

DOI: 10.5846/stxb201206280908

张琳琳,汪有科,韩立新,刘守阳,李晓彬. 梨枣花果期耗水规律及其与茎直径变化的相关分析. 生态学报 2013, 33(3): 0907-0915.

Zhang L L, Wang Y K, Han L X, Liu S Y, Li X B. Water consumption of pear jujube trees (*Ziziphus jujuba* Mill.) and its correlation with trunk diameter during flowering and fruit development periods. Acta Ecologica Sinica 2013, 33(3): 0907-0915.

梨枣花果期耗水规律及其与茎直径变化的相关分析

张琳琳^{1,2}, 汪有科^{1,3,*}, 韩立新^{1,2}, 刘守阳³, 李晓彬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: 设置 4 个水分处理, 研究了 4 年生梨枣 2010 年及 2011 年花果期不同供水条件下土壤水分动态和耗水规律, 分析了梨枣日耗水量与茎直径变化间的相关性, 建立回归模型。结果表明: (1) 2a 内各处理梨枣耗水量随土壤供水量的增加而增大, 其日耗水量最大值均出现在灌水后 1 周内; 各处理果实膨大期日耗水强度大于开花坐果期。(2) 2a 内各处理茎直径日变化平均值 (MTD)、茎直径日最大值 (MXTD) 均符合 Logistic 函数关系, MXTD 与 MTD 在表征梨枣茎秆生长规律方面效果一致, 各处理茎直径变化指标 (MTD、MXTD) 增长率因水分处理的不同而存在差异。(3) 高水分 (T1 处理) 条件下茎直径变化指标 (MTD、MXTD、MDS (茎直径日最大收缩量)、DG (茎直径日生长量)) 在表征枣树耗水状况方面不敏感; 在低水分 (T4 处理) 条件下, 日耗水量与茎直径日最大收缩量 (MDS) 相关系数较其他 3 个茎直径变化指标 (MTD、MXTD、DG) 高且达极显著水平, 说明 MDS 能够更好的表征低水分处理的梨枣耗水规律。在此基础上建立耗水量与茎直径变化回归模型, 为评价梨枣耗水状况提供依据。

关键词: 梨枣; 日耗水量; 耗水规律; 敏感指标; 相关分析

Water consumption of pear jujube trees (*Ziziphus jujuba* Mill.) and its correlation with trunk diameter during flowering and fruit development periods

ZHANG Linlin^{1,2}, WANG Youke^{1,3,*}, HAN Lixin^{1,2}, LIU Shouyang³, LI Xiaobin²

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

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

3 College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China

Abstract: Pear jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.) as a common tree crop in the Loess Plateau region of China, but its ecological and economic benefits have failed to be fully realized because of the shortage of water resources. Therefore, improving jujube yield and water use efficiency are key goals. Studies of the water deficit index and water consumption rules can help to design more optimal irrigation systems and improve water use efficiency. In 2010 and 2011, we studied the water consumption of 4-year-old jujube plants subjected to one of four soil water treatments during their flowering and fruit development periods. We analyzed the correlation of water consumption to variation in trunk diameter and established a regression model. Our goal was to determine how pear jujube stem diameter responded to water conditions during the flowering and fruit development periods to determine a suitable water deficit index to use in building irrigation systems. The flowering and fruit development periods of pear jujube are critical water demand periods. Because these two processes define the main period of reproductive growth, they determine the quantity, volume, weight, and yield of fruit. Stem diameter

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

收稿日期: 2012-06-28; 修订日期: 2012-10-26

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

<http://www.ecologica.cn>

change indexes included daily mean trunk diameter (MTD), daily maximum trunk diameter (MXTD), maximum daily shrinkage in trunk diameter (MDS), and daily growth of stem diameter (DG). The results indicated that (1) the tree water use increased with an increase in soil water content. Regardless of the treatment differences in soil water conditions, the maximum daily water use all occurred during the week following irrigation, and water consumption during the fruit expansion stage was greater than in flowering and fruit set stages. (2) Two years of experimental data proved that the logistic function could precisely express the changes in MTD and MXTD in the critical water demand periods of jujube, so these two indexes were equivalent in terms of assessing jujube trunk diameter growth during the study period, even though the growth rate varied annually and among treatments. (3) Under the high-water treatment, the indices derived from the trunk diameter (MTD, MXTD, MDS, and DG) were not sensitive to water consumption, while in the low-water treatment, MDS had a highly significant correlation with daily water use compared with the other indexes, indicating its potential as an indicator of jujube water consumption under water deficit conditions. The regression model between water consumption and trunk diameter that we established can be used to analyze the sensitivity of stem diameter variation to water deficit and to detect the water consumption status of pear jujube trees.

Key Words: pear jujube; daily water consumption; law of daily water consumption; sensitive indexes; correlation analysis

红枣作为陕北的一种特色经济林,近年来在国家退耕还林(草)政策的支持下得到了迅速发展,种植面积达到近7万 hm^2 ^[1]。陕北地处半干旱气候区,自然降雨无法满足枣树耗水要求,水资源短缺成了限制枣林产量和经济效益提高的重要因素^[2]。汪有科等^[3-4]集成创新了山地枣林集雨微灌技术,极大提高了枣树的产量和水分利用效率。而对于枣树水分亏缺指标和耗水规律的研究,有助于制定精确灌溉制度,进一步提高水分利用效率。

基于植物自身的水分信息直接与土壤水分状况和作物产量关联,因此比一些非生物水分信息指标更可靠^[5]。作物受到水分胁迫时往往是生长指标更敏感^[6-7]。为此基于植物自身的水分亏缺指标已成为指导灌溉指标的发展趋势,包括茎水势(ψ_{stem})、叶水势(ψ_{leaf})、茎直径变化(TDV)等,对此前人进行了一些研究^[8-10]。与茎水势和叶水势相比,茎直径微变化具有简单易行、对植株不具破坏性、可连续监测、自动记录并准确获取植物体内水分信息的优点,因而被认为是最有潜力表示植物水分状况和指导灌溉制度制定的指标^[11]。Intrigliolo等^[12]得出茎杆水势(ψ_{stem})和茎直径日最大收缩量(MDS)都能够很好的反映植物的水分状态,可以作为灌溉控制指标。Fernanda等^[13]用叶水势、气体交换、液流和茎杆直径变化指标来检测柠檬树的水分胁迫状态,得出MDS是指示成年柠檬树水分亏缺,制定灌溉制度的良好指标。

试验地(米脂)红枣在生长季节理论耗水438.8 mm,花果期是指开花坐果期和果实膨大期,同时花果期也是红枣的关键需水期^[14],这两个时期是生殖生长的主要时期,关系着果实的数量、体积、单果重和产量。本文通过监测不同土壤水势处理条件下2a中梨枣花果期(2010年7月8日—9月4日,2011年6月26日—8月26日)土壤含水量动态变化以及茎直径微变化,通过二者相关关系的分析,试图找到梨枣花果期茎直径变化对水分条件的响应机制,确定适宜水分亏缺指标,为建立灌溉制度提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于2010年7月8日—9月4日和2011年6月26日—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/cm^3 , $0-100 \text{ cm}$ 计划湿润层的田间持水量(FWC)为23%(质量含水量)。

试验小区规格为 $6 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$,采用水泥砌墙与周围土壤隔离并用塑料布进行防渗,使小区土壤环境为封闭系统。小区上方安装防雨棚以消除自然降雨对试验的影响。灌溉方式采用地面滴灌,为提高灌溉均匀

性,每小区布设 2 条毛管,毛管上等距安装 4 个滴头,滴头流量为 4 L/h。供试材料为 2009 年 4 月移栽于子洲县的 3 年生梨枣树,株行距为 1m×2m。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

试验共设计 4 个土壤水势水平,如表 1 所示。其中 2010 年 T4 处理水势设置是由试验初期的 -311kPa 开始,一直不灌水直到果实萎蔫,之后对该区进行灌水至 -311kPa。2011 年 T4 处理水势设置是由前期的水分胁迫处理分 3 次灌水至 -41 kPa,后期逐步进入干旱。每个处理自成一个小区,每小区 3 棵树,单株视为 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。

表 1 各处理土壤水势设置

Table 1 The set of soil water potential in different treatments

年份 Year	处理 Treatment	控制土壤水势范围/kPa Soil water potential	土壤含水量/(cm ³ /cm ³) Water content
2010	T1	-41—-51	0.233—0.196
	T2	-68—-84	0.151—0.123
	T3	-96—-135	0.101—0.082
	T4	-311—果实萎蔫—-311	0.061—果实萎蔫—0.061
2011	T1	-41—-51	0.233—0.196
	T2	-41—-84	0.233—0.123
	T3	-61—-135	0.167—0.082
	T4	水分胁迫—-41—干旱	水分胁迫—0.233—干旱

1.3 观测指标与方法

土壤水势 用平衡式土壤水分张力计(EQ15: Equilibrium Tensiometer) 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。本文中土壤含水量为测得的土壤水势值通过土壤水分特征曲线转换而来,转换公式如下:

$$\theta = 0.058 + (0.402 - 0.058) / (1 + (-B_1 \times 0.016)^{1.71})^{1.71}$$

式中 B_1 为土壤水势值(kPa); θ 为土壤体积含水量(cm³/cm³)。

梨枣耗水量为当日土壤含水量平均值与次日土壤含水量平均值之差,是基于水量平衡条件下的枣林地总耗水量,包括土壤蒸发量和枣树蒸腾量,也称为梨枣蒸散量。

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。在每棵树安装一个探头,探头通过不胀钢框架安装在样树主干距地面 15 cm 处的北向,安装前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,用隔热铝箔纸包裹探头,以防风、气温和降雨等对探头测量精度的影响。所有探头与 DL2e 型数据采集器相连,每 30 min 自动记录 1 次数据。

茎直径的日变化呈“U”型,通常茎直径日最大值(MXTD)出现时间为 8:00 左右,茎直径日最小值(MNTD)出现时间为 16:00^[8,15]。茎秆收缩大多发生在木质部外围的活组织中,其细胞具有弹性较强的细胞壁,因而当水分从中抽出时细胞体积就将减小^[16]。夜间蒸腾停止后,若土壤水分充足,根系吸收的水分补充茎损失的水分使茎秆膨胀,茎秆复原或伴有生长;反之,茎秆不能复原(图 1)。茎直径日最大收缩量(MDS)为 MXTD 与 MNTD 之差,连续两天的 MXTD 或者 MNTD 之差为茎直径日生长量(DG),本试验采用两天的 MXTD 之差作为 DG,日茎秆变化平均值为茎直径日变化平均值(MTD),RT 为日复原时间,取两天 MXTD 出现的时间段,若大于 24h,则以 24h 为准,不能完全复原则以 24h 计算(图 1)。

本文各处理所选数据均为 3 个重复的平均值,采用 SPSS 和 Excel 软件进行数据统计分析,Origin Pro 8.0

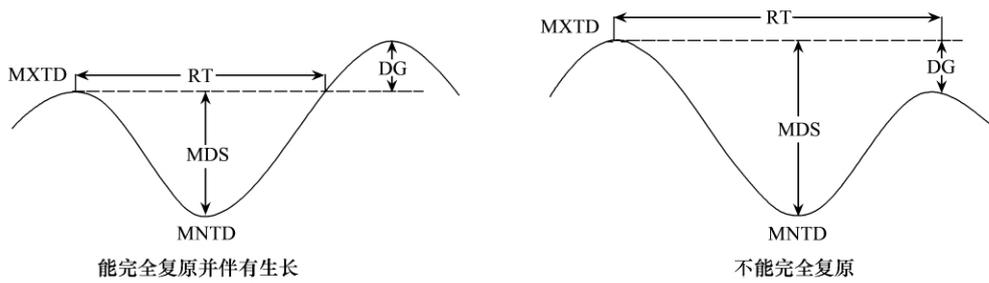


图 1 茎秆直径生长日变化

Fig. 1 Daily fluctuations of trunk diameter

MXTD: 茎直径日最大值 ,Daily maximum trunk diameter; MNTD: 茎直径日最小值 ,Daily minimum trunk diameter; MDS: 茎直径日最大收缩量 , Mximum daily shrinkage in trunk diameter; DG: 茎直径日生长量 ,Daily growth of stem diameter; RT: 日复原时间 ,Recovery time

绘图。

2 结果与分析

2.1 梨枣花果期土壤含水量动态

图 2 是 2010 年 4 个处理在梨枣花果期土壤含水量动态变化(竖直箭头指示各处理灌水日期)。试验初期 4 个处理的土壤含水量明显不同 ,随着试验的进行 ,各小区进入预设的土壤含水量范围。在控制灌溉期间 ,T1 处理土壤含水量在 0.190—0.304 cm^3/cm^3 范围波动 ,于 7 月 30 日、8 月 24 日进行灌溉 ,灌水量为 121.45 mm ,土壤含水量平均为 0.238 cm^3/cm^3 ; T2 处理在 0.122—0.278 cm^3/cm^3 范围波动 ,8 月 7 日和 8 月 24 日各灌水 1 次 ,灌水量 138.99mm ,土壤含水量平均值为 0.192 cm^3/cm^3 ; T3 处理在 0.082—0.244 cm^3/cm^3 范围波动 ,试验于 8 月 24 日灌水 1 次 ,灌水量 125.13 mm ,其土壤含水量平均值为 0.146 cm^3/cm^3 ; T4 处理在 0.058—0.163 cm^3/cm^3 范围波动 ,期间于 8 月 13 日果实萎蔫时灌水 ,灌水量 0.033mm ,其土壤含水量平均值为 0.078 cm^3/cm^3 。

2011 年 4 个处理的土壤含水量波动范围不同(图 2)。T1 处理在 0.194—0.239 cm^3/cm^3 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 ,灌水量总计 118.6 mm ,土壤含水量平均为 0.216 cm^3/cm^3 ; T2 处理在 0.121—0.234 cm^3/cm^3 范围波动 ,分别于 6 月 29 日和 7 月 28 日各灌水 1 次 ,灌水量 112.8 mm ,其土壤含水量平均为 0.177 cm^3/cm^3 ; T3 处理的土壤含水量波动范围为 0.082—0.178 cm^3/cm^3 ,于 6 月 27 日、7 月 14 日和 8 月 1 日灌水 ,灌水量总计 106.8mm ,土壤含水量平均为 0.135 cm^3/cm^3 ; T4 处理由最初的土壤含水量 0.059 cm^3/cm^3 ,于 6 月 26 日、7 月 2 日和 7 月 11 日各灌水 1 次 ,在 7 月 14 日土壤含水量达最大值 0.24 cm^3/cm^3 ,总灌水量 148.4 mm 随后土壤含水量随着时间的推移逐渐变小 ,其土壤含水量平

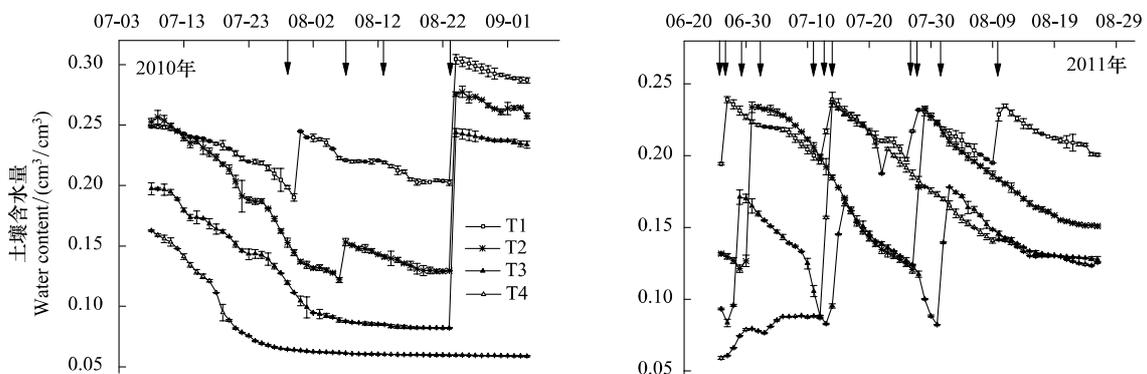


图 2 梨枣花果期土壤含水量动态变化

Fig. 2 Dynamic trend of soil water content of pear jujube trees on flowering and fruit development periods in different treatments

均为 $0.142 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ 。

灌水后,所有处理的土壤水分消耗速率均明显表现出前期大于后期,一方面因为灌水初期表层土壤含水量比后期高,土壤水分状况较好,蒸发剧烈,土壤水分消耗速率快^[17];另一方面经过一定程度干旱处理,梨枣树复水后根系生长活性增强,吸水速率增大。各处理 2010 年灌水频率低于 2011 年,说明随着树龄的增长,枣树根系活动加快,土壤水分变化加大,灌水频数增多。

2.2 梨枣花果期茎直径动态

在梨枣花果期,各处理茎直径日变化平均值(MTD)符合 Logistic 函数关系,相关系数 R^2 在 0.96 以上且均达到显著性水平($P < 0.05$) (图 3),说明土壤含水量对 MTD 的变化趋势没有影响,各年内的 MTD 曲线变化规律一致,均呈不同程度的递增趋势,这说明各处理下梨枣树的茎直径均能复原并伴随着生长。2a 内各处理 MTD 增长率因土壤含水量以及树龄的不同而存在差异。2010 年 4 个处理增长率 $T1 > T2 > T3 > T4$,分别为

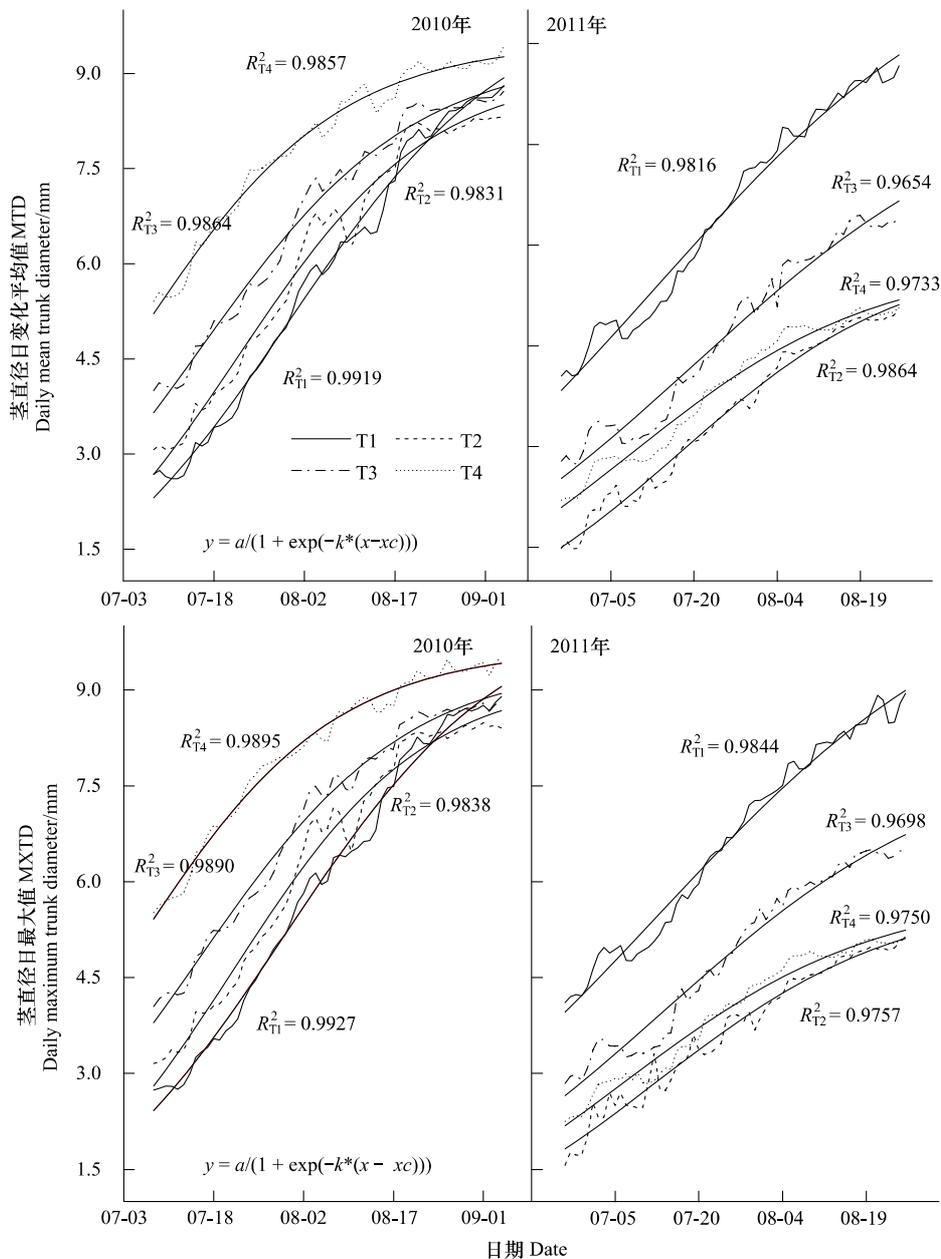


图 3 梨枣花果期茎直径微变化指标动态变化

Fig. 3 The daily change of trunk diameter variation derived indexes during flowering and fruit development periods

2.28、1.71、1.18、0.74,高水分处理(T1)MTD 增长率最大,低水分处理(T4)MTD 递增幅度最小,说明该时期为该树龄枣树提供充足的水分有助于茎秆直径的增粗。2011 年各处理增长率为 T2 > T3 = T4 > T1,控制灌溉的 T2 处理增长率最大(2.30),其次是 T3 和 T4 处理(1.25),高水分的 T1 处理增长率最低(1.08),说明低水分处理有助于梨枣茎秆直径的生长,同时随着树龄的变化,梨枣生命活动不同,对水分的需求也不同,这与 2011 年李晓彬的结论一致^[18]。在试验前期(开花坐果期)MTD 增长较快,这是由于开花坐果期果实较小,对水分和营养的需要量较小,营养生长占有一定优势,在果实膨大后期 MTD 变化平缓,此时生殖生长占优势,水分在果实品质形成过程中起着关键作用^[16,19]。

茎直径日最大值(MXTD)曲线变化规律总体趋势与 MTD 一致,同样符合 Logistic 函数关系,变化规律与结论均与 MTD 一致,说明 MXTD 与 MTD 在表征梨枣茎秆生长规律方面效果一致(图 3)。

2.3 梨枣花果期耗水量动态

如图 4 所示梨枣花果期耗水量呈不同的波动趋势。2010 年 T1、T2、T3、T4 处理梨枣耗水量分别在 1.07—3.54 mm、1.08—3.88 mm、0.96—3.25mm、1—2.4 mm 范围波动,花果期耗水量 T1 > T2 > T3 > T4,分别为 147.82、136.17、110.4、97.668mm,日均耗水强度 T1 > T2 > T3 > T4,分别为 2.55、2.35、1.90、1.68mm/d,T1、T2、T3、T4 日耗水量最大值分别出现在 8 月 29 日、8 月 16 日、8 月 27 日、8 月 18 日,均为灌水后,且灌水后 1 周内梨枣耗水量持续增大,之后逐渐减少,耗水曲线呈抛物线状,说明梨枣耗水量随土壤含水量的增加而增大。2a 内各处理耗水量曲线均表现为递增趋势,开花坐果期是枣树营养生长、生殖生长的并进时期,枣树各项生理活动机能增加,树体冠层等属于快速生长期,并且随气温的升高,作物蒸腾加强,枣树对水分的需求日益增加,耗水量增大,此阶段的日耗水强度分别为 2.26、1.91、1.64、1.46 mm/d,可以看出此阶段不同水分处理间耗水量差异较大。果实膨大期日耗水量达最大,此阶段树体各方面生长均达最大状态(包过新梢生长、

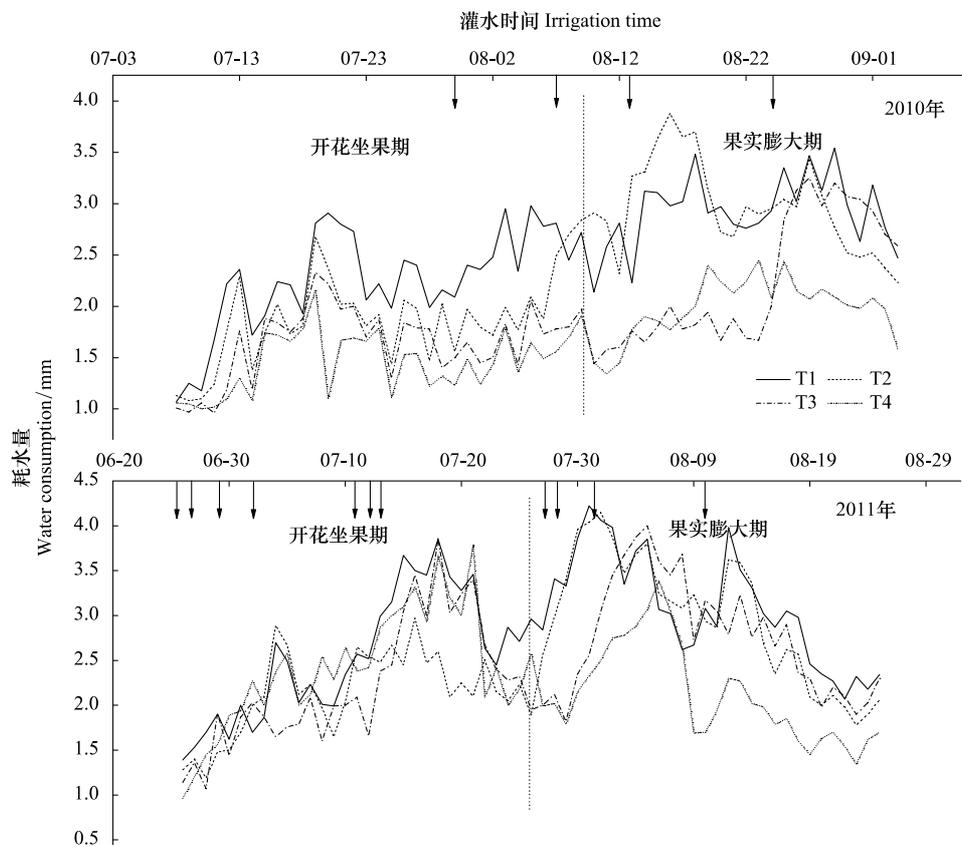


图 4 梨枣花果期耗水量的动态变化

Fig. 4 Dynamic trend of water consumption of pear jujube trees during flowering and fruit development periods under different treatments

叶面积等) 新陈代谢旺盛, 气温在此时也较高, 枣树对水分的需求达到最大, 日耗水强度分别为 2.93、2.97、2.24、1.98 mm/d, 分别是开花坐果期耗水强度的 1.30、1.56、1.36、1.35 倍。果实膨大后期耗水量明显减少, 日变化平缓, 此时枣树已逐渐进入成熟前期, 耗水量随之减少, 另一方面此时枣树的各项生长指标(包括新稍生长、叶面积等) 均已达稳定状态, 所以日变化平缓。

2011 年各处理梨枣耗水量分别在 1.39—4.22、1.19—4.15、1.07—4.09、0.96—3.79mm 范围波动, 花果期耗水量 $T1 > T2 > T3 > T4$, 分别为 171.66、155.45、151.87、138.23mm, 日耗水强度 $T1 > T2 > T3 > T4$, 分别为 2.81、2.55、2.50、2.27mm/d, 各处理日耗水量最大值均出现在灌水后一周内, 与 2010 年规律一致。可以看出 2011 年各处理花果期耗水总量与日耗水强度均高于 2010 年, 说明一方面随着树龄的增大, 植株体形增大, 各项生命活动增强, 对水分等的需求增多, 耗水量增加, 另一方面年际间气候因子的不同, 也是影响梨枣耗水量不同的主要因子^[20-21]。

2.4 梨枣花果期日耗水量与茎直径变化指标的相关分析

在茎直径变化指标(MTD、MXTD、MDS、DG) 中, 2010 年 T1 处理的日耗水量仅与 MDS 呈极显著相关, 相关系数 0.448, 而 2011 年的 T1 处理的日耗水量与各茎直径变化指标相关性均不显著, 可见高水分条件下茎直径变化指标在表征枣树耗水状况方面不敏感。T2、T3 作为调亏灌溉的水分处理, 其日耗水量与茎直径变化指标(除 DG 外) 呈极显著相关关系, 说明梨枣茎直径变化指标(MTD、MXTD、MDS) 可以作为适当调亏灌溉处理的枣树敏感性指标。2a 中 T4 作为低水分处理, 其日耗水量与茎直径动态指标(除 DG) 呈极显著相关, 这说明枣树茎直径变化指标(MTD、MXTD、MDS) 能够很好的表征低水分处理的枣树耗水状况, 其中 MDS 能够更好的表征这一耗水状况, 其相关系数最大达 0.858。2a 试验中 DG 只与 2010 年 T4 处理以及 2011 年 T2 处理枣树日耗水量相关性显著, 其他处理均不显著, 这可能是由于影响 DG 的因素较为复杂, 与单因素间的线性相关性不显著。2a 中不同水分处理的 MTD、MXTD 与耗水量相关性一致, 这说明这两个指标在表征枣树日耗水量方面效果相同。

由表 3 可以建立线性回归模型为 $y_i = ax_j$, 式中 y 为耗水量; a 为回归系数; x 为茎直径变化指标; $i = T1, T2, T3, T4; j = MTD, MXTD, MDS, DG$ 。由表 2、表 3 可以看出, 耗水量与茎直径变化指标间相关性越显著且相关系数越大, 线性回归时决定系数则越大, 显著水平越高。如 2010 年 T1 处理 MDS 对耗水量作用极显著, 且决定系数最大, 其他茎直径指标作用不显著。2a 中低水分 T4 处理中 MTD、MXTD、MDS 均对耗水量作用极显著, 且决定系数大于其他水分处理。说明该回归模型可为低水分处理下梨枣耗水状况提供依据。

表 2 梨枣花果期日耗水量与茎秆直径指标值的相关分析

Table 2 Correlation analysis between pear jujube daily water consumption and trunk diameter variation derived indexes during flowering and fruit development periods

2010 年	处理 Treatments								
	T1	T2	T3	T4	2011 年	T1	T2	T3	T4
MTD	-0.134	-0.463 **	-0.578 **	-0.852 **	MTD	-0.209	-0.405 **	-0.567 **	-0.462 **
MXTD	-0.123	-0.460 **	-0.562 **	-0.847 **	MXTD	-0.207	-0.414 **	-0.544 **	-0.413 **
MDS	0.448 **	0.111	0.410 **	0.858 **	MDS	0.204	-0.045	0.288 *	0.647 **
DG	0.142	0.095	0.211	0.312 *	DG	0.19	0.293 *	0.048	0.06

MXTD: 茎直径日最大值, Daily maximum trunk diameter; MNTD: 茎直径日最小值, Daily minimum trunk diameter; MDS: 茎直径日最大收缩量, Maximum daily shrinkage in trunk diameter; DG: 茎直径日生长量, Daily growth of stem diameter; RT: 日复原时间, Recovery time; * 表示相关显著($P < 0.05$), ** 表示相关极显著($P < 0.01$)

3 结论及讨论

(1) 通过连续 2a 对梨枣花果期耗水状况的研究表明, 梨枣耗水量随着土壤供水量的增加而增大, 各个处理日耗水量最大值均出现在灌水后 1 周内, 在 2a 中高水分处理(T1) 耗水量最大, 花果期梨枣日耗水强度均为 $T1 > T2 > T3 > T4$, 足以证明梨枣耗水量随着土壤供水量的增加而增大, 这与汪耀富^[22]研究的烤烟蒸腾耗

水量的结论一致。

(2) 梨枣树日耗水量受生育期、树龄以及气候的影响。2a 内各处理耗水量曲线均表现为递增趋势,枣树在开花坐果期各项生理机能趋于活跃,耗水量递增,在果实膨大期耗水达到最大值。果实膨大期树体各项生理机能均达到最活跃状态,耗水量最大,各处理耗水强度也均高于同处理的开花坐果期,这与 2010 年胡永翔^[23]的研究结果一致。2011 年各处理花果期耗水总量与日均耗水强度均高于 2010 年,说明一方面随着树龄的增加,枣树树体增大,生命活动加强,耗水量增加,另一方面年际间气候差异,也是影响梨枣耗水量关键因素^[20-21]。

表 3 梨枣花果期日耗水量与茎秆直径指标值的线性回归

Table 3 Linear regression between pear jujube daily water consumption and trunk diameter variation derived indexes during flowering and fruit development periods

年份 Year	处理 Treatment	MTD			MXTD			MDS			DG		
		<i>a</i>	<i>R</i> ²	sig									
2010 年	T1	-0.101	0.018	0.318	-0.093	0.015	0.359	5.384	0.201	0	1.88	0.02	0.287
	T2	-0.55	0.215	0	-0.543	0.212	0	2.003	0.012	0.408	1.329	0.009	0.477
	T3	-0.695	0.334	0	-0.675	0.315	0	6.431	0.168	0.001	3.367	0.045	0.111
	T4	-1.218	0.727	0	-1.228	0.718	0	4.403	0.165	0.002	4.697	0.098	0.017
2011 年	T1	-0.204	0.044	0.105	-0.201	0.043	0.11	2.243	0.041	0.116	2.186	0.036	0.143
	T2	-0.662	0.213	0	-0.651	0.171	0.001	4.233	0.419	0	0.547	0.004	0.644
	T3	-0.747	0.321	0	-0.725	0.296	0	2.448	0.083	0.024	0.615	0.002	0.712
	T4	-0.593	0.164	0.001	-0.614	0.171	0.001	5.378	0.423	0	4.997	0.086	0.022

sig < 0.05 表示显著, sig < 0.01 表示极显著

(3) 通过连续 2a 对梨枣花果期茎直径动态变化有关指标的研究表明,各处理 MTD、MXTD 的变化规律一致,均符合 Logistic 函数关系,各指标(MTD、MXTD) 增长率因水分处理不同而存在差异,说明 MTD、MXTD 可以作为树体生长状况的监测指标。

(4) 茎直径微变化各指标均受土壤水分的影响,但影响程度不同。2a 不同水分处理 MTD、MXTD 与耗水量的相关性一致,二者表征植物与土壤水分关系的作用相同。以 T1 处理为例,2a 间与耗水量显著相关的指标并不相同,这与 Morales^[24]和 Moreno^[15]研究认为茎直径变化与树龄有关的结论一致。2a 中 T4 为低水分处理,其日耗水量与 MDS 相关系数较其他 3 个处理高且达到极显著水平,说明 MDS 在一定水分亏缺条件下能够很好的表征枣树耗水规律,与 Moreno^[15]对橄榄树以及 Ruiz-Sánchez^[11]对柠檬树得出 MDS 可以作为植物水分亏缺敏感性指标的研究结果相一致。Moriana^[24]等研究认为茎直径微变化与物候期和生育期有关,果实的生长、成熟和采摘直接影响到茎直径微变化,所以分生育期分析 MTD、MXTD、MDS 与不同处理枣树日耗水量相关性意义重大,有待进一步探讨。

References:

- [1] Wu P T, Wang Y K, Han Y P, Zhao X N. Create and enlightenment of ecological of Modern agricultural development mode in Mengcha. China Development Observation, 2008, (11): 53-55.
- [2] Shan L. Countermeasures for sustainable development of agriculture in the loess plateau. Agriculture of shaanxi province. Official of shaanxi province of the development of the western region and shaanxi symposium on agricultural development 2000, 4.
- [3] Wang Y K, Xu F L, Xin X G. Research of Application and demonstrate of the micro-irrigation technology in production of date in the hilly of Shanbei. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2008, 28(4): 198-204.
- [4] 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, 26(4): 1-6, 12.
- [5] Liu C M, Zhang X Y, Hu C S. SPAC interface water flux control and its application to water-saving in agriculture. Journal of Beijing Normal University(Natural Science), 2009, (Z1): 446-451.
- [6] Shan L. Plant drought resistance and semi-dryland farming. Agricultural Research in the Arid Areas 2007, (1): 1-5.
- [7] Remorini D R. Massai. Comparison of water status indicators for young peach trees. Irrigation Science, 2003, 22(1): 39-46.

- [8] Goldhamer D A , Fereres E. Irrigation scheduling of almond trees with trunk diameter sensors. *Irrigation Science* ,2004 ,23(1) : 11-19.
- [9] Ortuño M , Conejero W , Moreno F , Moriana A , Intrigliolo D , Biel C , Mellisho C , Pérez-Pastor A , Domingo R , Ruiz-Sánchez M. Could trunk diameter sensors be used in woody crops for irrigation scheduling , A review of current knowledge and future perspectives. *Agricultural Water Management* ,2010 ,97(1) : 1-11.
- [10] Fernández J , Cuevas M. Irrigation scheduling from stem diameter variations: A review. *Agricultural and Forest Meteorology* ,2010 ,150(2) : 135-151.
- [11] Kozłowski T , Winget C. Diurnal and seasonal variation in radii of tree stems. *Ecology* ,1964 ,45(1) : 149.
- [12] 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.
- [13] Ortuño M , García-Orellana Y , Conejero W , Ruiz-Sánchez M , Alarcón J , Torrecillas A. Stem and leaf water potentials , gas exchange , sap flow , and trunk diameter fluctuations for detecting water stress in lemon trees. *Trees - Structure and Function* ,2006 ,20(1) : 1-8.
- [14] Li X B , Wang Y K , Zhao C H , Wang Y , Zhang Y Y , Wang X , Zhang J G. Effect of regulated irrigation on input-output benefits of pear jujube. *Chinese Journal of Eco-Agriculture* ,2011 , (4) : 818-822.
- [15] 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.
- [16] Li X G , Huang J , Song S D , Gao W H. Meteorological Factors Affecting Jujube-Yield and Quality of North Shaanxi. *Journal of Northwest Forestry University* 2004 (4) : 38-42.
- [17] Li J Y , Zhou P , Zhao L J. Influence of Drought Stress on Transpiring Water-consumption of Seedlings. *Acta Ecologica Sinica(in Chinese)* ,2002 ,22(9) : 1380-1386.
- [18] Li X B. The Response of Jujube Physical Growth to Soil Water on Loess Region in Yulin. Graduate university of chinese academy of science(The ministry of education of soil and water conservation and ecological environmental research center) ,2011.
- [19] Zhang Z B , Zhao X C , Shi Z A , Li G C , Li X L. Effect of ecological factors on the quality of *Ziziphus jujuba* Mill. cv. " Dongzao" fruit. *Chinese Journal of Eco-Agriculture* ,2009 , (5) : 923-928.
- [20] Lu G B , Liu X , Liu H. Variation in Water Consumption for Transpiration of Jujube Trees. *Journal of Northeast Forestry University* ,2011 (06) : 38-40 + 43.
- [21] Zhao C M. Study on the Effect of Physiological Response to Pear-Jujube Tree under RDI. Northwest A&F University 2010.
- [22] Wang Y F , Cai H Y , Li J P , Chen Z G. Relationship between soil moisture and transpirational water-consumption of flue cured tobacco under different water supplying conditions. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering* ,2007 , (1) : 19-23.
- [23] Hu Y X. Study on irrigation schedule and crop coefficient of drip irrigation JUJUBE on sloping fields of loess plateau. Northwest A&F University ,2010.
- [24] Fereres E , Orgaz F , Castro J , Humanes M , Pastor M , Moriana A. The relations between trunk diameter fluctuations and tree water status in olive trees (*Olea europea* L.). *International society for horticultural science* ,1999 ,293-297.

参考文献:

- [1] 吴普特,汪有科,韩宇平,赵西宁. 孟盆生态型现代农业发展模式创建与启示. *中国发展观察* ,2008 (11) : 53-55.
- [2] 山仑. 黄土高原农业可持续发展的对策. 陕西省农业厅. 陕西省农学会西部大开发与陕西农业发展研讨会论文集,2000 ,4.
- [3] 汪有科,徐福利,辛小桂. 微灌技术在陕北山地红枣生产中的应用示范研究. *水土保持通报* ,2008 ,28(4) : 198-204.
- [4] 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 ,26(4) : 1-6 ,12.
- [5] 刘昌明,张喜英,胡春胜. SPAC 界面水分通量调控理论及其在农业节水中的应用. *北京师范大学学报(自然科学版)* ,2009 , (Z1) : 446-451.
- [6] 山仑. 植物抗旱生理研究与发展半旱地农业. *干旱地区农业研究* ,2007 , (1) : 1-5.
- [14] 李晓彬,汪有科,赵春红,王颖,张勇勇,汪星,张建国. 水分调控对梨枣果实品质与投入产出效益的影响分析. *中国生态农业学报* ,2011 , (4) : 818-822.
- [16] 李新岗,黄建,宋世德,高文海. 影响陕北红枣产量和品质的因子分析. *西北林学院学报* ,2004 , (4) : 38-42.
- [17] 李吉跃,周平,招礼军. 干旱胁迫对苗木蒸腾耗水的影响. *生态学报* 2002 22(9) : 1380-1386.
- [18] 李晓彬. 榆林黄土区梨枣树生理生长对土壤水分的响应研究. 中国科学院研究生院(教育部水土保持与生态环境研究中心) 2011.
- [19] 张兆斌,赵学常,史作安,李公存,李宪利. 生态因子对冬枣果实品质的影响. *中国生态农业学报* ,2009 , (5) : 923-928.
- [20] 卢桂宾,刘鑫,刘和. 枣树蒸腾耗水变化规律. *东北林业大学学报* ,2011 , (6) : 38-40 + 43.
- [21] 赵春明. 亏水处理对梨树生理生态指标影响的研究. 西北农林科技大学,2010.
- [22] 汪耀富,蔡寒玉,李进平,陈振国. 不同供水条件下土壤水分与烤烟蒸腾耗水的关系. *农业工程学报* ,2007 (1) : 19-23.
- [23] 胡永翔. 陕北黄土高原区坡地枣树灌溉制度及作物系数研究. 西北农林科技大学,2010.