

DOI: 10.5846/stxb201111181760

韩立新,汪有科,张琳琳. 梨枣在果实生长期对土壤水势的响应. 生态学报 2012, 32(7): 2004–2011.

Han L X, Wang Y K, Zhang L L. Response of pear jujube trees on fruit development period to different soil water potential levels. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(7): 2004–2011.

梨枣在果实生长期对土壤水势的响应

韩立新^{1,2}, 汪有科^{1,3,*}, 张琳琳^{1,2}

(1. 中国科学院水利部水土保持研究所 杨凌 712100; 2. 中国科学院研究生院 北京 100049;

3. 西北农林科技大学水利与建筑工程学院 杨凌 712100)

摘要:以 4 年生梨枣为试验材料,在果实生长期设置了 4 个土壤水势水平,研究不同处理梨枣茎秆直径生长、光合速率、蒸腾速率、叶片相对含水量以及果实数量对土壤水势的响应,探讨了梨枣果实生长期适宜的土壤水势范围。结果表明:1) 在果实缓慢生长期,茎秆直径生长缓慢;土壤水势高于-84 kPa 时能显著地降低落果率。2) 果实快速生长期,茎秆直径日最大值和叶片相对含水量能反映梨枣的水分状况;适当的控制土壤水势能显著的提高叶片的水分利用效率;土壤水势高于-84 kPa 时果实快速生长期出现坐果现象。3) 果实生长期前期的土壤水势低至-461 kPa 会影响果实生长期叶片的功能和后期的坐果。因此,梨枣果实生长期的适宜的土壤水势范围为-41—-84 kPa,提高了叶片水分利用效率,提高了单果重,不影响产量。

关键词:土壤水势;果实生长期;梨枣;水分利用效率;落果率

Response of pear jujube trees on fruit development period to different soil water potential levels

HAN Lixin^{1,2}, WANG Youke^{1,3,*}, ZHANG Linlin^{1,2}

1 Soil and Water Conservation and Ecological Environment Research Center, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling 712100, China

2 Graduate University of Chinese Academy of Science, Beijing 100049, China

3 College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling 712100, China

Abstract: Pear jujube (*Ziziphus jujuba* Mill. grafted on wild jujube) is widely cultivated in the Loess Plateau region of China. However, pear jujube culture has been constrained by the wasteful use of limited water supplies that characterizes traditional irrigation, which has restricted the development of local agriculture. Thus, there is a need to develop new irrigation scheduling techniques that optimize water use. This paper aimed to determine a suitable soil water potential measure based on pear jujube tree responses to different soil water potentials during the fruit development period in the Loess Plateau. Fruit development is divided into two periods, i. e., the slow-growing fruit stage, where the main fruit process is cell differentiation, and the fast-growing fruit stage, when the cells expand. Four soil water potential levels were tested with four-year-old pear jujube trees. It was found that the maximum daily trunk diameter increased slowly during the slow-growing fruit stage while high soil water potential decreased the proportion of fruit abscission. The fruit abscission rate decreased significantly when the soil water potential was higher than -84 kPa. The maximum daily trunk diameter and relative leaf water content indicated the pear jujube water content during the fast-growing fruit stage. Thus, higher soil water potential resulted in a greater maximum daily trunk diameter and increased relative leaf water content. Furthermore, the percentage of fruit abscission was negative, i. e., fruit set number exceeded fruit abscission, when the soil water potential

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2011BAD29B04); 陕西省科技统筹创新工程项目(2011KTCL02-02)

收稿日期: 2011-11-18; 修订日期: 2012-02-01

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: gjzwyk@vip.sina.com

varied in the range of -41 kPa to -51 kPa during the fast-growing fruit stage. Fruit setting occurred in treatments where the soil water potential was higher than -84 kPa, whereas trees did not set fruit after receiving full irrigation that produced a soil water potential of -461 kPa in early experiments. However, fruit that set during the fast-growing fruit stage were always small because they had less time to grow. Thus, the single fruit weight with a full irrigation treatment was lower than other treatments. The soil water potential was similar to the control treatment after drought stress (-461 kPa), but leaf photosynthetic function and chlorophyll content were affected, i. e., the leaf photosynthetic function was decreased and the chlorophyll content was the lowest among all treatments. The low chlorophyll content decreased the leaf photosynthetic function. We found that mild controlling the soil water content could increase the single fruit weight with no effect on production. This study showed that a suitable soil water potential during the fruit development period was -41 kPa to -84 kPa, because this treatment increased the leaf water use efficiency and the single fruit weight, which compensated for the lower number of fruit.

Key Words: soil water potential; fruit development period; pear jujube; water use efficiency; fruit abscission rate

在退耕还林的政策下 陕北发展了大规模的红枣生态经济林,但是有限水资源的限制了陕北红枣产业的发展^[1]。枣园的经济效益未能充分发挥,限制了农业经济的发展,不利于退耕还林还草与农业结构调整之间的协调,从而不利于西北地区生态环境改善和农业经济的发展^[2]。因此探寻枣树的需水信息,适宜的土壤水势范围,对提高红枣生态经济林的经济效益具有重要意义。

20 世纪 70 年代澳大利亚灌溉农业研究所提出了新型灌溉技术—调亏灌溉。国内外学者对果树的调亏灌溉进行了大量的研究,这种新型的灌溉技术具有提高水分利用效率的效果^[3-4]。Turner^[5]的研究结果表明了作物在适当阶段适度缺水可以有利于作物产量的提高。邵光成等^[6]对辣椒的盆栽试验结果表明合理的时空亏缺灌溉可以显著抑制蒸腾速率,而光合速率下降不明显,可大幅度提高叶片水分利用效率。Cui 等^[7]的研究结果指出适当的调亏灌溉可以提高梨枣的产量。以往的调亏灌溉试验基于控制灌水量,对于作物适宜的土壤水势研究甚少,特别是陕北这种特殊的生态环境下梨枣的研究更少^[8]。利用土壤水势确定灌溉制度具有准确的反应土壤水分信息,易于操作易于实现自动化的优点^[9]。梨枣的果实生长期决定了果实的体积与数量,进而对产量有至关重要的影响^[10-11]。梨枣的果实生长期包括缓慢生长期和快速生长期。其中缓慢生长期主要是坐果与果实生长之间的竞争,此时期果实细胞数量大量的增加,果实体积变化较小,生理落果严重;快速生长期内果实体积迅速膨大,主要决定果实体积的大小和单果重,又称果实膨大期^[12]。因此确定梨枣果实生长期适宜的土壤水势范围具有重要的意义。

本文通过观测不同土壤水势处理条件下,梨枣果实生长期茎秆直径的生长、叶片光合速率、蒸腾速率、叶片的水分利用效率、叶片相对含水量以及果实数量的动态变化,确定梨枣果实生长期适宜的土壤水势范围,确定梨枣果实生长期节水高产的土壤水势范围,为指导陕北枣园精确灌溉提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验区概况

试验于 2011 年 6 月 26 日至 8 月 26 日在米脂县银州镇孟岔村山地微灌枣树示范基地进行。米脂县位于黄土高原丘陵沟壑区,属于中温带半干旱性气候,昼夜温差大,日照充足,适宜果树的生长。年平均降雨量 451.6 mm,主要集中在 7—9 月。试验地土质为黄绵土,容重 1.29 g/cm³, 0—100 cm 计划湿润层的田间持水量(FMC)为 23%(质量含水量)。

试验小区规格为 6 m \times 1 m \times 1 m,采用水泥砌墙与周围土壤相隔并用塑料进行防渗,使小区土壤环境为封闭系统。小区上方安装防雨棚以防止自然降水对试验的影响。灌溉方式采用滴灌,为了保证灌溉的均匀性,每个小区布设 2 条毛管,每个毛管上等距安装 4 个滴头,滴头流量为 4 L/h。供试材料为 4 年生梨枣,株行距为 1 m \times 2 m。试验梨枣树形修剪均一,长势良好,平均主干茎直径 4.05 cm,平均树高 89.67 cm,平均冠幅半

径 45.98 cm。

1.2 试验处理

试验共 4 个土壤水势水平,分别为 T1 处理:土壤水势保持在 -41 — -51 kPa; T2 处理:土壤水势保持在 -41 — -84 kPa 范围; T3 处理:土壤水势范围为 -61 — -135 kPa; T4 处理,由前期的水分胁迫处理分 3 次灌水至 -41 kPa,后期逐步再进入干旱。每个处理自成一个小区,每个小区有 3 棵树,每棵树视为 1 次重复。灌水量用控制灌溉配套数采(GP1 德国 Ecomatik 公司生产)自动控制,当土壤水势小于设定的土壤水势下限时,每 30 min 自动灌水 5 min,直到土壤水势大于土壤水势上限停止灌溉。

1.3 观测指标与数据处理

(1) 土壤水势 用平衡式土壤水分张力计(EQ15: Equilibrium Tensiometer)来监测土壤水势,测量范围为 0 — 1500 kPa。每小区安装 3 个土壤水势仪探头,埋设深度均为 30 cm,一个水势仪探头与 GP1 相连,用来控制灌溉。其他探头与 DL2e 型数据采集器(英国剑桥,Delta Device)相连,每 30 min 自动记录 1 次数据。

(2) 茎秆直径微变化 茎秆直径微变化采用 DD 型线性差分径向变化仪(简称 LVDT 德国 Ecomatik 公司生产)连续测定。在每棵树安装 1 个探头,探头通过不胀钢框架安装在每株样树主干距地面 15 cm 处的北向,安装前先用木锉轻刮树干的死皮,以确保 LVDT 框架牢固和探头与主干接触良好,用隔热铝箔纸将探头包住,以防止风、气温和降雨等对探头的直接影响。所有探头与 DL2e 型数据采集器(英国剑桥,Delta Device)相连,每 30 min 自动记录 1 次数据。

(3) 生理指标 于 8 月份选择晴朗天气,利用 LI-6400 便携式光合测定系统(LI-6400xp, USA)对枣树成熟叶片进行净光合速率、蒸腾速率等生理指标的测定,测定的时间为 10:00 左右。测定前,每棵试验树按不同方位,分上下两层选取生长位置相对一致、生长状况良好的 5 个叶片,用标签纸进行标记,作为连续定点监测对象。使用 CCM200 叶绿素测定仪进行叶绿素测定,主要观测叶片相对叶绿素含量的变化,东西南北四个方位各选一枝枣吊,在所选的枣吊上选成熟叶片 3 片,每隔 10 d 测定 1 次。每隔 20 d 在每棵树东南西北四个方向各采摘 2 片成熟的叶片,用万分之一的电子天平称其鲜重,然后用蒸馏水浸泡 24 h 取出擦净,称取饱和重,最后在烘箱 105 °C 下烘干 8 h 称干重,计算叶片相对含水量。

(4) 果实指数 每 6 d 人工统计每棵树上的果实数量。果实生长期结束后,每棵树上随机选取 20 个果子,称重求平均值。

用 SPSS 和 Excel 进行数据统计分析,用 Origin Pro 8.0 进行作图

2 结果与分析

2.1 土壤水势的动态变化

图 1a、b 分别显示了 4 个处理和 3 个处理土壤水势的动态变化。从中可以看出,4 个处理的土壤水势波动范围不同。T1 处理在 -41 — -51 kPa 之间波动,试验期间分别于 6 月 27 日、7 月 13 日、7 月 27 日和 8 月 10 日灌水,共 4 次,灌水量为 118.6 mm,土壤水势平均为 -45.3 kPa,果实缓慢生长期和快速生长期的平均土壤水势分别为 -44.5 kPa 和 -45.8 kPa; T2 处理在 -41 — -84 kPa 范围波动,试验期间分别于 7 月 1 日和 7 月 28 日各灌水 1 次,共灌水 2 次,灌水量 112.8 mm,其土壤水势的平均值为 -59.7 kPa,两个阶段的平均土壤水势分别为 -54.8 kPa 和 -62.2 kPa; T3 处理的土壤水势波动范围为 -61 — -135 kPa,分别于 6 月 29 日、7 月 14 日和 8 月 1 日各灌水 1 次,共灌水 3 次,灌水量为 106.8 mm,土壤水势的平均值为 -79.2 kPa,两个阶段的土壤水势平均值为 -84.0 kPa 和 -76.7 kPa。而 T4 处理从最初的土壤水势 -461 kPa,于 6 月 26 日、7 月 4 日和 7 月 13 日各灌水 1 次,至 -51 kPa 后停止灌溉,共灌水 148.4 mm,随后土壤水势随着时间的推移逐渐变小,无灌水现象,试验期间其土壤水势平均为 -82.7 kPa,果实缓慢生长期和快速生长期的土壤水势分别为 -114.3 kPa 和 -65.8 kPa。

2.2 不同水分处理对茎秆结构的影响

枣树的茎直径具有运输水分的能力也具有储存水分的能力,蒸腾开始时提供给叶子水来自茎中存储的

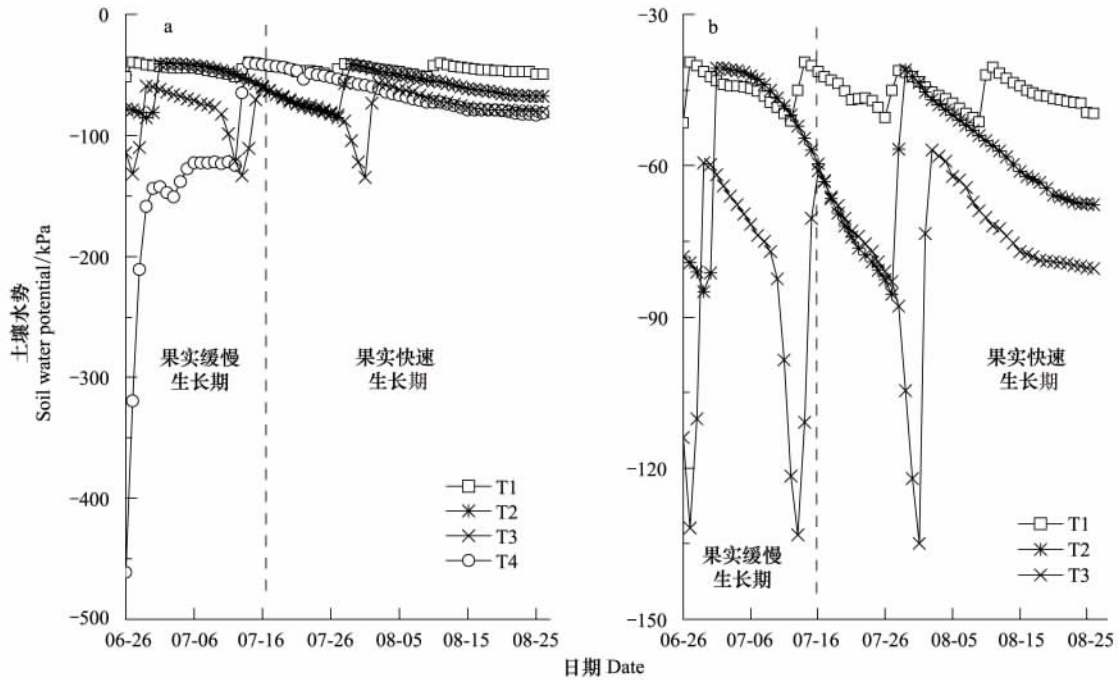


图 1 梨枣果实生长期土壤水势的动态变化

Fig. 1 Dynamic trend of soil water potential in different treatments on fruit development period of pear-jujube

表 1 不同处理果实生长期的灌水量和土壤水势

Table 1 Irrigation amount and soil water potential on fruit development period for treatments

处理 Treatment	果实缓慢生长期 Low-growing fruit stage		果实快速生长期 Fast-growing fruit stage		果实生长期 Fruit development period	
	土壤水势 Soil water potential /kPa	灌水量 Irrigation amount /mm	土壤水势 Soil water potential /kPa	灌水量 Irrigation amount /mm	土壤水势 Soil water potential /kPa	灌水量 Irrigation amount /mm
	T1	-44.5a	59.3	-45.8a	59.3	-45.3a
T2	-54.8ab	56.4	-62.2ab	56.4	-59.7ab	112.8
T3	-84.0bc	71.2	-76.7bc	35.6	-79.2bc	106.8
T4	-114.3c	148.4	-65.8abc	0	-80.6abc	148.4

同一列不同的字母表示处理之间存在显著性差异 ($P < 0.05$)

水分。茎中水分的抽出引起茎直径的收缩,下午蒸腾作用逐渐减弱,根系吸水大于蒸腾耗水时茎损失的水分得到补充,引起茎的膨胀,茎秆复原并伴有生长。若土壤中水分不足,茎秆不能复原,出现茎萎缩现象^[13-14]。从图 2 可以看出 4 个不同处理的的茎直径日最大值 (MXTD) 都呈现不同程度的递增趋势,没有萎缩现象。这说明 4 个水势处理下梨枣树的茎直径均能复原并伴随着生长。

但是 4 个处理 MXTD 的变化曲线明显的不同。实验前期, T1 与 T4 处理之间曲线基本重合, 7 月 26 日 T1 处理灌水后,两个处理的 MXTD 曲线分离, T1 处理 MXTD 的曲线增长速度大于 T4 处理。实验前期 T2 与 T3 的 MXTD 曲线基本重合, 7 月 27 日 T2 处理灌水以后, T2 处理的 MXTD 增长速度大于 T3 处理,两曲线分

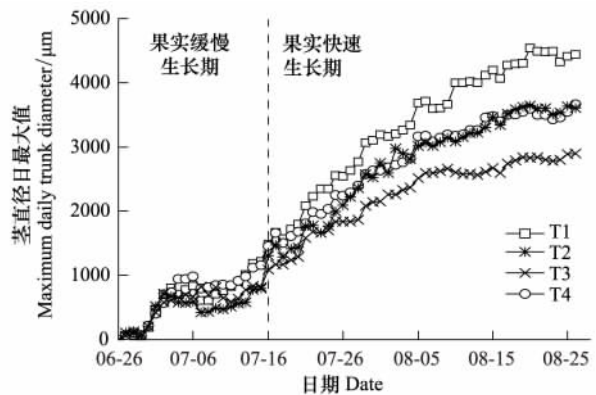


图 2 枣树茎秆直径结构特征指标值

Fig. 2 Index of structure of jujube tree's trunk diameter

离。实验后期 T2 与 T4 的 MXTD 曲线重合 4 个处理在整个生育期内茎秆分别生长了 4442.7、3608.1、2896.3 和 3668.3 μm 。这说明提高土壤水分能有效地提高茎秆直径的生长速率。

从图 2 可以看出在果实缓慢生长期, MXTD 的曲线很平缓, 即茎直径的生长缓慢。这可能是此时期梨枣树的坐果与果实的生长发育的激烈竞争造成的^[12]。4 个处理基本是同时进入茎秆缓慢生长期, 但是 T1 和 T4 与其他两个处理相比, 此时期维持的时间较短, 即 T1 和 T4 处理较早的转入了茎秆快速生长期, 说明高水分处理可减弱茎秆直径生长受作物光合产物的分配激烈竞争的影响。

2.3 不同水分处理对梨枣果实快速生长期生理指标的影响

从表 2 可以看出, 在果实快速生长期 4 个处理的叶片相对含水量之间存在着显著性差异, 其中 T1 处理的叶片相对含水量最大, 其次是 T2, T4, T3 处理的叶片相对含水量最低, 这与 4 个处理的土壤水势水平基本一致。这说明叶片相对含水量能反应出梨枣的水分状况。T1 和 T2 处理叶绿素含量不存在显著性差异。T3 处理叶绿素含量最大, 显著地大于其他处理, 这可能是低水分处理使得果实生长期叶片的生长缓慢, 叶片小而厚, 导致叶绿素含量高^[12]。T4 处理复水后叶绿素含量仍小于其处理, 这可能是前期的水分胁迫导致的。

表 2 果实快速生长期不同水势处理对梨枣树生理指标的影响

Table 2 Effects of treatments on some physiological indexes of jujube trees on fast-growing fruit stage

处理 Treatment	叶片相对含水量 Leaf relative water content/%	叶绿素含量 Chlorophyll content	净光合速率 Net photosynthetic rate /($\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	蒸腾速率 Transpiration rate /($\text{mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	水分利用效率 Water use efficiency /($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
T1	92.7a	24.1a	18.6a	5.4a	3.45
T2	91.9b	24.8a	17.8b	4.7b	3.76
T3	89.4c	25.5b	15.41c	4.6b	3.33
T4	91.2b	22.9c	16.0c	4.9ab	3.25

同一列不同的字母表示处理之间存在显著性差异($P < 0.05$)

4 个处理之间净光合速率差异性显著, T1 处理最大, 其次为 T2 处理, 再次是 T3 和 T4 处理。这说明在果实快速生长期控制土壤水势降低叶片的净光合速率。而蒸腾速率 T3 处理最小, T1 处理最大, 说明适当的控制土壤水势能显著地降低蒸腾速率。4 个处理中, 其中 T2 处理的叶片水分利用效率最大, 其次是 T1 处理, 再次是 T3 处理, T4 处理最小。说明该时期轻度水分亏缺能提高叶片水分利用效率, 而中度水分亏缺降低了叶片水分利用效率。

该时期 T4 处理的土壤水势与 T1 或 T2 处理不存在显著性差异, 但是光合速率却显著的小于两个处理, 而且水分利用效率也小于其他处理, 这可能是由于 T4 处理的叶片的叶绿素相对含量较低造成的, 可能归因于果实生长期前期的水分胁迫处理。即果实生长期前期的水分胁迫处理影响果实生长期叶片的光合功能。

2.4 不同水分处理对果实数量的影响

从图 3 可以看出 6 月 26 日 T3 处理的果实数量最多, 其次是 T2, T1, T4, 这说明适当的控制土壤水势能显著地提高梨枣的坐果数量, 但土壤水势太低时, 严重的影响到梨枣的坐果数量。在果实缓慢生长期 4 个处理都有不同程度的落果现象。其中 T3 处理落果最严重, 落果率为 70.9%, 其次是 T2 和 T1 处理, 落果率为 36.3% 和 32.8%, 再次是 T4 处理为 16.5% (表 3)。T3 和 T4 处理在落果前, 果实数量存在极显著差异, 可能导致了落果率存在显著差异。而 T3 与 T1 和 T2 处理落果率存在显著性差异可能是由于落果前果实数量不同以

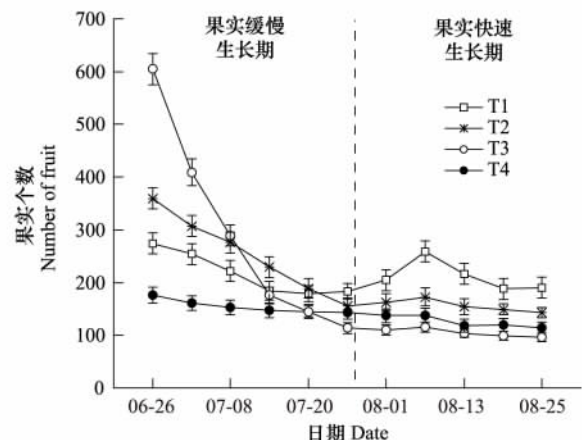


图 3 不同处理下梨枣果实的动态变化

Fig. 3 Dynamic trend of fruit number in different treatments

及土壤水势不同。高水分处理能降低落果率。

在果实快速生长期, T3 和 T4 处理的果实数量在逐渐的减少(图 3), 这是由落果造成的。但是 T1 和 T2 的果实数量又出现递增的趋势, 这主要是因为枣树的花期较长, 可以多次坐果, 这两个处理的坐果数量大于落果数量, 所以出现果实数量增加的现象(图 3)。从表 3 可以看出, T1 处理此时间段内的落果率是负值, 即 T1 处理在此时间段内坐果数量大于落果数量。而 T2 处理在此阶段的落果率最大, 原因可能是此阶段开始前 T2 的果实数量最大。这说明在果实的生长期, 土壤水势维持在 -41 — -51 kPa, 能显著地降低落果率。但是由于后期坐果的果实生长期短, 一般发育不完全, 导致果实体积较小单果重小。所以 T1 处理的单果重最小, T2、T3 和 T4 处理之间不存在显著的差异。而 T1 和 T2 处理果实产量不存在显著差异, T3 和 T4 处理产量明显的降低。这说明适当的控制土壤水势提高了单果重, 从而弥补了果实数量减少对产量的损失。

T4 处理在 7 月 13 日灌水后, 土壤水势已达到 T1 处理的土壤水势水平(图 1a), 但是在果实快速生长期没有出现果实数量递增的现象, 这可能是由于 T4 处理在萌芽开花期受到的重度水分胁迫有关。萌芽开花期的水分胁迫处理影响了梨枣后期的坐果水平。

表 3 不同水势处理对果实生长的影响

Table 3 Effects of treatments on the development of fruits of jujube trees

处理 Treatment	落果率 Fruit abscission rate/%		果实数量 Fruit number	单果重 Single fruit weight /g	产量 Production /g
	果实缓慢生长期 Low-growing fruit stage	果实快速生长期 Fast-growing fruit stage			
T1	32.8a	-2.2a	190a	21.3a	4051.180a
T2	36.3a	23.9b	143b	28.8b	4118.400a
T3	70.9b	13.1c	97c	29.2b	2834.146b
T4	16.5c	18.4c	115d	29.1b	3232.248b

同一列不同的字母表示处理之间存在显著性差异($P < 0.05$)

3 结论与讨论

大量的研究结果表明在茎直径快速生长期 MXTD 能作为作物体内水分状况的诊断指标^[15-16], 本文的研究结果与此一致。高水分处理提高了茎秆直径的生长速率, 土壤水势越高, MXTD 生长越快, 这与 Egea 等^[17]对杏树的研究结果一致。本实验的研究结果还发现, 在果实缓慢生长期, 茎直径的生长出现缓慢生长阶段, 这可能是由于此时果实的生长、花芽的分化以及坐果急需大量的营养物质, 枣树体内进行了生理协调^[12], 导致茎秆直径生长缓慢。高水分处理能缩短茎秆缓慢生长阶段, 提前进入快速生长阶段。高水分处理促进梨枣茎秆直径的生长。本文的研究结果还表明叶片相对含水量也能反映梨枣的水分状况, 与 Hewitt^[18]的结论一致。

研究结果表明, 土壤水势在 -41 — -84 kPa 范围波动时, 叶片的水分利用效率提高, 而当土壤水势在 -61 — -135 kPa 范围波动时, 叶片水分利用效率降低, 这说明梨枣果实快速生长期的轻度水分亏缺提高了叶片的水分利用效率, 中度亏缺降低了水分利用效率, 这与马福生等^[19]的研究结果一致。众多的研究^[20-21]表明作物水分胁迫复水后, 叶片的光合功能恢复。赵春明等^[22]对梨枣的研究结果也表明, 水分胁迫后复水能增大梨枣树的光合速率和蒸腾速率。但是本文的研究结果表明, 在果实生长期土壤水势低至 -461 kPa 复水后, 叶片的光合功能不会恢复。这可能是由于水分胁迫的强度和持续的时间不同造成的, 而且本实验的 T4 处理叶片的叶绿素相对含量显著低于其他处理。说明梨枣萌芽开花期控制土壤水势低至 -461 kPa 后, 将会影响到叶片的结构, 影响叶片的光合功能。林祥磊等^[21]对羊草的研究结果也表明, 土壤含水量超过一定范围复水后, 光合参数不能恢复到正常水平。

梨枣的花芽生长在当年枝上, 具有当年分化、当年开花的特点^[12]。新枝的长出, 就会有花芽的分化, 因此枣树花期很长。水分充足时, 后期新枝会不断生长, 而且仍能坐果。本研究的研究结果表明在果实快速生长期 T1、T2 处理均有果实数量增加的现象, 而 T3 处理没有出现果实增加的现象。这说明在果实生长期, 土壤水势大于 -84 kPa 的条件下, 会出现再次坐果的现象。但是后期果实的生育期短, 果实体积一般较小^[12]。本

文的实验结果也证明了这点。Kili 等^[23]研究得出减少灌溉处理降低了最终的单果重,马福生等^[19]对梨枣的研究结果也表明,调亏处理降低了梨枣的单果重。而本文研究得出 T1 处理的平均单果重最小,而控制灌溉的处理单果重明显的大于 T1 处理,说明控制灌溉提高了单果重。造成研究结果差异的原因可能是:(1) 梨枣与苹果品种不同,不同植物对水分亏缺有着不同的响应变化和适应方式^[24];(2) 生态环境不同,作物对水分的需求不同;(3) 两个试验控制灌溉的方式和水平不同。本实验是直接控制土壤水势,而马福生的试验是通过控制灌溉量,而且控制的土壤水分水平不同。T4 处理完全复水后,土壤水势大于-84 kPa,但该处理没有出现坐果现象,说明果实生长期前期的土壤水势小于-461 kPa 时,将影响果实快速生长期坐果。

References:

- [1] Wu P T, Wang Y K, Xin X G, Zhu D L. Integration and demonstration of the date micro-irrigation technology in the hilly of Shanbei. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2008, 25(4): 1-6, 12-12.
- [2] Tian J L, Liu G B. Existing problems and suggestions on program for conversion of farmland to forestland or grassland in loess plateau. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2004, 24(1): 63-65, 78-78.
- [3] Liu G S, Guo A H, Ren S X, An S Q, Lin R N, Zhao H R. The effect of limited water supply on root growth and soil water use of winter wheat. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(11): 2342-2352.
- [4] Ortuño M F, García-Orellana Y, Conejero W, Pérez-Sarmiento F, Torrecillas A. Assessment of maximum daily trunk shrinkage signal intensity threshold values for deficit irrigation in lemon trees. *Agricultural Water Management*, 2009, 96(1): 80-86.
- [5] Turner N C. Further progress in crop water relations. *Advances in Agronomy*, 1996, 58: 293-338.
- [6] Shao G C, Zhang J, Chen L, Liu N, Xing W G. Effect of space-time deficit irrigation on physiological and gronomic features of hot pepper in greenhouse. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2008, 39(3): 96-100.
- [7] Cui N B, Du T S, Kang S Z, Li F S, Zhang J H, Wang M X, Li Z J. Regulated deficit irrigation improved fruit quality and water use efficiency of pear-jujube trees. *Agricultural Water Management*, 2008, 95(4): 489-497.
- [8] Ma F S, Kang S Z, Wang M X. Research advance and prospect of regulated deficit irrigation on fruit trees. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2005, 22(4): 225-228.
- [9] Jones H G. Irrigation scheduling: advantages and pitfalls of plant-based methods. *Journal of Experimental Botany*, 2004, 55(407): 2427-2436.
- [10] Wang Z. *Plant Physiology*. Beijing: Chinese Agriculture Press: 2000: 289-290.
- [11] Quilot B, Génard M, Kervella J, Lescouret F. Ecophysiological analysis of genotypic variation in peach fruit growth. *Journal of Experimental Botany*, 2002, 53(374): 1613-1625.
- [12] Chen Y J. *Introduction to Chinese Jujube*. Beijing: China Science and Technology Press: 1991: 182-185, 256-259.
- [13] Goldhamer D A, Fereres E. Irrigation scheduling of almond trees with trunk diameter sensors. *Irrigation Science*, 2004, 23(1): 11-19.
- [14] Conejero W, Alarcón J, García-Orellana Y, Nicolás E, Torrecillas A. Evaluation of sap flow and trunk diameter sensors for irrigation scheduling in early maturing peach trees. *Tree Physiology*, 2007, 27(12): 1753-1759.
- [15] Goldhamer D, Fereres E. Irrigation scheduling protocols using continuously recorded trunk diameter measurements. *Irrigation Science*, 2001, 20(3): 115-125.
- [16] Intrigliolo D S, Castel J R. Continuous measurement of plant and soil water status for irrigation scheduling in plum. *Irrigation Science*, 2004, 23(2): 93-102.
- [17] Egea G, Nortes P A, González-Real M M, Baille A, Domingo R. Agronomic response and water productivity of almond trees under contrasted deficit irrigation regimes. *Agricultural Water Management*, 2010, 97(1): 171-181.
- [18] Hewitt F R, Hough T, O'Neill P, Sasse J M, Williams E G, Rowan K S. Who taught plants thermodynamics? The unfulfilled potential of plant water potential. *Functional Plant Biology*, 1985, 12(3): 213-217.
- [19] Ma F S, Kang S Z, Wang M X, Pang X M, Wang J F, Li Z J. Effect of regulated deficit irrigation on water use efficiency and fruit quality of pear-jujube tree in greenhouse. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2006, 22(1): 37-43.
- [20] Wang L, Hu N, Zhang T, Ding S Y. Effects of drought and rewating on photosynthesis and chlorophyll fluorescence of the soybean leaf. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(9): 3630-3636.
- [21] Lin X L, Xu Z Z, Wang Y H, Zhou G S. Modeling the responses of leaf photosynthetic parameters of *Leymus chinensis* to drought and rewating. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(10): 4718-4724.
- [22] Zhao C M, Wang M X, Zheng L X, Zhou F Y. Effect of regulated deficit irrigation on transpiration and photosynthesis of pear-jujube tree.

Advances in Science and Technology of Water Resources ,2010 ,30(1) : 45-47.

- [23] Kilili A W ,Behboudian M H ,Mills T M. Composition and quality of 'Braeburn' apples under reduced irrigation. *Scientia Horticulturae* ,1996 ,67(1/2) : 1-11.
- [24] Yan H L ,Zhang X M ,Xu H ,Liu Y. Photosynthetic characteristics responses of three plants to drought stress in Tarim Desert Highway shelterbelt. *Acta Ecologica Sinica* ,2010 ,30(10) : 2519-2528.

参考文献:

- [1] 吴普特,汪有科,辛小桂,朱德兰. 陕北山地红枣集雨微灌技术集成与示范. *干旱地区农业研究* ,2008 ,25(4) : 1-6 ,12-12.
- [2] 田均良,刘国彬. 黄土高原退耕还林工程中的现存问题及有关建议. *水土保持通报* ,2004 ,24(1) : 63-65 ,78-78.
- [3] 刘庚山,郭安红,任三学,安顺清,林日暖,赵花荣. 人工控制有限供水对冬小麦根系生长及土壤水分利用的影响. *生态学报* ,2003 ,23(11) : 2342-2352.
- [6] 邵光成,张娟,陈磊,刘娜,邢文刚. 时空亏缺灌溉对温室盆栽辣椒生理生态指标的影响. *农业机械学报* ,2008 ,39(3) : 96-100.
- [8] 马福生,康绍忠,王密侠. 果树调亏灌溉技术的研究现状与展望. *干旱地区农业研究* ,2005 ,22(4) : 225-228.
- [10] 王忠. *植物生理学*. 北京,中国农业出版社,2000: 289-290.
- [12] 陈贻金. *中国枣树学概论*. 北京,中国科学技术出版社,1991: 182-185 ,256-259.
- [19] 马福生,康绍忠,王密侠,庞秀明,王金凤,李志军. 调亏灌溉对温室梨枣树水分利用效率与枣品质的影响. *农业工程学报* ,2006 ,22(1) : 37-43.
- [20] 王磊,胡楠,张彤,丁圣彦. 干旱和复水对大豆(*Glycine max*) 叶片光合及叶绿素荧光的影响. *生态学报* ,2007 ,27(9) : 3630-3636.
- [21] 林祥磊,许振柱,王玉辉,周广胜. 羊草(*Leymus chinensis*) 叶片光合参数对干旱与复水的响应机理与模拟. *生态学报* ,2008 ,28(10) : 4718-4724.
- [22] 赵春明,王密侠,郑灵祥,周富彦. 调亏灌溉对梨枣树蒸腾作用和光合作用的影响. *水利水电科技进展* ,2010 ,30(1) : 45-47.
- [24] 闫海龙,张希明,许浩,刘英. 塔里木沙漠公路防护林 3 种植物光合特性对干旱胁迫的响应. *生态学报* ,2010 ,30(10) : 2519-2528.