

## 不同灌水下限对枣树光合特性、产量及品质的影响

马军勇<sup>1,2</sup>, 郑国玉<sup>1,2</sup>, 周建伟<sup>1,2</sup>, 柳智鹏<sup>3\*</sup>

(1.新疆农垦科学院 农田水利与土壤肥料研究所, 新疆 石河子 832000; 2.农业部作物高效用水石河子科学观测实验站, 新疆 石河子 832000; 3.河海大学 农业工程学院, 南京 210098)

**摘要:**【目的】探究滴灌条件下适合沙漠绿洲区枣树生长发育的灌水下限。【方法】采用大田试验, 设置4种不同灌水下限 T1、T2、T3 和 T4 (分别为田间持水率的 40%、55%、70%和 85%), 分析其对枣树不同生育阶段的光合特性、产量及品质的影响。【结果】灌水下限的降低使得净光合速率、蒸腾速率、气孔导度降低, 但是会提高枣树的叶片水分利用效率。总体来说, T3 处理的净光合速率值最高, 且 T2 处理的叶片水分利用效率在枣树各生育阶段均较高。随着灌水下限的降低, 提高了果实的总糖、可溶性固形物、糖酸比等品质指标; 当灌水下限为田间持水率的 55%时, 枣树的单果质量和产量相对较高, 分别为 4.43 g 和 6 832.9 kg/hm<sup>2</sup>。【结论】综合考虑枣树的光合特性、产量及品质, 建议灌水下限设置为田间持水率的 55%, 枣树的叶片水分利用效率显著提高, 同时获得较好的红枣产量和品质。

**关键词:** 净光合速率; 气孔导度; 蒸腾速率; 糖酸比; 田间持水率

中图分类号: S274.1

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.gggs.2019087

马军勇, 郑国玉, 周建伟, 等. 不同灌水下限对枣树光合特性、产量及品质的影响[J]. 灌溉排水学报, 2020, 39(1): 31-36.

MA Junyong, ZHENG Guoyu, ZHOU Jianwei, et al. The impact of the critical soil moisture used for scheduling deficit drip irrigation on photosynthesis, yield and quality of jujube tree [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2020, 39(1): 31-36.

### 0 引言

新疆地处欧亚大陆腹地, 远离海洋、降雨稀少, 年降水 150 mm, 昼夜温差大、蒸发强烈, 年蒸发 1 500~3 000 mm<sup>[1]</sup>, 干旱指数高达 10~15, 气候干旱、生态脆弱, 是中国典型的灌溉农业区<sup>[2]</sup>。灌溉对该地区农业稳产、增产发挥着举足轻重的作用, 2018 年新疆用水总量为 552.33 亿 m<sup>3</sup>, 其中第一产业用水量高达 514.36 亿 m<sup>3</sup>, 占用水总量的 93.13%<sup>[3]</sup>。因此, 提高灌溉水利用效率, 实现农业生产的节水、提质、增效, 对干旱区农业发展具有重要意义<sup>[4]</sup>。

灌水下限决定着灌水时间和作物生育期内灌溉定额<sup>[5-7]</sup>。国内外学者对甜瓜<sup>[8-9]</sup>、冬小麦<sup>[10-11]</sup>、黄瓜<sup>[12]</sup>、棉花<sup>[5, 13-14]</sup>等作物灌水下限进行了大量研究。赵青松等<sup>[12]</sup>研究了不同灌水下限处理对黄瓜穴盘苗干物质积累、根系活力、光合能力及叶绿素荧光参数的影响, 结果表明: 以相对含水率 55%作为灌水下限的黄瓜穴盘苗干物质积累量、主根长、根系活力, 光合

能力均显著高于其他处理。袁宇霞等<sup>[15]</sup>指出适当上调灌水下限可以显著增加番茄株高、叶面积和干物质质量, 但过高的灌水下限不利于番茄的生长、光合速率和产量的提高, 还发现番茄的产量与干物质质量和叶片的净光合速率均呈显著的线性相关。王京伟等<sup>[9]</sup>研究了不同灌水下限对甜瓜的植株生长、光合效率、生物量、产量和水分利用效率的影响, 发现灌水下限是影响甜瓜生长和产量的重要因素, 与田间持水率的 60%和 80%相比, 灌水下限为田间持水率的 70%时, 植株平衡生长, 产量比 60%时和 80%时分别提高了 22.58%和 2.42%。申孝军等<sup>[5]</sup>在新疆石河子研究了不同灌水控制下限对棉花耗水量、品质以及水分利用率的影响, 研究发现, 蕾期和花铃期灌水控制下限分别为田间持水率的 60%和 75%, 灌水定额为 30 mm 处理在节约灌溉水的同时提高了籽棉产量并改善了棉纤维品质。

现有的灌水下限研究主要集中于棉花等 1 年生作物, 而有关红枣等多年生作物的灌水下限研究较少。光合作用强度作为作物重要的生理指标, 能直接反应作物受干旱胁迫程度<sup>[16]</sup>。因此, 本文拟通过研究不同灌水下限其对干旱区灰枣树光合特性、产量及品质的影响, 进一步探讨灌水下限对多年生枣树的影响, 为干旱区枣树灌溉制度优化提供理论依据。

收稿日期: 2019-06-06

项目基金: “十三五”国家重点研发计划项目 (2016YFC0400208)

作者简介: 马军勇 (1979-), 男, 助理研究员。主要从事节水灌溉方面研究。E-mail: maymajy@163.com

通信作者: 柳智鹏 (1992-), 男, 博士研究生。主要从事节水灌溉理论与技术研究。E-mail: 170402060005@hhu.edu.cn

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

试验于 2017 年 3—10 月在新疆建设兵团农二师 38 团 (83°25′—87°30′ E, 35°40′—40°10′ N) 进行。该试验点位于新疆维吾尔自治区巴音郭楞蒙古自治州且末县西部, 降水量少, 年降水量 18.1 mm, 气候干燥, 年蒸发量 2 824 mm, 昼夜温差大, 光照时间长, 年平均气温 11.0 °C, 全年活动积温 4 320 °C 左右, 全年有效积温为 2 250 °C 左右。试验区灰枣树在 2010 年播种, 2012 年嫁接, 行距 3 m、株距 1 m, 树势均匀, 长势较旺。枣树灌溉方式为滴灌, 滴灌带布设方式为 1 行 2 管, 滴灌带与枣树间距为 20 cm, 滴头流量 3.2 L/h, 滴头间距 30 cm。灰枣园土壤质地为壤质砂土, 0~100 cm 土壤平均干体积质量及田间持水率(质量含水率,  $\theta_{\text{田}}$ )分别为 1.53 g/cm<sup>3</sup> 和 17.10%, 地下水埋深 2.2 m 左右。

### 1.2 试验设计

试验采用单因素随机完全区组设计, 试验小区根据田块随机排列, 当土壤含水率低于灌水下限时进行灌溉, 灌水下限分别为  $\theta_{\text{田}}$  的 40% (T1), 55% (T2), 70% (T3) 和 85% (T4), 每个处理设 4 个重复, 共 16 个小区, 每个小区均有 3 行枣树。为防止小区间互相干扰, 各小区间隔 1 行非试验枣树, 且各组处理施肥、修剪、除虫、除草等农艺措施相同。各小区灌水定额通过旋翼式水表进行控制。灌水定额计算依据公式:

$$M=10\times H\times\gamma\times p\times(\theta_{\text{max}}-\theta_{\text{min}}), \quad (1)$$

式中:  $M$  为灌水定额(mm);  $H$  为计划湿润层厚度(m), 本试验  $H$  取 0.8 m;  $\gamma$  为土壤体积质量(g/cm<sup>3</sup>), 该地块为 1.53 g/cm<sup>3</sup>;  $P$  为润湿比, 即湿润面积与土体面积的比值, 本试验中枣树行距较大,  $P$  取 0.5;  $\theta_{\text{max}}$  为灌水上限(%), 本试验  $\theta_{\text{max}}=\theta_{\text{田}}=17.10\%$ ;  $\theta_{\text{min}}$  为灌水下限(%).

### 1.3 试验测定项目与方法

#### 1.3.1 光合作用相关参数的测定

在晴天观测日上午的 11:00—12:30, 使用 Li-6400XT 光合仪进行测定不同处理下枣树不同生育期的光合作用参数——净光合速率 ( $P_n$ )、蒸腾速率 ( $T_r$ ) 和气孔导度 ( $G_s$ ) 每个小区选取 1 棵枣树, 在其东西南北 4 个方向选择 4 片同一高度健康、无遮挡的叶片, 在 6400-02b LED 光源的 1 500  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$  光强度下, 对每片叶重复测量 3 次取平均值。枣树的叶片水分利用效率 ( $WUE_L$ ) 计算式为:

$$WUE_L=P_n/T_r. \quad (2)$$

#### 1.3.2 果实产量和品质的测定

在 2017 年 10 月 30 日, 各小区选取有代表性的

枣树 3 棵并手工采收, 并使用电子秤称质量。每个重复随机抽取 100 颗健康无病虫害的红枣, 测量单个红枣的质量, 然后对红枣的品质进行了测定。其中, 总糖采用酸水解-莱因-埃农氏法测定; 总酸采用酸碱滴定法测定; VC 采用二氯酚酚滴定法测定; 可溶性固形物通过阿贝折射仪测定。

### 1.4 数据处理与分析

试验数据的记录和整理使用 Microsoft Excel 软件进行, 采用 SPSS 22.0 软件进行数据分析(其中, 显著性检验选择 Duncan 法, 显著性水平  $P=0.05$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同灌水下限对枣树净光合速率的影响

表 1 为不同灌水下限条件下枣树不同生育阶段光合指标的变化情况。由表 1 可知, 枣树的  $P_n$  随时间增长, 且不同处理条件下枣树的净光合速率均在果实膨大期达到最大值。萌芽展叶期, T2、T3 和 T4 处理的  $P_n$  分别较 T1 处理提高了 18.18%、23.61% 和 19.50%, 其中 T1 与 T3 处理之间差异显著; 枣树开花坐果期, T3 处理的  $P_n$  最高为 12.70  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ , 且 T1 处理与 T2、T3、T4 处理差异显著, 其余各处理间没有显著性差异; 在果实膨大期, 枣树的  $P_n$  达到最大值, 其中 T1、T2、T3 和 T4 处理的净光合速率较开花坐果期变化不大, 仅分别提高了 2.21%、4.63%、3.39% 和 4.12%, T1 处理的净光合速率最小为 10.64  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ , 且与 T2、T3、T4 处理之间差异显著。

如表 1 所示,  $T_r$  随枣树生长而增长, 在果实膨大期取得极大值, 其变化规律与  $P_n$  基本一致。萌芽展叶期, T4 处理的蒸腾速率最大, 为 3.79  $\text{mmol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ , 与 T2 和 T1 处理差异显著; 枣树开花坐果期各处理的  $T_r$  较萌芽展叶期均有较大幅度的增长, 分别提高了 33.93%、39.74%、39.77% 和 29.82%, T1 处理的蒸腾速率最低为 3.71  $\text{mmol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ , 且与 T3 和 T4 处理差异显著;  $T_r$  在果实膨大期达到最大值, T1、T2、T3 和 T4 处理的蒸腾速率分别为 4.15、4.69、4.93、5.23  $\text{mmol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ , 相较开花坐果期的  $T_r$  增长幅度较小, 其中, T1 与 T2、T4 处理差异显著。

不同灌水下限条件下枣树不同生育阶段气孔导度均随灌水下限的降低而减小, 且  $G_s$  变化趋势基本与  $P_n$ 、 $T_r$  一致。萌芽展叶期 T1 处理的  $G_s$  最小, 为 0.16  $\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ , 且 T1 与 T2、T3、T4 处理均差异显著, 其余各处理间并没有显著性差异; 在枣树开花坐果期, T4 处理的气孔导度最大, 相较 T1、T2 和 T3 处理分别增加了 22.22%、11.11%、3.70%, 其中 T1 与 T4 处理差异显著; 果实膨大期, T4 处理的气孔导度最大, 为 0.22  $\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ , 而 T1、T2 和 T3

处理分别为 0.28、0.29、0.31 mol/(m<sup>2</sup>·s)，且 T3 和 T4 处理均与 T1 处理差异显著。

表 1 不同灌水下限枣树不同生育阶段净光合指标

Table 1 Photosynthetic parameters of jujube in different growth stages under different irrigation threshold

参数 Parameter	处理 Treatment	萌芽展叶期 Budding stage	开花坐果期 Flowering to fruit set stage	果实膨大期 Fruit growth stage
净光合速率/( $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) Net photosynthetic rate	T1	6.82a	10.41a	10.64a
	T2	8.06ab	12.32b	12.89b
	T3	8.43b	12.70b	13.13b
	T4	8.15ab	12.62b	13.14b
蒸腾速率/( $\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) Transpiration rate	T1	2.77a	3.71a	4.15a
	T2	3.07ab	4.29ab	4.69bc
	T3	3.42bc	4.78b	4.93ab
	T4	3.79c	4.92b	5.23c
气孔导度/( $\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) Stomatal conductance	T1	0.16a	0.21a	0.22a
	T2	0.20b	0.24ab	0.28ab
	T3	0.21b	0.26ab	0.29b
	T4	0.23b	0.27b	0.31c
叶片水分利用效率/( $\mu\text{mol}\cdot\text{mmol}^{-1}$ ) Leaf water use efficiency	T1	2.46ab	2.80b	2.57a
	T2	2.62b	2.87b	2.75b
	T3	2.46ab	2.66ab	2.66ab
	T4	2.15a	2.56a	2.51a

注 同一列数据后不同小写字母表明不同灌水下限处理下差异显著( $P<0.05$ )，下同。

Note Different lowercase letters in the same column indicate significant different between treatments under different irrigation limit ( $p<0.05$ ). The same in the following tables.

表 2 不同灌水下限对枣树产量及品质的影响

Table 2 Yield and quality of jujube under different irrigation threshold

处理 Treatment	总糖量/% Soluble sugar	总酸量/% Organic acid	VC 量/ ( $\text{mg}\cdot(100\text{g})^{-1}$ )	可溶性固形物量/% Soluble solid	糖酸比 Sugar-acid ratio	单果质量/g Single fruit weight	产量/( $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ) Yield
T1	67.37b	0.49a	27.13a	38.07b	138.48b	4.33ab	5 797.8a
T2	65.75b	0.52ab	27.35a	36.83ab	127.49b	4.43b	6 832.9c
T3	60.09a	0.58bc	28.42a	33.46a	102.93a	4.27ab	6 418.5b
T4	58.24a	0.61c	27.94a	31.93a	96.04a	4.18a	6 144.6ab

不同灌水下限对枣树叶片水分利用效率影响显著，不同灌水下限条件下枣树不同生育阶段  $WUE_L$  变化情况如表 1 所示。各处理下叶片水分利用效率均为：开花坐果期>果实膨大期>萌芽展叶期；且不同处理下各生育期内枣树的  $WUE_L$  都表现为 T2 处理最高，说明不同灌水下限对枣树  $WUE_L$  的影响更大。在萌芽展叶期，T2 处理的  $WUE_L$  最高，较 T4 处理显著提高了 0.47  $\mu\text{mol}/\text{mmol}$ ，并且 T2 与 T4 处理差异显著；开花坐果期的叶片水分利用效率最高，T1、T2、T3 和 T4 处理的  $WUE_L$  分别较萌芽展叶期提高了 13.82%、9.54%、8.13%、19.07%，T1 和 T2 处理均与 T4 处理有显著性差异；果实膨大期，T2 处理的叶片水分利用效率最高，为 2.75  $\mu\text{mol}/\text{mmol}$ ，且与 T1、T4 处理

差异显著，其余各处理的  $WUE_L$  分别为 2.57、2.66、2.51  $\mu\text{mol}/\text{mmol}$ 。

## 2.2 不同灌水下限对枣树产量及品质的影响

不同灌水下限对枣树产量及品质的影响由表 2 所示。灌水下限的降低有利于提高果实中的总糖并降低其总酸量，T1、T2 和 T3 处理的总糖量较 T4 处理分别提高了 9.13%、7.51%和 1.85%，总酸量降低了 0.12%、0.09%、0.03%，且 T1 和 T2 处理均与 T4 处理差异显著。因此，T1 和 T2 处理的糖酸比较 T4 处理显著提高了 44.19%和 32.75%，且 T1、T2 处理与 T3、T4 处理差异显著。与此同时，随灌水下限的提高，VC 呈先提高后降低的变化趋势，但各处理间均无显著性差异。可溶性固形物的变化规律与总糖相似，

T1 处理量最高为 38.07%，且与 T3、T4 处理差异显著。单果质量和产量的变化趋势基本一致，随灌水下限的提高均先增加后减少，其中 T2 处理的单果质量和产量最高分别为 4.43 g 和 6 832.9 kg/hm<sup>2</sup>，且其单果重与 T4 处理差异显著、其产量与其他各处理均差异显著。

### 3 讨论

光合作用是作物物质积累的重要方式，也是作物产量形成的基础，其对环境胁迫的变化较为敏感，可有效地评价作物对环境胁迫的反应<sup>[17]</sup>。在枣树的相同生育阶段， $G_s$  随着灌水下限的降低而逐渐降低， $T_r$  逐渐下降， $P_n$  也随之下降，与  $G_s$  变化趋势基本一致，且不同处理下各生育期内 T1 处理（灌水下限为  $\theta_m$  的 40%）的  $P_n$ 、 $T_r$ 、 $G_s$  均最低，主要是因为枣树受到土壤水分胁迫时叶片水分散失，降低作物的气孔导度（即气孔开度减小、气孔阻力增加）是作物的一种正常生理反应，可有效减少作物在蒸腾过程中水分的流失，使得  $T_r$  也随之降低<sup>[18]</sup>。与此同时， $G_s$  的降低还会导致  $P_n$  的降低，主要是因为气孔关闭降低了枣树的，限制了其光合作用能力，该现象主要是因为部分气孔开度减小导致了  $CO_2$  的流入减少，降低了胞间二氧化碳质量浓度（ $C_i$ ）使得  $P_n$  降低<sup>[19]</sup>。虽然在枣树的不同生育期 T1 和 T2 处理的  $P_n$ 、 $T_r$ 、 $G_s$  均较 T4 处理有所降低，但是叶片水分利用效率却高于 T4 处理，且部分差异显著，说明气孔导度降低对  $T_r$  的抑制作用大于  $P_n$ ，所以随着水分亏缺的增加  $P_n$ 、 $T_r$  虽有所降低，但却提高了  $WUE_L$ 。不同灌水下限处理在枣树开花坐果期的水分利用效率高于萌芽展叶期和果实膨大期，这可能与开花坐果期是枣树营养生长和生殖生长并进的时期，且此时气温升高、蒸发量也较大有关。不同灌水下限对枣树不同生育阶段光合特性的影响研究表明，各生育期内 T3 处理（ $\theta_m$  的 70%）的  $P_n$  均最高，说明灌水下限为  $\theta_m$  的 70% 有利于提高枣树的光合作用，随着灌水下限的降低净光合速率也随之下降，但是  $WUE_L$  在灌水下限为  $\theta_m$  的 55% 时达到最大值。

枣树是新疆地区特色林果业的第一大果种，具有较高的药用和营养价值，所以果实的产量和品质是评价灌溉制度最重要的指标。随着灌水下限的降低，红枣的总糖量、可溶性固形物量、糖酸比等品质指标明显提高，说明降低灌水下限有利于提高果实的品质<sup>[20]</sup>。T1 和 T4 处理的单果质量和产量均无显著差异，说明适当的降低灌水下限对荒漠条件下灰枣生产没有不利影响<sup>[21]</sup>。但是 T2 处理（灌水下限为  $\theta_m$  的 55%）下枣树的单果质量和产量明显高于其它处理，说明适宜的灌水下限能提高枣树的产量和品质，这可能是由

于水分胁迫所带来的补偿效益，降低灌水下限使叶片和枝干中的光合产物和营养物质转移到果实器官，抑制了枣树营养生长、促进了枣树的生殖生长。

### 4 结论

1) 当灌水下限低于  $\theta_m$  的 70% 时，枣树的净光合速率下降，叶片水分利用效率提高。随着灌水下限的降低， $G_s$ 、 $T_r$ 、 $P_n$  均有所下降，但  $P_n$  下降幅度比  $T_r$  小，导致  $WUE_L$  提高，且灌水下限为  $\theta_m$  的 55% 时  $WUE_L$  达到最大值；灌水下限为  $\theta_m$  的 70% 时，在枣树不同生育期的  $P_n$  均较高。

2) 适宜的灌水下限可以提高枣树的产量和果实品质。灌水下限的一定程度上降低可提高红枣的品质，当灌水下限为  $\theta_m$  的 55% 左右时枣树的单果重和产量最高，较 CK 分别提高了 5.98%、11.20%。

### 参考文献:

- [1] 石鑫, 吴普特, 王玉宝, 等. 近 50 年新疆参考作物蒸发蒸腾量的时空演变分析[J]. 灌溉排水学报, 2012,31(1):10-14.  
SHI Xin, WU Pute, WANG Yubao, et al. Analysis of Temporal-spatial Characteristics of Reference Evapotranspiration in Xinjiang Province During 1960-2009[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2012, 31(1): 10-14.
- [2] 周和平, 张明义, 周琪, 等. 新疆地区农业灌溉水利用系数分析[J]. 农业工程学报, 2013,29(22):100-107.  
ZHOU Heping, ZHANG Mingyi, ZHOU Qi, et al. Analysis of agricultural irrigation water-using coefficient in Xinjiang arid region[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2013,29(22):100-107.
- [3] 新疆维吾尔自治区统计局. 新疆统计年鉴 2018[M]. 北京: 中国统计出版社, 2019.  
Statistics Bureau of Xinjiang Uygur Autonomous Region. Xingjiang Statistical Yearbook 2018[M]. Beijing: China Statistics Press, 2019.
- [4] FERERES Elias, SORIANO María Auxiliadora. Deficit irrigation for reducing agricultural water use[J]. Journal of Experimental Botany, 2006,58(2):147-159.
- [5] 申孝军, 张寄阳, 孙景生, 等. 灌水模式及下限对滴灌棉花产量和品质的影响[J]. 排灌机械工程学报, 2014,32(8):711-718.  
SHEN Xiaojun, ZHANG Jiyang, SUN Jingsheng, et al. Effect of drip irrigation pattern and irrigation lower limit on yield and quality of cotton[J]. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering, 2014,32(8):711-718.
- [6] 强小曼, 孙景生, 宁慧峰. 水分下限对西瓜/棉花间作水分生产效率及土地利用的影响[J]. 灌溉排水学报, 2016,35(12):39-44.  
QIANG Xiaoman, SUN Jingsheng, NING Huifeng. Effects of Soil Moisture Threshold on Water Productivity and Land Use Efficiency in Watermelon-cotton Intercropping System[J]. Journal of Irrigation and

- Drainage, 2016,35(12):39-44.
- [7] 胡兰, 翟国亮, 邓忠, 等. 灌溉方式和灌水下限对温室青椒生长、耗水特性及产量的影响[J]. 灌溉排水学报, 2019,38(2):16-21.  
HU Lan, ZHAI Guoliang, DENG Zhong, et al. Effects of Critical Soil Moistures for Different Drip Irrigations on Growth, Water Consumption and Yield of Greenhouse Green Eggplant[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2019,38(2):16-21.
- [8] 李毅杰, 原保忠, 别之龙, 等. 不同土壤水分下限对大棚滴灌甜瓜产量和品质的影响[J]. 农业工程学报, 2012,28(6):132-138.  
LI Yijie, YUAN Baozhong, BIE Zhilong, et al. Effects of drip irrigation threshold on yield and quality of muskmelon in plastic greenhouse[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012,28(6):132-138.
- [9] 王京伟, 牛文全, 张明智, 等. 覆膜方式毛管密度和灌水下限对温室甜瓜生长的影响[J]. 农业工程学报, 2016,32(15):117-125.  
WANG Jingwei, NIU Wenquan, ZHANG Mingzhi, et al. Response of muskmelon growth to film covering, drip pipes density and irrigation lower limits in greenhouse[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2016,32(15):117-125.
- [10] 申孝军, 孙景生, 刘祖贵, 等. 灌水控制下限对冬小麦产量和品质的影响[J]. 农业工程学报, 2010,26(12):58-65.  
SHEN Xiaojun, SUN Jingsheng, LIU Zugui, et al. Effects of low irrigation limits on yield and grain quality of winter wheat[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2010,26(12):58-65.
- [11] 张俊鹏, 刘祖贵, 孙景生, 等. 不同水分和覆盖处理对冬小麦生长及水分利用的影响[J]. 灌溉排水学报, 2015,34(8):7-11.  
ZHANG Junpeng, LIU Zugui, SUN Jingsheng, et al. Effects of Different Moisture and Mulching Treatments on Growth and Water Use Efficiency of Winter Wheat[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2015,34(8):7-11.
- [12] 赵青松, 李萍萍, 王纪章, 等. 不同灌水下限对黄瓜穴盘苗生长及生理指标的影响[J]. 农业工程学报, 2011,27(6):31-35.  
ZHAO Qingsong, LI Pingping, WANG Jizhang, et al. Effects of irrigation threshold on growth and physiological characteristics of cucumber plug seedlings[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2011,27(6):31-35.
- [13] 汪昌树, 杨鹏年, 姬亚琴, 等. 不同灌水下限对膜下滴灌棉花土壤水盐运移和产量的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2016,34(2):232-238.  
WANG Changshu, YANG Pengnian, JI Yaqin, et al. Effects of different irrigation lower limits on soil water-salt transport and yield of cotton under mulched drip-irrigation[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2016,34(2):232-238.
- [14] 李彦, 雷晓云, 白云岗. 不同灌水下限对棉花产量及水分利用效率的影响[J]. 灌溉排水学报, 2013,32(4):132-134.  
LI Yan, LEI Xiaoyun, BAI Yungang. The Effect of Different Thresholds of Soil Moisture on Yield and Water Use Efficiency of Cotton[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2013,32(4):132-134.
- [15] 袁宇霞. 灌水下限和施肥量对温室滴灌施肥番茄的生长和水肥利用的影响[D]. 杨陵:西北农林科技大学, 2013.  
YUAN Yuxia. Effects of irrigation threshold and fertilization on growth and the Utilization of water and nutrient of greenhouse fertigation tomato[D]. Yang ling:Northwest A & F University, 2013.
- [16] 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]. Int J Agric & Biol Eng, 2019,3(12):52-59.
- [17] 朱成立, 强超, 黄明逸, 等. 咸淡水交替灌溉对滨海垦区夏玉米生理生长的影响[J]. 农业机械学报, 2018,49(12):253-261.  
ZHU Chengli, QIANG Chao, HUANG Mingyi, et al. Effect of Alternate Irrigation with Fresh and Slight Saline Water on Physiological Growth of Summer Maize in Coastal Reclamation Area[J]. Transactions of The Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018,49(12):253-261.
- [18] DU Taisheng, KANG Shaozhong, ZHANG Jianhua, et al. Yield and physiological responses of cotton to partial root-zone irrigation in the oasis field of northwest China[J]. Agricultural Water Management, 2006,84(12):41-52.
- [19] LI Xiaojie, KANG Shaozhong, ZHANG Xiaotao, et al. Deficit irrigation provokes more pronounced responses of maize photosynthesis and water productivity to elevated CO<sub>2</sub>[J]. Agricultural Water Management, 2018 (195) : 71- 83 .
- [20] 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.
- [21] CUI Ningbo, DU Taisheng, KANG Shaozhong, et al. Regulated deficit irrigation improved fruit quality and water use efficiency of pear-jujube trees[J]. Agricultural Water Management, 2008,95(4):489-497.

# The Impact of the Critical Soil Moisture Used for Scheduling Deficit Drip Irrigation on Photosynthesis, Yield and Quality of Jujube Tree

MA Junyong<sup>1,2</sup>, ZHENG Guoyu<sup>1,2</sup>, ZHOU Jianwei<sup>1,2</sup>, LIU Zhipeng<sup>3\*</sup>

(1. Xinjiang Academy of Agricultural and Reclamation Science, Shihezi 832000, China;

2. Shihezi Experimental Station for Crop Water Use of Ministry of Agriculture, Shihezi 832000, China;

3. College of Agricultural Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

**Abstract:** **【Objective】** Deficit irrigation is a water-efficient irrigation method in arid and semi-arid region to improve water use efficiency, but how to determine the optimal deficiency in scheduling the irrigation remains elusive. The purpose of this paper is to examine the effect of the critical soil moisture – a soil water content to resume irrigation whenever measured soil moisture drops below it - on growth of jujube tree in a desert oasis.

**【Method】** Field experiment was conducted in Xinjiang, in which we compared four critical soil moistures: 40% (T1), 55% (T2), 70% (T3) and 85% (T4) of the field capacity. In each treatment, we measured photosynthesis, yield and fruit quality of the jujube at different growth stages. **【Result】** Decreasing the critical soil moisture reduced net photosynthetic rate, transpiration rate and stomatal conductance, but enhanced leaf water use efficiency. Among all treatments, T3 gave the highest net photosynthetic rate and T2 was most efficient in leaf water use at all growth stages. Increasing the critical soil moisture improved fruit quality indexes such as total sugar, soluble solids and sugar-acid ratio. Single fruit weight and yield both peaked when the critical soil moisture was set at 55% of the field capacity, reaching 4.43 g and 6 832.9 kg/hm<sup>2</sup> respectively. **【Conclusion】** In terms of photosynthetic rate, yield and fruit quality, setting the critical soil moisture at 55% of the field capacity can significantly improve leaf water use efficiency, yield and fruit quality of the jujube.

**Key words:** Net photosynthetic rate; stomatal conductance; transpiration rate; sugar-acid ratio; field capacity

责任编辑：陆红飞