

调亏灌溉对温室梨枣树水分利用效率与枣品质的影响

马福生¹, 康绍忠^{1, 2*}, 王密侠¹, 庞秀明¹, 王金凤¹, 李志军¹

(1. 西北农林科技大学旱区农业水土工程教育部重点实验室, 杨凌 712100;

2. 中国农业大学中国农业水问题研究中心, 北京 100083)

摘要: 以日光温室生长条件下的 6 年生矮化密植成龄梨枣树为试材, 试验设置试验期间充分供水处理, 即对照(T1), 开花一座果期轻度调亏处理(T2), 果实膨大期中度调亏处理(T3) 和果实成熟期重度调亏处理(T4), 研究调亏灌溉对梨枣树水分利用效率与枣品质的影响。结果表明: 温室内外参考作物蒸发蒸腾量 (ET_0) 变化趋势相同, 温室内的 ET_0 值高于外部, 二者呈极显著的线性关系, R^2 值达到 0.9501; 不同调亏处理均降低了相应调亏时期的土壤水分消耗速率, 同时也降低了梨枣树的叶片蒸腾速率和光合速率, 开花一座果期和果实成熟期调亏处理提高了叶片水分利用效率, 而果实膨大期调亏处理降低了梨枣树的叶片水分利用效率; 各调亏处理并未对枣品质的所有指标起到提高和改善作用, 成熟期未灌水处理在对平均单果重、枣 Vc 含量和可溶性蛋白含量产生负面影响很小的情况下, 提高了枣的有机酸含量和可溶性固形物含量, 总体上改善了枣的品质; 综合考虑不同调亏处理对梨枣树各项指标的影响, 果实成熟期重度调亏处理在减产不显著条件下, 改善了枣的品质, 明显提高了水分利用效率, 是实施调亏灌溉的最佳阶段。

关键词: 调亏灌溉; 梨枣树; 品质; 耗水量; 水分利用效率

中图分类号: S275

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2006)01-0037-07

马福生, 康绍忠, 王密侠, 等. 调亏灌溉对温室梨枣树水分利用效率与枣品质的影响[J]. 农业工程学报, 2006, 22(1): 37-43.
Ma Fusheng, Kang Shaozhong, Wang Mixia, et al. Effect of regulated deficit irrigation on water use efficiency and fruit quality of pear-jujube tree in greenhouse[J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(1): 37-43. (in Chinese with English abstract)

0 引言

随着水资源短缺日益加剧, 实施切实有效的节水灌溉制度, 推广科学合理的灌水新方法和新技术, 发展节水农业, 已成为世界农业发展的必然趋势。调亏灌溉技术正是在此基础之上, 于 20 世纪 70 年代中后期出现的一种新的节水灌溉技术^[1]。该技术自提出至今, 国内外学者对此作了大量的研究工作, 达到了节约灌溉用水、不减产或减产不多, 同时提高水分利用效率的效果^[2-5]。Chalmers 等研究表明, 细胞膨大对水分亏缺最敏感, 而光合作用和从叶片向果实的有机物运输过程对水分亏缺的敏感性次之^[6], 为该技术的实施提供了理论基础。在果实品质方面, Probsting 等人对苹果树的研究表明, 水分亏缺处理的苹果具有较高的可溶性固体物质含量, 较低的滴定酸含量, 较深的果实颜色^[7]。Robert 等人有关苹果树调亏灌溉的研究表明, 经受调亏处理的苹果乙烯含量明显高于对照, 可溶性固体物质含量提高, 淀粉含量降低, 酸的累积降低, 果实颜色未受

影响^[8]。Miller 等对新西兰果(Kiwifruit)的研究表明, 在果实成长晚期进行水分亏缺处理有利于改善果实品质, 减小气孔导度^[9]。

虽然调亏灌溉技术已经在果树方面取得了很多研究成果, 但该技术在许多珍稀特优果品方面的研究还较少, 系统性的研究更为少见。随着社会生产力的发展和人民生活水平的不断提高, 对水果的需求不仅在量上将会加大, 而且对其品质的要求势必日益提高, 人们在关注果树产量的同时, 会更多的关注果实品质, 特别是在设施栽培条件下高附加值的水果品质。科学合理的调亏灌溉不仅会对节水有效, 而且会对改善水果的品质产生重要作用。本文正是针对调亏灌溉对日光温室栽培条件下的梨枣树水分利用效率与枣果实品质的影响进行研究, 以期获得合理的调亏灌溉方案, 达到节水优产、高效优质的目的。

1 试验布置与观测方法

1.1 基本情况与试验设计

本试验在陕西杨凌西北农林科技大学旱区农业水土工程教育部重点实验室节水灌溉试验站的大型日光温室内进行, 该试验站位于北纬 34°18', 东径 108°40', 海拔高程 521 m, 属宝鸡峡塬上灌区, 多年平均气温 12.5℃, 年均降水量 632 mm, 年均蒸发量 1500 mm。土壤质地为中壤, 1 m 土层内的田间持水量和干容重分别为 31.7% (体积百分比) 和 1.36 g/cm³, 土壤肥力较均一。试验站温室内外均设有自动气象站。温室内南墙和北墙分别配置大型抽风机和湿帘风扇, 同时打开风机和湿帘风扇, 关闭门和顶窗, 可以增强空气流通, 及时调节室内温湿度。

收稿日期: 2005-03-08 修订日期: 2005-05-31

基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目(50339030, 50279043); 国家高新技术计划(863)节水农业重大专项课题(2004AA2Z4070)

作者简介: 马福生(1980-), 男, 内蒙古宁城人, 主要从事节水灌溉理论技术及水资源方面的研究。北京市海淀区车公庄西路 21 号北京市水利科学研究所, 水资源与环境规划研究中心, 100044。

Email: mafusheng88@126.com

*通讯作者: 康绍忠(1962-), 男, 湖南省桃源人, 教授, 博士生导师, 现从事农业节水与水资源方面的研究。北京市海淀区清华东路 17 号中国农业大学(东区) 中国农业水问题研究中心, 100083

试验于2004年5月10日(展叶已完成)开始,2004年10月29日(落叶后)结束。供试材料为温室内生长的6年生矮化密植成龄梨枣树,行距和株距分别为2 m×3 m,所选试材树形均一,长势良好,树高1.5 m左右,整个生育期可划分为萌芽展叶期(4月初~5月10日)、开花一座果期(5月11日~7月10日)、果实膨大期(7月11日~8月20日)、果实成熟期(8月21日~10月3日)和落叶期(10月4日~10月29日)共5个生育阶段。结合梨枣树整个生育期对于水分需求的特性,分别在开花一座果期、果实膨大期和果实成熟期进行轻度、中度和重度调亏处理,每个处理自成为1个小区,每小区2棵树,小区面积根据行株距布设为4 m×3 m(东西×南北),每个处理2次重复。不同处理之间挖20 cm宽、80 cm深的防侧渗沟,地表以下埋入80 cm深的双层防侧渗塑料膜,同时地表以上预留20 cm双层防侧渗塑料膜于小区间的防水土梁中间,水分亏缺程度依据灌水定额占充分供水(对照)灌水定额的百分比确定,采用畦灌方式灌水。所有试验小区随机分布,耕作、施肥、病虫害防治处理均相同。

具体灌水处理如表1所示,根据已有的研究成果^[10,11],土壤含水量在60%田间持水量以上时,适合作物生长,本文将充分供水(对照)的土壤含水量始终控制在65%田间持水量以上,当土壤含水量低于65%田间持水量时,即视为发生了水分亏缺;为确保预期时段内调亏处理梨枣树发生水分亏缺,根据梨枣树展叶末期的实际耗水规律,确定每次灌水定额的土壤含水量上限为80%田间持水量左右,灌水时间以对照为标准进行确定,当对照的土壤含水量接近65%田间持水量时,各处理同时灌水,计划湿润层为0.6 m。其中处理1为对照,即充分供水处理;处理2为开花一座果期轻度亏水处理,灌水定额为对照的2/3;处理3为果实膨大期中度亏水处理,灌水定额为对照的1/2;处理4为果实成熟期重度水分亏缺处理,该时期未灌水。

表1 温室梨枣树调亏灌溉试验灌水方案

生育阶段	灌水日期 /年-月-日	对照	处理2	处理3	处理4
开花一座果期	2004-05-10	1.00	0.67	1.00	1.00
果实膨大期	2004-06-25	0.54	0.54	0.27	0.54
果实成熟期	2004-08-19	0.45	0.45	0.45	0
	2004-09-29	0.47	0.47	0.47	0.47

表2 各处理试验树的平均直径和冠幅半径

Table 2 Average diameters and canopy radii of all treatment trees

处理	对照	处理2	处理3	处理4
树干直径/cm	5.86	5.65	5.59	5.57
冠幅半径/cm	83.5	81.8	82.5	80.8

各个处理试验树的平均树干直径和冠幅半径如表2所示。本研究试验用梨枣树的冠层结构主要由四大主

枝构成,由于四大主枝的生长状况存在差异,采用加权平均法计算冠幅半径。各处理试验用树的树干直径、冠幅半径均无显著性差异,故而可忽略因试验用树的个体差异对试验结果造成的影响。

1.2 试验观测方法

1) 土壤水分,4月27日到6月21日采用烘干法,各个小区每周测定一次土壤含水量,采用土钻分层取土,取至100 cm深,共分10层,每层10 cm;从6月21日至10月29日,采用Diviner2000进行逐日土壤含水量的连续定点观测,每个小区埋设9根水分观测管,管深1 m,分10层进行数据采集,每层10 cm。

2) 光合速率和蒸腾速率,采用CIRAS-1型植物光合仪,在两次灌水之间选择晴天进行光合速率和蒸腾速率的观测,每日测定时间为上午10:00左右,一般连续一周。每次测定前,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。

3) 果实品质,梨枣树果实于8月20日开始进入成熟着色期,至10月3日着色完成时进行果实采收,按照果实分布于树体的不同方位,对不同处理处于树体相对一致位置的梨枣树果实进行分别采摘。采摘完成后,按果实所处方位,利用4分法在生长发育良好的果实中进行测定样品的随机选取,以消除人为因素对测定结果的影响。采后的果实在3℃条件下于保温箱内贮存一周后开始进行品质测定(测定时间为10月10日~10月12日),测定项目包括有机酸含量、Vc含量、可溶性蛋白含量和可溶性固形物含量,在各项指标测定之前,对所选样果的单果重进行了测量记录,分别采用滴定法、考马斯亮兰比色法(所用仪器为7500型分光光度计)、WYT-1型手持糖量计和滴定法测定Vc、可溶性蛋白、可溶性固形物和有机酸含量^[12]。

4) 气象数据,由温室内外自动气象站按照国家气象局标准连续采集气温、空气相对湿度、太阳辐射、日照时数、风速、降雨量和蒸发量等气象资料。

5) 茎液流,运用补偿式热脉冲技术,采用GreenSpan公司生产的SF200热脉冲茎液流自动监测系统,从2004年6月21日至2004年10月29日进行梨枣树茎液流的连续定位监测,每30 min记录一次数据。热脉冲探针安装在茎基部以上35 cm的部位。

2 结果分析

2.1 温室内外参考作物蒸发蒸腾量(ET_0)的变化

用温室内外的自动气象站连续采集的气象数据,采用Penman-Monteith公式分别计算了温室内外逐日的 ET_0 值,计算结果如图1所示。

结果表明,温室内外的 ET_0 值在试验全期内的变化趋势并不一致,但均明显受到天气变化的影响。室内 ET_0 值在5月份出现峰值,5月下旬至8月上旬保持在一个比较稳定的状态,由于频繁降雨,使得8月下旬的太阳辐射值明显变小,导致8月下旬室内 ET_0 值出现低谷,天气转晴后,随着太阳辐射值的回升,于9月上旬

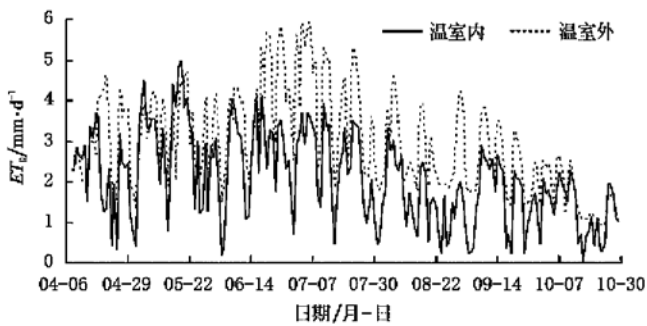


图 1 温室内外 ET_0 计算结果

Fig. 1 Results of ET_0 in greenhouse and out of greenhouse

ET_0 值相应回升。4 月 9 日至 6 月上旬温室内外 ET_0 值差异不大, 室外的 ET_0 值于 6 月上旬至 7 月中旬出现一个明显的峰值, 且高于室内 ET_0 值的幅度最大, 随后逐渐变小, 同样在频繁降雨的影响下, 于 8 月下旬出现低谷, 之后回升, 回升以后继续逐渐变小, 总体呈现先增大后减小的变化趋势, 至 10 月中旬温室内外 ET_0 值的差异程度再度变小。温室外部的 ET_0 值总体大于内部的 ET_0 值, 因为与温室外面的气象因子相比较, 温室内部几乎无风, 且由于温室顶棚和侧壁对太阳光的折射、反射、散射以及吸收对室外太阳辐射产生了消减作用, 使得进入室内的太阳辐射量低于室外。二者 ET_0 值差异程度呈现 6 月上旬至 7 月中旬明显大于 4 月 9 日至 6 月上旬和 10 月中旬, 因为从 4 月至 10 月的风速值分别为 0.65, 0.98, 2.04, 1.68, 0.87, 0.45 和 0.33 m/s, 以 6 月份和 7 月份最大, 引起了 ET_0 值的明显升高。

温室内外 ET_0 值的相关关系如图 2 所示。从图 2 可以看出, 温室内外逐日的 ET_0 值呈现非线性的相关关系, R^2 值为 0.6337。

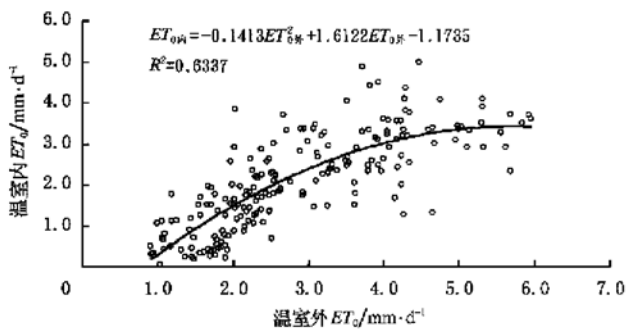


图 2 温室内外 ET_0 相关性分析图

Fig. 2 Pertinency between ET_0 in greenhouse and that out of greenhouse

2.2 不同调亏处理的土壤水分动态变化

试验期内土壤水分的连续动态监测结果如图 3 所示。不同处理之间的土壤含水率存在明显差异, 调亏期间各调亏处理的土壤水分消耗趋势均缓于对照, 尤其成熟期未灌水处理的这种差异更加明显。因为低水分处理无论树的蒸腾耗水还是株间蒸发均小于充分灌水, 在二者的综合影响下使得调亏处理的土壤水分消耗速率低

于对照。

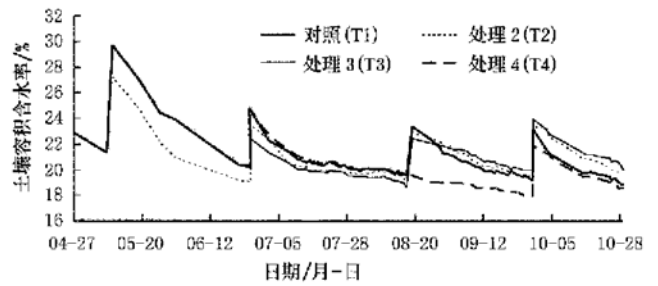


图 3 土壤水分动态变化状况

Fig. 3 Status of soil moisture dynamic trends

2.3 不同调亏处理的蒸腾耗水动态变化状况

用 SF200 热脉冲茎流计监测各处理树的茎液流量, 其动态变化如图 4 所示。

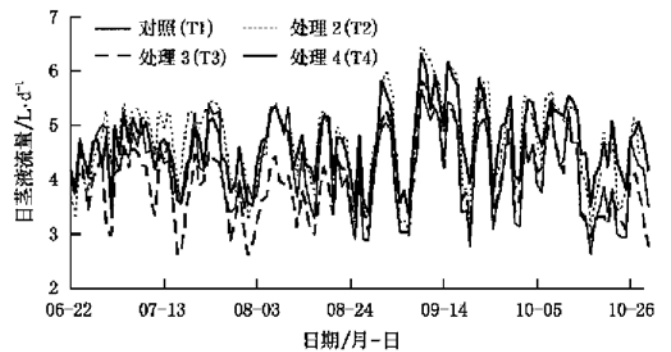


图 4 各处理梨枣树蒸腾耗水动态变化图

Fig. 4 Status of transpiration of pear-jujube tree for all treatments

图 4 表明, 开花座果期轻度调亏处理梨枣树的日茎液流量低于对照, 于 6 月 25 日重新复水后, 处理 2 的调亏时段已经结束, 其耗水存在反弹现象; 处理 3 于 6 月 25 日至 8 月 18 日进行调亏, 该时段内调亏处理梨枣树的茎液流量明显小于对照, 至 8 月 19 日补充灌水后, 其茎液流量仍然略低于对照水平; 处理 4 为果实成熟期未灌水处理, 调亏阶段为 8 月 19 日至 9 月 29 日, 在此之前的茎液流量与对照相差不大, 在调亏处理期间, 其梨枣树的茎液流量明显低于对照, 并且这种差别一直延续到试验结束。因此, 在其它环境因子相同的条件下, 土壤水分状况是影响梨枣树蒸腾耗水的主要因素。

2.4 不同调亏处理对梨枣树叶片蒸腾、光合和水分利用效率的影响

2.4.1 开花一座果期轻度水分亏缺的影响

于 2004 年 5 月 10 日进行第一次灌水处理, 灌水后第 16 d 即 5 月 26 日开始对各处理进行水分生理指标的连续观测, 其结果如图 5a~c 所示。

5 月 31 日, 处理 2 的土壤含水量为 64.3% 田间持水量, 开始经受水分胁迫, 5 月 26 日至 5 月 30 日之间, 处理 2 的土壤含水量一直在 65% 田间持水量以上, 但与对照的差异较大。由图 5a 可以看出, 开花一座果期轻度调亏 (处理 2) 的蒸腾速率始终低于对照, 在 5 月 29

日前,二者的蒸腾速率差异较小,随着土壤水分的不断消耗,至5月30日二者之间的差异逐渐增大;由图5b可以看出,调亏处理与对照之间光合速率的变化趋势相同,5月30日以前,二者的光合速率值非常接近,至5月31日对照的光合速率开始明显大于调亏处理,但二者光合速率之间的相差幅度要远小于蒸腾速率之间的相差幅度。因此,梨枣树蒸腾速率对于土壤水分的敏感性要高于光合速率,即土壤含水量在一定范围内,当其开始明显抑制梨枣树的蒸腾作用时,梨枣树的光合作用

并未受到影响或仅受到较轻程度的影响。由图5c可以看出该时段内处理2的单叶片水分利用效率总体高于对照,即开花一座果期轻度水分亏缺处理提高了叶片水分利用效率。

2.4.2 果实膨大期中度水分亏缺的影响

进入果实膨大期后,进行了第二次灌水处理,并于7月18日至7月23日进行了叶片蒸腾速率、光合速率和叶片水分利用效率等指标的连续观测,结果如图6a~c所示。

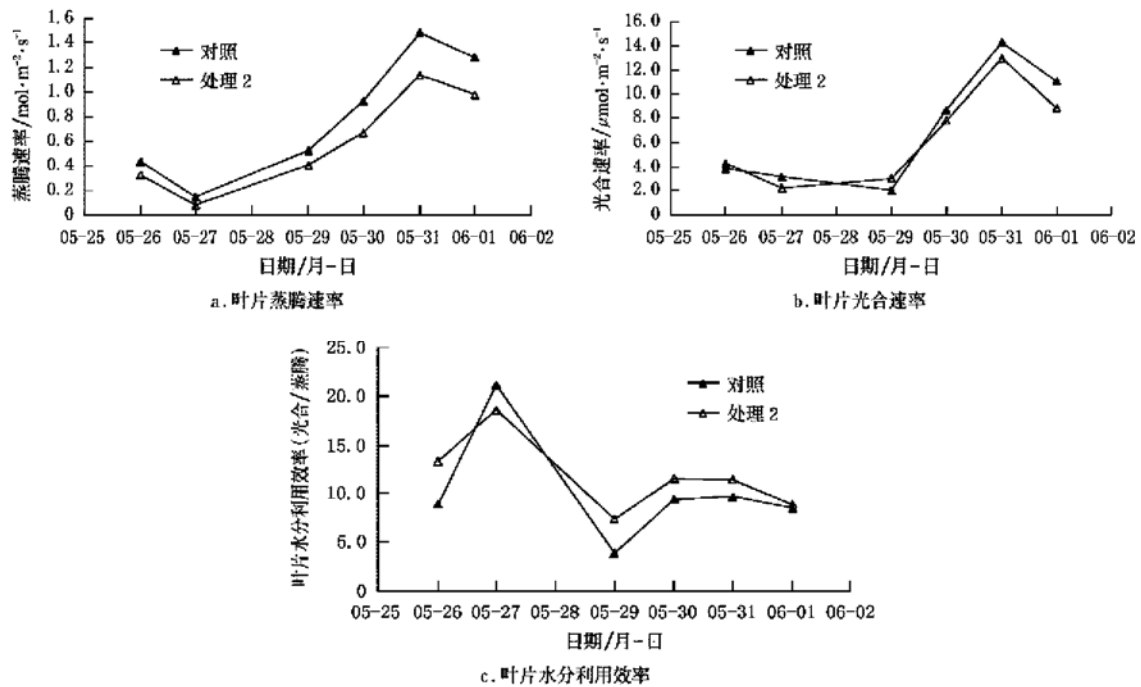


图5 开花一座果期轻度水分亏缺对梨枣树叶蒸腾速率、光合速率和水分利用效率的影响
Fig. 5 Effects on leaf transpiration rate, leaf photosynthesis rate and leaf water use efficiency of pear-jujube tree which was suffered low water deficit treatment

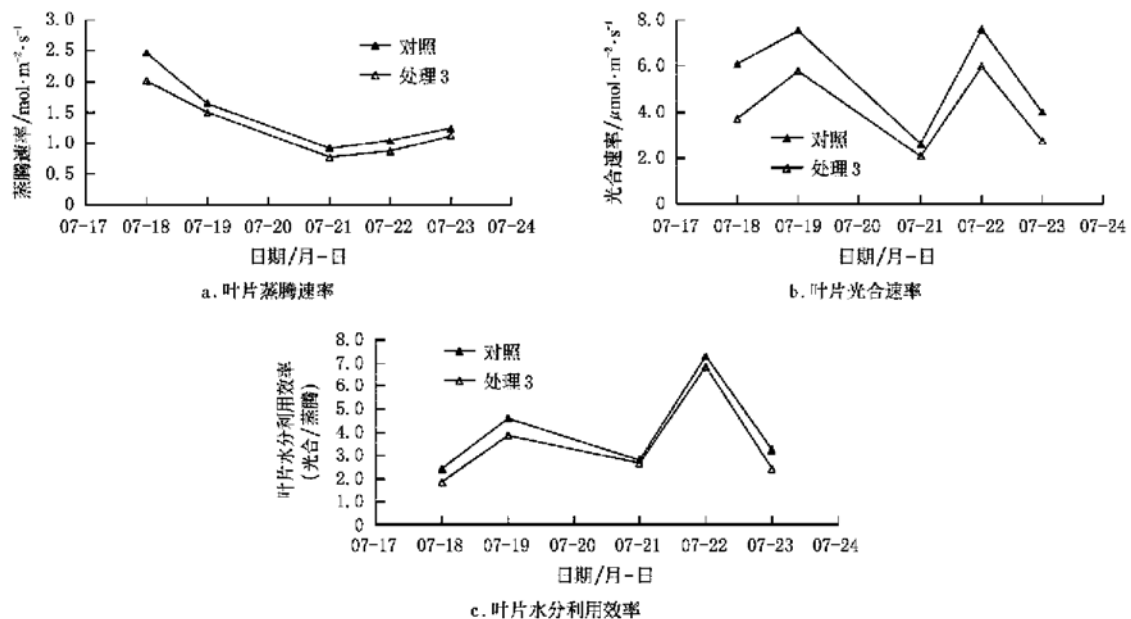


图6 果实膨大期中度水分亏缺对梨枣树叶蒸腾速率、光合速率和水分利用效率的影响
Fig. 6 Effects on leaf transpiration rate, leaf photosynthesis rate and leaf water use efficiency of pear-jujube tree which was suffered moderate water deficit treatment

7月18日, 处理3的土壤含水量为62.7%田间持水量, 已经处于水分胁迫阶段。从图6a和图6b可以看出, 果实膨大期内, 对照的蒸腾速率和光合速率均高于调亏处理3, 与开花一座果期的观测结果相同, 对照处理和调亏处理3叶片蒸腾速率和叶片光合速率的变化趋势相同, 但二者之间观测值差异较大; 从图6c可以看出, 叶片水平的水分利用效率表现为处理3低于对照, 即果实膨大期进行中度水分亏缺对该生育阶段的叶片水分利用效率起到了负影响作用。因此果实膨大期进行中度水分亏缺处理, 同时降低了叶片的蒸腾速率、光合速率和水分利用效率, 对梨枣树的生理活动造成了较严重的负面影响, 说明果实膨大期不适宜进行中度水分亏缺处理。

2.4.3 果实成熟期重度水分亏缺处理的影响

在果实成熟期调亏处理后的第12天即8月31日开始进行叶片光合速率、蒸腾速率和水分利用效率的连续观测, 至9月2日出现阴雨天气, 观测暂停, 当9月7日再次出现晴好天气后, 观测继续进行, 至9月11日结束, 观测结果如图7a~c所示。

8月31日处理4的土壤含水量为59%田间持水量, 处于水分胁迫阶段。由图7a和图7b可以看出, 与前两个生育阶段的观测结果相似, 果实成熟期内调亏处理(处理4)与对照处理的叶片蒸腾速率和光合速率的变化趋势相同, 对照处理梨枣树的叶片蒸腾速率和光合速率均高于处理4, 分析图7c可以得出处理4的水分利用效率总体上高于对照。

2.5 不同调亏处理对梨枣树枣品质的影响

果实品质各项指标的测定结果如图8所示。

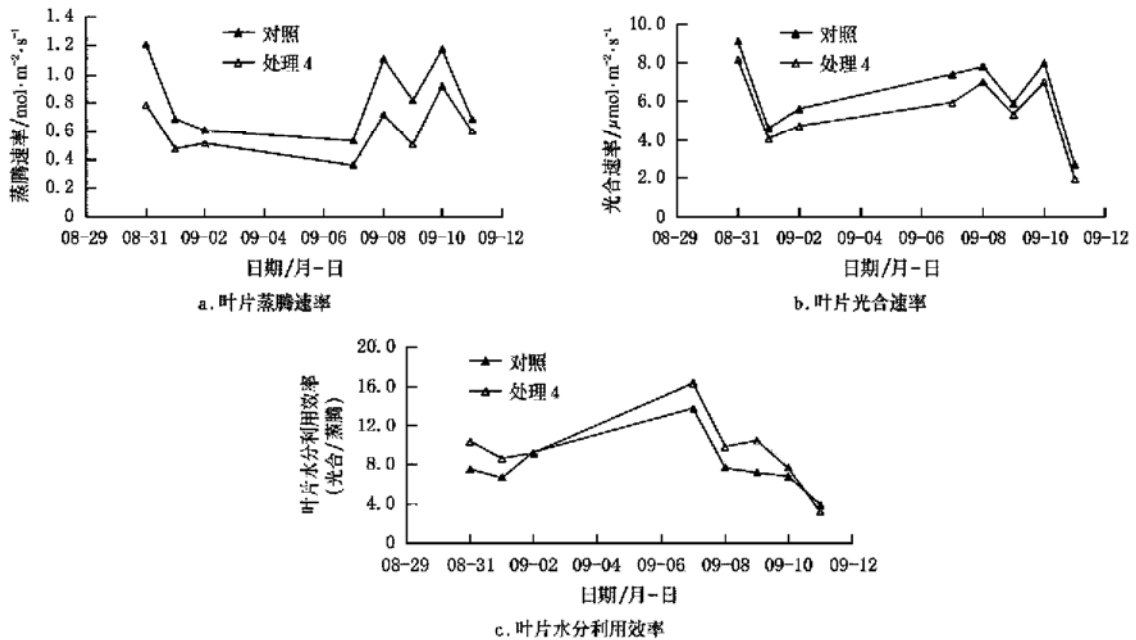


图7 果实成熟期重度水分亏缺对梨枣树叶片蒸腾速率、光合速率和水分利用效率的影响
Fig.7 Effects on leaf transpiration rate, leaf photosynthesis rate and leaf water use efficiency of pear-jujube tree which was suffered serious water deficit treatment

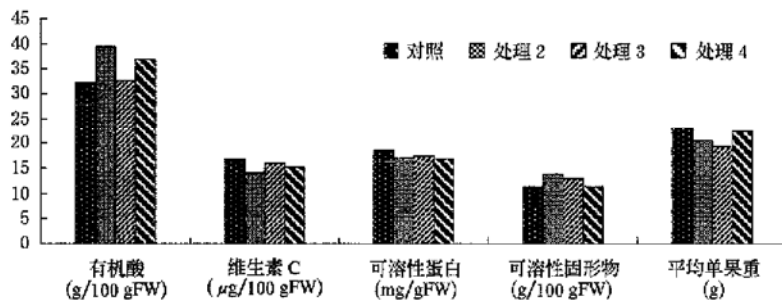


图8 果实品质结果
Fig.8 Result of fruit quality

从图8可以看出, 与对照相比, 处理2和处理4均明显提高了枣的有机酸含量, 处理3的有机酸含量与对照几乎相同; 各调亏处理均不同程度地降低了枣的Vc

含量, 以处理2的降低幅度最大, 处理4次之, 处理3降低最小; 各调亏处理均降低了枣的可溶性蛋白质含量, 但影响效果差异不大, 而且并未造成可溶性蛋白含量的

严重降低;各调亏处理均提高了枣的可溶性固形物含量,使枣更甜,改善了枣的口感;均降低了枣的平均单果重,尤其以处理3的降低幅度最大,处理2的降低幅度次之,处理4的降低幅度最小。因此,调亏处理并不是对果实品质的所有指标均能起到提高和改善作用,但处理4在对平均单果重、枣Vc含量和枣可溶性蛋白质含量产生负面影响很小的情况下,提高了枣的有机酸含量和可溶性固形物含量,使枣的口感更甜,总体上改善了枣的品质。

3 讨论

与对照相比,各调亏处理均减缓了土壤水分的消耗速率,以成熟期末灌水处理的效果最明显;各处理梨枣树的蒸腾变化规律与土壤水分动态变化密切相关,开花一座果期轻度亏水处理重新复水后,其耗水存在反弹现象,这一现象是前期经受轻度水分亏缺处理复水后的补偿效应造成的;果实膨大期中度亏水处理在调亏时段内的茎液流量明显小于对照,补充灌水后,其茎液流量仍然略低于对照;果实成熟期重度亏水处理在调亏处理前的茎液流量与对照相差不大,调亏期间,其茎液流量明显低于对照,且这种差别一直延续到试验结束,并未出现耗水反弹现象。因此,在相同的气象条件下,梨枣树的生育阶段和经受的水分亏缺程度是影响梨枣树耗水是否存在反弹现象的主要原因。各调亏处理均降低了梨枣树的叶片蒸腾速率和光合速率,因为枣叶的两面均有防止水分散失的蜡质层,叶片表皮下,有长卵形横向排列的大型运动细胞,受旱时运动细胞原生质浓度升高,促使关闭部分气孔,减少水分蒸腾量^[13],致使叶片蒸腾速率低于对照;同时减小了气孔的CO₂固定率,引起光合速率的下降。王克勤等(2002)对金矮生苹果水分利用效率的研究结果表明,在适宜的光照条件下,金矮生苹果的叶片水分利用效率最高值出现在严重土壤水分胁迫条件下,即水分胁迫提高了金矮生苹果的叶片水分利用效率。Thomas(1986)研究认为土壤干旱均导致蒸腾速率和光合速率的下降,由于蒸腾速率下降幅度大于光合速率下降幅度,从而使单叶水平的WUE升高。本文结果表明,梨枣树在开花一座果期经受轻度调亏处理和果实成熟期经受中度调亏处理均提高了相应调亏阶段的叶片水分利用效率,与王克勤和Thomas的研究结果相同,而果实膨大期重度调亏处理降低了调亏阶段的叶片水分利用效率,与二者的结果存在差异,因为苹果树叶片为无蜡质层的阔叶,而梨枣树在其叶片的正反两面均存在蜡质层,叶片的生理结构不同造成了试验结果的不一致。

水分亏缺对各项品质指标的影响是调亏程度和调亏历时综合作用的结果^[1,14-16]。Robert C. Ebel等、Mpelasoka等和Kilili等均发现调亏处理有利于苹果果实中可溶性固形物含量的提高,本文结果与之相似,各调亏处理均提高了梨枣果实的可溶性固形物含量,分析原因可能是水分胁迫发生时,光合产物更多的分配给生殖器官,即果实,从而更有利于糖分的累积。同时,Kilili

等(1996)发现减少灌溉处理降低了最终的单果重,本文也得到了类似的结论,各调亏处理均降低了枣的平均单果重,尤其以处理3的降低幅度最大,处理2的降低幅度次之,处理4的降低幅度最小,因为与处理2和处理4相比较,果实膨大期是梨枣树果实生长的需水关键期,处理3在此期间经受调亏处理,对果实最终体积的形成造成了严重的负面影响。Ebel等和Mpelasoka等分别发现水分亏缺对苹果的可滴定酸含量具有小的抑止作用,并不显著;本研究中,除处理3的有机酸含量与对照几乎相同外,处理2和处理4均提高了枣的有机酸含量,分析原因为不同的果树品种对水分亏缺的响应程度不同;此外,本文还研究了调亏处理对梨枣果实的Vc含量和可溶性蛋白含量,结果表明,各调亏处理均不同程度地降低了枣的Vc含量,以处理2的降低幅度最大,处理4次之,处理3最小;各调亏处理均降低了枣的可溶性蛋白质含量,但影响效果差异不大,而且并未造成可溶性蛋白含量的严重降低。

4 结论

1) 温室内外部的ET₀值在试验全期内的变化趋势一致,温室内部的ET₀值总体上大于外部的ET₀值;二者具有极显著的线性关系,R²值达到了0.9501。

2) 与对照相比,各调亏处理均减缓了土壤水分的消耗速率,以成熟期末灌水处理的效果最明显;开花一座果期轻度亏水处理重新复水后,其耗水存在反弹现象,这一现象是前期经受轻度水分亏缺处理复水后的补偿效应造成的;果实膨大期中度亏水处理在调亏时段内的茎液流量明显小于对照,补充灌水后,其茎液流量仍然略低于对照;果实成熟期重度亏水处理在调亏处理前的茎液流量与对照相差不大,调亏期间,其茎液流量明显低于对照,且这种差别一直延续到试验结束,并未出现耗水反弹现象。

3) 各调亏处理均降低了梨枣树的叶片蒸腾速率和光合速率,梨枣树在开花一座果期经受轻度调亏处理和果实成熟期经受中度调亏处理均提高了相应调亏阶段的叶片水分利用效率,而果实膨大期重度调亏处理降低了调亏阶段的叶片水分利用效率。

4) 果实成熟期重度调亏处理在对单果重、枣Vc含量和枣可溶性蛋白质含量产生负面影响较小的情况下,提高了枣的有机酸含量和可溶性固形物含量,总体上改善了枣的品质。

综上所述,果实成熟期重度调亏处理在对单果重、枣Vc含量和枣可溶性蛋白质含量产生负面影响较小的情况下,提高了枣的有机酸含量和可溶性固形物含量,总体上改善了枣的品质,达到了大量节水而减产不多,提高水分利用效率的效果,是实施调亏灌溉的理想阶段。

[参 考 文 献]

- [1] 康绍忠,蔡焕杰.作物根系分区交替灌溉和调亏灌溉的理论与实践[M].北京:中国农业出版社,2002.

- [2] Robert C. Ebel, Edward L. Proebsting, Robert C. Evans. Deficit irrigation to control vegetative growth in apple and monitoring fruit growth to schedule irrigation[J]. Hort Science, 1995, 30(6): 1229– 1232.
- [3] J. Girona, M. mata, D. A. Goldhamer, et al. Patterns of soil and tree water status and leaf functioning during regulated deficit irrigation scheduling in peach[J]. J Amer Soc Hort Sci, 1993, 118(5): 580– 586.
- [4] Mitchell P D, Chalmers D J. The effect of reduced water supply on peach tree growth and yields[J]. J Amer Soc Hort Sci, 1982, 107(5): 853– 856.
- [5] Mitchell P D, Jerie P H, Chalmers D J. The effects of regulated water deficits on pear tree growth, flowering, fruit growth, and yield. J. Amer. Soc[J]. Hort Sci, 1984, 109(5): 604– 606.
- [6] Chalmers D J, B van den Ende. Productivity of peach trees factors affecting dry-weight distribution during tree growth[J]. Ann Bot, 1975, 39: 423– 432.
- [7] Probsting S. R. Drske, Evans R. G. Irrigation management, fruit quality, and storage life of apple[J]. Amer Soc Hort Sci, 1984, 109(2): 229– 232.
- [8] Robert C. Ebel, Edward L. Probsting. Regulated deficit irrigation may alter apple maturity, quality and storage life[J]. Hort Science, 1993, 28(2): 141– 143.
- [9] Miller S A, Smith G S, Bolding H L, et al. Effects of water stress on fruit quality attributes of Kiwifruit[J]. Annals of Botany, 1998, 81: 73– 81.
- [10] 康绍忠, 蔡焕杰. 农业水管理学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1996.
- [11] 王中英. 果树抗旱生理[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [12] 高俊凤. 植物生理学实验技术[M]. 西安: 世界图书出版公司, 2000.
- [13] 陈殆金, 张俊杰, 杨新炜, 等. 枣树的耐旱性及节水抗旱技术研究[J]. 河南农业科学, 1994, 10: 27– 28.
- [14] Mpelasoka B S, Behboudian M H, Mills T M. Effects of deficit irrigation on fruit maturity and quality of 'Braeburn' apple[J]. Scientia Horticulturae, 2001, 90: 279– 290.
- [15] Kili A W, Behboudian M H, Mills T M. Composition and quality of 'Braeburn' apples under reduced irrigation [J]. Scientia Horticulturae, 1996, 67: 1– 11.
- [16] Miller S A, Bolding H L, Johansson A. Effects of water stress on fruit quality attributes of Kiwifruit [J]. Annals of Botany, 1998, 81: 73– 81.
- [17] 王克勤, 王斌瑞, 王振洪. 金矮生苹果水分利用效率研究[J]. 生态学报, 2002, 22(5): 723– 728.
- [18] Thomas H. Characteristics of *Dactylis glomerata* L., *Lolium perenne* L. and *L. multiflorum* Lam. Plants[J]. Annals of Botany, 1986, 57: 211– 223.

Effect of regulated deficit irrigation on water use efficiency and fruit quality of pear-jujube tree in greenhouse

Ma Fusheng¹, Kang Shaozhong^{1,2*}, Wang Mixia¹, Pang Xiuming¹, Wang Jinfeng¹, Li Zhijun¹

(1. Key Laboratory of Agricultural Soil and Water Engineering in Arid and Semiarid Areas, Ministry of Education, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling 712100, China;
2. Center for Agriculture Water Research in China, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: The effects of deficit irrigation on water use efficiency and fruit quality of six years old pear-jujube tree were studied. Treatments included pear-jujube trees growing in sufficient water supply during the whole growing period (T1), low water deficit during the flowering-fruit bearing stage (T2), moderate water deficit during the fruit spreading growth stage (T3) and serious water deficit during the fruit maturing stage (T4). Experimental results indicate that the trend of the potential evapotranspiration (ET_0) in greenhouse is the same with that out of greenhouse, the inside ET_0 is larger than that of outside, and the relationship between inside ET_0 and outside ET_0 is very remarkably linear, R^2 is 0.9501. The soil moisture consumption rates were reduced for all treatments during water deficit stages, the leaf photosynthesis and the transpiration rate were decreased simultaneously. The leaf WUE was advanced for the light water deficit during flowering-bearing fruit and the serious water deficit during fruit maturing, but it was reduced for the middle water deficit during fruit speedy growth. The treatment of non-irrigation during fruit maturing had a little influence on average fruit weight, Vitamin C content and soluble albumen, but enhanced the organic acid content and soluble solid matter, advances the fruit quality. Therefore the yield was influenced hardly for serious water deficit during fruit maturing, the leaf WUE was enhanced during the water deficit stage and the fruit quality was improved.

Key words: regulated deficit irrigation; pear-jujube tree; fruit quality; evapotranspiration; water use efficiency