Institute of Water-saving Agriculture in Arid Areas of China, Yangling 712100, China; 6. State Engineering Laboratory for Efficient Water Use and Disaster Loss Reduction of Crops, Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, Chinese Academy of Agriculture Science, Beijing 100081, China)

Abstract:【Objective】This paper aims to provide a drip irrigation schedule during fruit expansion (III) and fruit maturity stage (IV) of a seven-year old Jin Yan kiwi, based on the effects of irrigation amount during the two stages on photosynthesis, grain yield and water use efficiency of the kiwi.【Method】The field experiment examined five irrigation amounts: sufficient irrigation (CK), high irrigation using 85% of water used in CK (HW), middle irrigation using 75% of water used in CK (MW-1), moderate irrigation using 65% of water used in CK (MW-2), and low irrigation using 55% of water used in CK (LW).【Result】Deficit irrigation had a significant impact on photosynthesis, with the photosynthetic rate, transpiration rate and stomatal conductance all decreasing as water deficiency increased. The instant water use efficiency under water deficiency was -4.83% to 14.05% higher than that under CK, and the photosynthetic rate under III+HW and IV+HW treatment was not significantly lower than that under CK ($P>0.05$), being $5.09 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ and $5.99 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ respectively. The yield under water deficit irrigation was $11\,066.7\sim10\,385.6 \text{ kg}/\text{hm}^2$, only 0.09%~6.24% lower than that under CK but increasing water use efficiency by 2.82%~23.16%. The water deficiency in III+HW and IV+MW-1 reduced the yield by 0.09% and 2.45% respectively, with their associated water use efficiency increasing by 2.82% and 10.73% respectively.【Conclusion】Overall, high irrigation amount during fruit expansion stage coupled with a moderate irrigation amount during the fruit maturity stage can considerably improve water use efficiency, saving 2.50% to 11.62% of water, with only a slight compromise in yield, compared to the CK. It is therefore the most water-saving effective schedule to drip-irrigate the kiwi in the studied region.

Key words: drip irrigation; irrigation amount; kiwifruit; photosynthetic traits; yield; water use efficiency of yield

责任编辑: 刘春成