

## 不同生育期调亏灌溉对温室梨枣品质的影响

崔宁博<sup>1,2</sup>, 杜太生<sup>3\*</sup>, 李忠亭<sup>4</sup>, 王密侠<sup>1</sup>, 郭军<sup>4</sup>

(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. 四川大学水利水电学院, 成都 610065;  
3. 中国农业大学中国农业水问题研究中心, 北京 100083; 4. 陕西省渭南市洛惠渠管理局, 渭南 715100)

**摘要:**为探明调亏灌溉对温室梨枣品质的影响, 2005—2007 年以日光温室 7 年生矮化密植梨枣树为试材进行试验, 试验期间设置充分供水处理(即对照  $T_1$ ), 萌芽展叶期(I 期)轻度或中度亏水处理( $T_2$ ), 及开花座果期(II 期)、果实膨大期(III 期)和果实成熟期(IV 期)中度亏水处理(即  $T_3$ 、 $T_4$  和  $T_5$ )。结果表明:不同生育期亏水处理对梨枣品质的影响差异明显;与对照相比, 3 a 间 I 期、II 期亏水处理对梨枣单果质量、含水率影响较小( $P>0.05$ ), 梨枣硬度提高 13.7%~15.8%, 有机酸、坏果率分别下降 14.2%~18.8%和 21.0%~25.0%, 且均达显著水平( $P<0.05$ ), 可溶性固形物、糖酸比分别提高 22.1%~24.4%和 47.8%~60.0%, 达极显著水平( $P<0.01$ ), 同时使成熟期提前 10~12 d; III 期亏水处理使梨枣果实硬度、着色度、Vc、可溶性固形物及糖酸比依次提高 22.3%、41.9%、27.0%、38.1%和 53.5%, IV 期亏水处理依次提高 22.7%、42.3%、37.4%、27.1%和 98.7%, 两期均达极显著水平( $P<0.01$ ), III 期、IV 期亏水处理使有机酸显著降低( $P<0.05$ ), 并大幅降低坏果率( $P<0.01$ ), 成熟期提前 15~20 d, 但同时使单果质量、果实含水率降低, 且 III 期亏水处理差异显著( $P<0.05$ );各生育期亏水处理对梨枣品质的改善程度依次为:IV 期>III 期>II 期≈I 期。综合考虑亏水处理对梨枣品质各项指标影响, 果实成熟期中度亏水处理对品质改善效果最佳, 具有重要推广价值。

**关键词:**调亏灌溉, 温室, 品质控制, 梨枣, 产量

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2009.07.006

中图分类号: S665.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2009)-7-0032-07

崔宁博, 杜太生, 李忠亭, 等. 不同生育期调亏灌溉对温室梨枣品质的影响[J]. 农业工程学报, 2009, 25(7): 32—38.

Cui Ningbo, Du Taisheng, Li Zhongting, et al. Effects of regulated deficit irrigation at different growth stages on greenhouse pear-jujube quality[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(7): 32—38. (in Chinese with English abstract)

### 0 引言

调控亏水度灌溉(简称调亏灌溉, regulated deficit irrigation, RDI)是一种重要的生理节水技术<sup>[1]</sup>, 自 20 世纪 70 年代中期在美国中西部平原地区出现以来得到了中外研究者广泛关注, 20 世纪 80 年代 RDI 的研究主要从不同角度验证其在节水高产与改善果实品质等方面的功效<sup>[2]</sup>, 20 世纪 90 年代 RDI 的研究重点由对产量的影响转向对果品品质的改善, 测试指标也由原来的定性描述转向量化调亏指标的研究<sup>[3]</sup>。

RDI 对水果品质的影响已经在一系列果树上进行了大量研究, 许多研究发现 RDI 可明显改善水果品质。Kilili 等<sup>[4]</sup>对苹果、刘明池等<sup>[5]</sup>对草莓的研究均表明 RDI 能降低果实含水率, 提高水果硬度、可溶性固形物(TSS)、Vc 及糖酸比, 改善口感风味; Verreynne 等<sup>[6]</sup>报道 RDI 可使小柑橘 TSS 提高 2%~10%, 有机酸增加 11%~13%, 果实直径减小 10%。马福生等<sup>[7]</sup>对日光温室生长梨枣树实施

不同生育期亏水处理, 发现成熟期末灌水处理在对梨枣平均单果质量、Vc 和可溶性蛋白产生负面影响很小的情况下提高有机酸与 TSS, 总体上改善了梨枣品质, 是实施水分调亏的最佳阶段。Dos 等发现 RDI 可使葡萄浆果品质与香味得到明显改善<sup>[8]</sup>; Hueso 和 Cuevas<sup>[9]</sup>发现萌芽展叶期亏水处理可使枇杷花期提前 3 周, 并使成熟期提前, Marsal 等<sup>[10]</sup>发现 RDI 可使晚熟品种的桃子提前一周成熟, 使糖酸比得到显著提高, 并使果实的色泽更加红润, 明显改善果实的内在品质与外观。Motilva 等<sup>[11]</sup>与 Gu 等<sup>[12]</sup>都发现 RDI 可使水果成熟期提前, 因此有利于提高其市场占有率与商品价值。国内外研究成果表明, RDI 在节约大量灌溉用水的同时可明显改善水果品质, 并使水果成熟期明显提前, 提高其商品价值, 因此具有重要的推广价值。

至 2007 年, 中国设施栽培的果树面积已超过 5 万  $\text{hm}^2$ <sup>[13]</sup>。随着生活水平的提高人们更加注重水果的品质, 因此研究温室环境下应用 RDI 技术提高水果品质, 实现节水优质高效型设施果业生产具有重要意义。梨枣(*Zizyphus jujube* Mill.)是中国重要的出口果品, 目前关于温室梨枣树不同生育期实施 RDI 对果实品质影响的报道还较少, 而已有的相关研究并未在梨枣树每个生育期均实施亏水处理, 且调亏水平单一。利用 RDI 技术, 在一定的生育期内实施合理的水分调亏, 达到“以水调质、控水催熟、节水增效”的目的, 是生产实践中急需解决的问题。本研究正是针对 RDI 条件下温室生长梨枣品质

收稿日期: 2008-07-01 修订日期: 2009-05-08

基金项目: 国家自然科学基金(2006CB403406, 50339030); 国家高技术研究“863”计划课题自然科学基金(2006AA100203)

作者简介: 崔宁博(1981—), 男, 陕西凤翔人, 博士生, 主要从事节水灌溉理论与技术方面的研究。成都市一环路南一段24号 四川大学水利水电学院, 610065。Email: cuiningbo@126.com

※通信作者: 杜太生(1975—), 男, 山东东阿人, 副教授, 主要从事节水灌溉理论与技术研究。北京 中国农业大学中国农业水问题研究中心, 100083。Email: dutaisheng@tom.com

进行研究，以期为发展节水优质高效型设施枣业生产提供理论依据与科学合理的调亏模式。

1 试验布置与观测方法

1.1 基本情况与试验设计

2005—2007年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（N34°18′，E108°40′，海拔高程521 m）日光温室内进行试验研究，该区多年平均气温12.5℃，年均降水量632 mm，年均蒸发量1 500 mm。土壤质地为中壤，1 m土层内的田间持水率和干容重分别为31.7%（体积百分比）和1.36 g/cm<sup>3</sup>，土壤肥力较为均匀，温室内外均设有自动气象站。

试验在每年3月底或4月初开始至8月底或9月中旬结束。供试材料为温室内生长的7年生矮化密植梨枣树，行株距为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月初，即Ⅰ期）、开花座果期（5月初—6月上旬，即Ⅱ期）、果实膨大期（6月中旬—7月底，即Ⅲ期）、果实成熟期（8月初—9月中旬，即Ⅳ期）和落叶期（9月下旬—10月下旬，即Ⅴ期）共5个生育阶段。每个处理为1个小区，每小区2棵树，小区面积根据行株距设为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、病虫害防治均相同。

据已有的研究成果，土壤含水率在60%~90%田间持水率以上时比较适合果树生长<sup>[13-14]</sup>，梨枣树属耐旱型果树，因此试验将充分供水（对照）的土壤含水率始终控制在60%田间持水率以上，当土壤含水率接近或略低于60%田间持水率时，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，根据梨枣树实际耗水规律，确定每次灌水定额的土壤含水率上限为90%田间持水率，灌水时间以对照为标准进行确定，当对照的土壤含水率接近60%田间持水率时，各处理同时灌水，计划湿润层为0.6 m。其中对照为充分供水处理，T<sub>2</sub>~T<sub>5</sub>处理分别设定了单生育期亏水处理，除2005年Ⅰ期为轻度亏水（灌水定额为对照的2/3，记为LD）处理外，3 a间其他各处理均为中度亏水（灌水定额为对照的1/2，记为MD），梨枣树3 a间各生育期灌水处理如表1所示。

表 1 梨枣树调亏灌溉试验灌水方案

Table 1 Regulated deficit irrigation treatments in pear-jujube tree

年份	生育期	亏水度	灌水日期/月-日	对照 T <sub>1</sub>	处理 T <sub>2</sub>	处理 T <sub>3</sub>	处理 T <sub>4</sub>	处理 T <sub>5</sub>
2005	萌芽展叶期（1 DAB~30 DAB）	LD	04-16	85	57	85	85	85
	开花座果期（31 DAB~71 DAB）	MD	05-14	76	76	38	76	76
	果实膨大期（72 DAB~123 DAB）	MD	07-04	66	66	66	33	66
			07-30	93	93	93	47	93
	果实成熟期（124 DAB~166 DAB）	MD	09-03	83	83	83	83	42
2006	萌芽展叶期（1 DAB~35 DAB）	MD	04-04	65	33	65	65	65
	开花座果期（36 DAB~74 DAB）	MD	05-23	65	65	33	65	65
	果实膨大期（75 DAB~126 DAB）	MD	06-16	68	68	68	34	68
			07-06	66	66	66	33	66
	果实成熟期（127 DAB~168 DAB）	MD	08-09	63	63	63	63	32
2007	萌芽展叶期（1 DAB~32 DAB）	MD	04-18	68	34	68	68	68
	开花座果期（33 DAB~71 DAB）	MD	05-19	57	57	28	57	57
	果实膨大期（72 DAB~129 DAB）	MD	06-29	69	69	69	35	69
	果实成熟期（130 DAB~176 DAB）	MD	08-11	64	64	64	64	32

注：LD——轻度亏水；MD——中度亏水，DAB为梨枣树发芽后天数。

1.2 测定指标与方法

在不同亏水处理的每棵树树冠东西南北部相对同一位置处各选代表性果实5个，每棵树共选取20个果实，利用4分法进行测定样品的随机选取，以消除采样时人为因素对测定结果的影响。采摘后在8℃的冰柜内储藏1周，采用称重法测定10个果实的平均单果质量；用游标卡尺测定果实纵横径，分别取果实上中下3个部位测量横径（分别计为R<sub>1</sub>、R<sub>2</sub>、R<sub>3</sub>），将所测的3个值取平均作为实际横径（ $R=(R_1+R_2+R_3)/3$ ），果实体积计为 $V=H\pi(R/2)^2$ （H为纵径，R为横径），将同一处理的10个样品体积取平均值作为最终果实体积；采用烘干法测定果实含水率（将果

实鲜样放入大培养皿称质量并记录，置于烘箱中70℃烘干，然后称质量，计算果实含水率）；各处理在采摘期选取无病虫害的完好果实50个置于8℃的冷藏柜中20 d后记录坏果量A，并计算坏果率（ $(A/50)\times 100\%$ ）；同时用硬度计测定果实硬度，着色度与口感风味采用专家打分法（着色度满分为1分，打分标准是：着色60%以上1.0~0.8分，着色40%~60%为0.6~0.8分，着色40%~20%为0.4~0.5分，着色20%以下为0~0.4分；口感风味满分为10分，打分标准是：口感极好为9~10分，口感好为7~8分，口感一般为5~6分，口感较差为0~4分）；采用NaOH滴定法测定果实有机酸，2,6-二氯靛酚滴定法测定果实Vc，考马

斯亮兰比色法（所用仪器为7500型分光光度计）测定果实可溶性蛋白，WYT-1型手持糖量计测定可溶性固形物。

### 1.3 数据处理

用SAS统计软件（SAS 6.12, SAS Institute Ltd., USA）进行数据统计，Duncan法进行处理间的差异显著性检验。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同生育期亏水处理对梨枣品质物理指标的影响

如表2所示，不同生育期亏水处理对梨枣单果质量与果实体积有一定影响。3 a结果显示，与对照相比，T<sub>2</sub>（I

期）、T<sub>3</sub>（II期）和T<sub>5</sub>（IV期）处理的梨枣单果质量、果实体积无显著差异（ $P>0.05$ ）；而T<sub>4</sub>（III期）处理的梨枣单果质量和果实体积明显小于对照，差异达极显著水平（ $P<0.01$ ），3 a间T<sub>2</sub>~T<sub>5</sub>各处理的梨枣单果质量较对照分别平均变幅为2.2%，-6.6%，-17.5%和-10.2%，果实体积平均分别下降0.9%、5.4%、17.4%和3.4%。3 a结果显示，不同生育期各亏水处理均能提高梨枣硬度。与对照相比，T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub>处理使其提高达显著水平（ $P<0.05$ ），T<sub>4</sub>、T<sub>5</sub>处理提高达极显著水平（ $P<0.01$ ），3 a间T<sub>2</sub>~T<sub>5</sub>处理使果实硬度较对照分别平均提高13.4%、15.6%、22.2%和22.6%。

表2 不同生育期亏水处理对梨枣物理特性影响

Table 2 Effects of water deficit treatments during different growth periods on fruit physical characteristics of pear-jujube

年份	处理	单果质量/g	果实含水率/%	硬度/N·cm <sup>-2</sup>	果实体积/cm <sup>3</sup>	坏果率/%	着色度	口感风味
2005	对照 T <sub>1</sub> (CK)	24.71a	78.78a	3.13c	38.91ab	20.50a	0.72c	7.17b
	处理 T <sub>2</sub> (LD)	25.80a	76.69a	3.52b	41.89a	17.00b	0.81b	7.52b
	处理 T <sub>3</sub> (MD)	25.38a	76.30a	3.67ab	38.37ab	17.50b	0.85b	8.35ab
	处理 T <sub>4</sub> (MD)	21.85b	75.55a	3.83a	34.03b	15.00c	0.96a	9.18a
	处理 T <sub>5</sub> (MD)	23.86a	75.37a	3.75a	42.63a	14.00c	0.97a	9.19a
2006	对照 (CK)	25.92a	79.98a	3.36c	45.73a	24.50a	0.50c	7.25c
	处理 T <sub>2</sub> (MD)	26.71a	77.36a	3.77b	42.86ab	20.40a	0.62b	7.33c
	处理 T <sub>3</sub> (MD)	24.22a	75.27ab	3.96ab	43.46ab	18.60b	0.64b	8.46b
	处理 T <sub>4</sub> (MD)	20.07b	72.12b	4.06a	37.05b	15.50c	0.73a	9.12ab
	处理 T <sub>5</sub> (MD)	22.80ab	70.63b	4.16a	42.80ab	12.00c	0.75a	9.32a
2007	对照 (CK)	24.19a	77.98a	3.16c	48.99a	22.50a	0.52c	7.15b
	处理 T <sub>2</sub> (MD)	23.92a	73.36a	3.66ab	47.03ab	20.00ab	0.64b	7.20b
	处理 T <sub>3</sub> (MD)	20.27ab	75.28ab	3.54b	44.12ab	17.00b	0.68b	7.56b
	处理 T <sub>4</sub> (MD)	19.79b	68.12b	3.91a	38.89b	14.50c	0.75a	8.87a
	处理 T <sub>5</sub> (MD)	20.53ab	70.63b	3.93a	42.47ab	13.50c	0.77a	8.95a

注：同列数据标不同小写字母者表示差异显著（ $P<0.05$ ），下同。

3 a结果还表明，不同生育期各亏水处理的梨枣含水率与坏果率有不同程度的影响。与对照相比，T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub>处理对梨枣果实含水率无显著影响（ $P>0.05$ ），T<sub>4</sub>、T<sub>5</sub>处理使其有不同程度降低，3 a间年T<sub>2</sub>~T<sub>5</sub>各处理的果实含水率较对照分别平均下降3.9%、4.2%、8.9%和8.5%。不同生育期各亏水处理明显降低梨枣坏果率，T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub>处理达显著水平（ $P<0.05$ ），T<sub>4</sub>、T<sub>5</sub>处理达极显著水平（ $P<0.01$ ），3 a间T<sub>2</sub>~T<sub>5</sub>各处理使坏果率较对照分别平均降低25.3%、21.0%、33.0%和40.9%。

表2显示，不同生育期各亏水处理均可提高梨枣着色度与口感风味，与对照相比，T<sub>2</sub>处理的梨枣口感风味略有提高，但不显著（ $P>0.05$ ），而着色度改善显著（ $P<0.05$ ）；T<sub>3</sub>~T<sub>5</sub>各处理使梨枣着色度、口感风味均显著提高（ $P<0.05$ ）；3 a间T<sub>2</sub>~T<sub>5</sub>各处理使梨枣着色度较对照分别平均提高19.9%、25.6%、41.9%和42.3%，口感风味分别提高6.2%、16.0%、26.0%和27.3%。

### 2.2 不同生育期亏水处理对梨枣品质化学指标与产量影响

3 a结果表明，与对照相比，T<sub>2</sub>各处理的梨枣Vc有一定提高，但不显著（ $P>0.05$ ）；3 a的T<sub>3</sub>处理结果表明，

除2005年外其他年份均使Vc显著提高（ $P<0.05$ ），3 a的T<sub>4</sub>、T<sub>5</sub>处理均达极显著水平（ $P<0.01$ ）。3 a各处理中Vc最大值（以鲜果质量计算）依次为 $42.71 \times 10^{-2}$  mg/g、 $37.80 \times 10^{-2}$  mg/g和 $38.47 \times 10^{-2}$  mg/g，较对照分别提高31.2%、59.3%和22.3%。3 a结果显示，T<sub>2</sub>~T<sub>5</sub>处理使梨枣Vc平均值分别提高5.64%、9.25%、32.7%和36.3%。

3 a结果表明，T<sub>2</sub>~T<sub>5</sub>各处理的可溶性蛋白较对照分别平均下降5.3%、13.1%、15.7%和10.5%；同时，不同生育期亏水处理的有机酸有不同程度降低，除2005年T<sub>2</sub>、2006年T<sub>4</sub>期不显著外（ $P>0.05$ ），其他各亏水处理均使其显著降低（ $P<0.05$ ）；3 a各亏水处理的有机酸最低值依次为0.18%、0.19%和0.21%，分别较对照下降33.3%、53.7%和16.0%；3 a间T<sub>2</sub>~T<sub>5</sub>各处理的有机酸较对照分别平均下降21.5%、12.9%、18.28%和36.6%。

3 a结果表明，T<sub>2</sub>~T<sub>5</sub>各处理均使TSS极显著提高（ $P<0.01$ ），3 a间各亏水处理中最大值依次为16.67%、16.93%和17.20%，分别较对照提高22.0%、20.9%和57.1%，3 a间T<sub>2</sub>~T<sub>5</sub>期处理的TSS分别平均较对照提高21.5%、21.5%、27.7%和29.1%。3 a结果表明，不同生育期各亏水处理使糖酸比极显著提高（ $P<0.01$ ），3 a各亏水处理的

梨枣糖酸比最大值依次为92.61、89.11和74.82，分别较对照提高45.3%、61.7%和42.4%；3 a间T<sub>2</sub>~T<sub>5</sub>期各处理使糖酸比较对照分别平均提高60.0%、47.8%、53.3%和98.7%。

表3显示，T<sub>2</sub>处理可使产量有所提高，3 a间提高幅度依次为5.3%、5.6%和12.9%，且2007年达显著水平（ $P < 0.05$ ）；T<sub>3</sub>处理使产量显著降低（ $P < 0.05$ ），降幅依次

为13.8%、15.9%和12.9%；T<sub>4</sub>处理也使产量有不同程度下降，3 a间下降幅度依次为16.8%、1.2%和3.6%，仅2005年达到显著水平（ $P < 0.05$ ）；T<sub>5</sub>处理对产量影响不显著（ $P > 0.05$ ），3 a间变幅依次为-4.9%、9.3%和6.3%；T<sub>2</sub>~T<sub>5</sub>各处理梨枣产量3 a平均变幅依次为7.9%、-12.4%、-7.2%和3.6%。

表 3 不同生育期亏水处理对梨枣化学特性与产量影响

Table 3 Effects of water deficit treatments during different growth periods on fruit chemical characteristics and yields of pear-jujube

年份	处理	维生素 C / $\times 10^{-2} \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$	可溶性蛋白 / $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$	可溶性固形物 /%	有机酸 /%	糖酸比	产量 / $\text{kg} \cdot \text{km}^{-2}$
2005	对照 T <sub>1</sub> (CK)	32.55b	2.30a	13.67b	0.27a	50.63c	21 388.95b
	处理 T <sub>2</sub> (LD)	35.30b	2.40a	16.33a	0.26a	62.81b	25 271.10a
	处理 T <sub>3</sub> (MD)	34.76b	2.30a	15.83a	0.20bc	79.15a	19 904.40b
	处理 T <sub>4</sub> (MD)	41.87a	2.00b	16.16a	0.24b	67.33b	20 520.90b
	处理 T <sub>5</sub> (MD)	42.71a	2.20ab	16.67a	0.18c	92.61a	25 692.30a
2006	对照 T <sub>1</sub> (CK)	23.73c	2.80a	14.00c	0.41a	34.15c	20 284.75a
	处理 T <sub>2</sub> (MD)	24.86c	2.70a	15.56b	0.26b	59.85b	21 417.65a
	处理 T <sub>3</sub> (MD)	26.46b	2.10b	15.36b	0.39a	39.38c	17 058.50b
	处理 T <sub>4</sub> (MD)	36.05a	2.50ab	15.95ab	0.29b	55.00b	19 186.45ab
	处理 T <sub>5</sub> (MD)	37.80a	2.20b	16.93a	0.19c	89.11a	22 179.80a
2007	对照 T <sub>1</sub> (CK)	30.99c	2.60a	10.95c	0.25a	43.80b	15 623.20a
	处理 T <sub>2</sub> (MD)	32.03c	2.20ab	15.01b	0.21b	71.48a	14 555.75a
	处理 T <sub>3</sub> (MD)	34.12b	2.30ab	15.73ab	0.22b	71.50a	11 665.25b
	处理 T <sub>4</sub> (MD)	37.89a	2.00b	17.20a	0.23b	74.78a	12 843.30b
	处理 T <sub>5</sub> (MD)	38.47a	2.50a	16.24ab	0.22b	73.82a	15 798.95a

综合不同生育期各亏水处理对梨枣品质多项指标与产量的影响可知，亏水处理对梨枣品质的改善主要体现在对硬度、可溶性固形物、糖酸比的提高和对有机酸的抑制上。本研究表明，T<sub>5</sub>各处理在对平均单果质量、果实体积影响较小的情况下使果实含水率略有下降，有利于储存，并使裂果率大幅下降，有效提高了水果的商品价值，同时使果实硬度、可溶性固形物与糖酸比显著提高，使梨枣口味更加甜美，对产量无负面影响，达到了以水调质的效果。此外，T<sub>4</sub>处理虽使梨枣体积、单果质量降低，对产量有一定负面影响，但对其他各项指标的影响均与T<sub>5</sub>处理相似，T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub>各处理梨枣品质也有一定改善。综合考虑各生育期亏水处理对梨枣各项品质指标的影响，以T<sub>5</sub>最佳，T<sub>4</sub>次之。

### 3 讨 论

本研究表明，RDI 能够提高果实硬度，与 Kilili 等<sup>[4]</sup>、Cuevas 等<sup>[15]</sup>、Bussakorn<sup>[16]</sup>等的结论相似，因为水分亏缺可使果肉细胞的扩大和分裂受到一定限制而果肉细胞排列密度增大、栅栏组织厚度明显增加。RDI 会降低水果最终的单果质量<sup>[7,15,17]</sup>，T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub>及 T<sub>5</sub>处理对梨枣单果质量与果实体积影响较小，T<sub>4</sub>处理可使其明显降低，表明亏水处理实施的阶段对单果质量影响较大。因为萌芽展叶期水分亏缺明显抑制果树营养生长，使此期的一部分光合产物积蓄在体内，为树体进入开花座果期的生殖生长积蓄重要能量，同时，水分亏缺后的复水效应使经历亏水锻炼的树体产生“补偿机制”，一定时段内使光合速

率大幅度提高，更有利于树体积蓄能量，所以 T<sub>2</sub>处理并未降低单果质量与果实体积；开花座果期水分亏缺会导致花蕾的大量凋谢，影响受粉过程的完成<sup>[18]</sup>，并引起大量幼果脱落，存活果实会有更多的养分与水分供给；植物不同组织间对水分亏缺的敏感性差异较大，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，果实膨大期是梨枣果肉细胞发育的重要时期，水分亏缺严重抑制果肉细胞的膨大，使单果质量与果实体积均明显下降；果实成熟期果肉细胞的分裂与生长基本完成，即果实的膨大基本结束，所以这一时期的水分亏缺没有影响果实的大小与果实有机物的积累。

亏水处理有利于果实可溶性固形物的提高<sup>[5,17,19-21]</sup>，本研究得到相似结论。本研究还发现各生育期亏水处理不同程度降低了可溶性蛋白，与马福生<sup>[7]</sup>的结论相似。有研究发现亏水处理可使小柑橘有机酸增加 11%~13%<sup>[6]</sup>，对苹果有机酸无明显影响<sup>[16]</sup>，本研究表明不同生育期亏水处理对有机酸含量有一定抑制，可见水分亏缺对果实有机酸影响会因水果品种不同而有较大差异。大量研究表明，亏水处理可明显提高不同品种水果的糖酸比<sup>[7,8,10,22]</sup>，本研究也发现各生育期不同亏水处理明显提高了糖酸比，主要因为不同生育期亏水处理虽对有机酸影响不一致，但却均显著提高了可溶性固形物，因此可有效调节水果内部的糖酸平衡。

水分亏缺对果实各项品质指标的影响是亏水处理强度与历时及其实施的生育阶段综合作用的结果<sup>[23]</sup>。亏水

处理对水果品质的影响主要在果实膨大期<sup>[22]</sup>与果实成熟期<sup>[19,22]</sup>, 主要通过改善糖和酸的质量百分比来实现<sup>[22]</sup>。植物在承受一定水分亏缺后, 体内的总可溶性糖增加, 还原糖积累, 淀粉下降<sup>[20]</sup>, 果实成熟期实施亏水处理后, 果实内的可溶性固形物与有机酸降低了果实细胞的水势, 促进了细胞从外界吸水分和营养物质向果实的转移, 增强了果实竞争养分、水分的库力, 一定程度上消除了水分亏缺带来的负面影响, 并在水分亏缺解除后对果实生长速率起到一定的促进作用<sup>[6]</sup>, 本研究也表明, 果实成熟期内适度水分亏缺在果实产量不降低或有所增加的前提下大幅改善果品品质, 是实施亏水处理的最佳生育期。

亏水处理对水果产量、品质及成熟时间的影响主要取决于其实施的时期。Cuevas 等<sup>[15]</sup>报道在枇杷树花期到来之前的 6 周内(萌芽展叶期内)亏水处理可使其盛花期提前 27 d 且对花的质量无负面影响, 使枇杷果的经济效益提高近 3 倍, 除花期外其他时段亏水处理对枇杷果大小、产量无显著影响; Lavee 等<sup>[24]</sup>发现橄榄树生长早期(萌芽展叶期)不灌溉而在中期(开花座果期与果实膨大期)充分灌水的处理果子大小较全期充分供水的对照略大, 且产量并未降低, 中后期(果实膨大期与果实成熟期)亏水处理可不同程度提高果实色泽, 并提高果肉的比例, Rapoport 等<sup>[25]</sup>在温室中得到同样结论; Costagli 等<sup>[26]</sup>认为果实生长期灌溉增大了果肉细胞的体积, 果实发育期充足的供水是果实细胞良好发育的关键。因此, 在果树不同生育期实施亏水处理会对水果品质、成熟时间及最终的经济效益产生显著的影响, 因为果树在不同的生育期对水分的敏感性存在显著差异, 不同的生育期其光合作用、养分吸收等生命过程受水分影响的程度有所不同, 不同生育期施加同一水分供给时会使树体正常生长所需水分与实际供给水分间产生较大的盈余或亏缺, 而这种差异对果树的生命过程、果实发育、水果品质及成熟时期都会产生较大影响, 最终导致调亏效果的明显不同。本研究发现, 开花座果期与果实膨大期是梨枣树生长的需水关键期, 尤其开花座果期亏水处理会引起明显减产, 果实膨大期适度亏水处理对产量影响较小, 萌芽展叶期与果实成熟期是非需水关键期, 亏水处理不会导致减产, 可明显提高果实品质并有利于果实早熟, 适合进行亏水处理, 且以果实成熟期效果最好。

## 4 结 论

1) 亏水处理对梨枣品质的改善主要体现在对硬度、可溶性固形物、可溶性糖、糖酸比的提高及对有机酸的抑制上, 亏水处理可明显降低坏果率并使果实成熟期提前。

2) 萌芽展叶期、开花座果期各亏水处理梨枣的单果质量、果实含水率均保持对照水平, 同时明显提高果实可溶性固形物及糖酸比( $P < 0.05$ ), 对梨枣品质有一定的改善; 果实膨大期、果实成熟期各亏水处理在使单果质量、果实含水率略有下降的情况下显著提高梨枣硬度、Vc、可溶性固形物与糖酸比( $P < 0.05$ ), 大幅降低坏果率, 使梨枣风味更加甜美, 达到了“以水调质, 控水催

熟”的效果。

3) 各生育期亏水处理对梨枣品质的改善程度依次为: IV期>III期>II期≈I期, 亏水处理对梨枣果实品质的影响以果实成熟期中度亏水处理最为理想。

志谢: 感谢康绍忠教授对论文修改提出的宝贵意见与建议。

## [参 考 文 献]

- [1] Mitchell P D, Chalmers D J, Jerie P H, et al. The use of initial withholding of irrigation and tree spacing to enhance the effect of regulated deficit irrigation on pear tree[J]. *Amer Soc Hort Sci*, 1986, 111(6): 858–861.
- [2] 董国锋, 成自勇, 张自和, 等. 调亏灌溉对苜蓿水分利用效率和品质的影响[J]. *农业工程学报*, 2006, 22(5): 201–203.  
Dong Guofeng, Cheng Ziyong, Zhang Zihe, et al. Effects of RDI on water use efficiency and quality of alfalfa[J]. *Trans of the CSAE*, 2006, 22(5): 201–203. (in Chinese with English abstract)
- [3] 史文娟, 胡笑涛, 康绍忠. 干旱缺水条件下作物调亏灌溉技术研究状况与展望[J]. *干旱地区农业研究*, 1998, 16(2): 84–88.  
Shi Wenjuan, Hu Xiaotao, Kang Shaozhong. The status and prospect of RDI technique in water stress conditions[J]. *Agric Res Arid Areas*, 1998, 16(2): 84–88. (in Chinese with English abstract)
- [4] Kilili A W, Behboudian M H, Mills T M. Composition and quality of 'Braeburn' apples under reduced irrigation[J]. *Sci Hortic*, 1996, 67(1/2): 1–11.
- [5] 刘明池, 小島孝之, 田中宗浩, 等. 亏缺灌溉对草莓生长和果实品质的影响[J]. *园艺学报*, 2001, 28(4): 307–311.  
Liu Mingchi, Kojima T, Tanaka M, et al. Effect of soil moisture on plant growth and fruit properties of strawberry[J]. *Acta Hort Sin*, 2001, 28(4): 307–311. (in Chinese with English abstract)
- [6] Verreyne J S, Rabe E, Theron K I. The effect of combined deficit irrigation and summer trunk girdling on the internal fruit quality of 'Marisol' Clementines[J]. *Scientia Horticulturae*, 2001, 91(1/2): 25–37.
- [7] 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, 40(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]. *Trans of the CSAE*, 2006, 40(1): 37–43. (in Chinese with English abstract)
- [8] Dos Santos T P, Lopes C M, Rodrigues M L, et al. Effects of deficit irrigation strategies on cluster microclimate for improving fruit composition of Moscatel field-grown grapevines[J]. *Sci Hortic*, 2007, 112(3): 321–330.
- [9] Hueso J J, Cuevas J. Deficit irrigation effects on flowering of loquat[J]. *Options Méditerranéennes Serie A*, 2004, 58: 105–108.
- [10] Marsal J, Area T, Fruticola, et al. Effects of stage II and

- postharvest deficit irrigation on peach quality during maturation and after cold storage[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2004, 84(6): 561–568.
- [11] Gu S L, Du G Q, Zoldoske D, et al. Effects of irrigation amount on water relations, vegetative growth, yield and fruit composition of Sauvignon blanc grapevines under partial rootzone drying and conventional irrigation in the San Joaquin Valley of California[J]. *The Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, 2004, 79(1): 26–33.
- [12] Motilva M J, Tavar M J, Alegre S, et al. Evolution of oil accumulation and polyphenol content in fruits of olive tree(*Olea europaea* L.) related to different strategies[J]. *Acta Hort*, 2002, (586): 345–348.
- [13] 申海林, 温景辉, 邹利人, 等. 我国果树设施栽培研究进展[J]. *吉林农业科学*, 2007, 32(2): 50–54.
- [14] 程福厚, 李绍华, 孟昭清. 调亏灌溉条件下鸭梨营养生长、产量和果实品质反应的研究[J]. *果树学报*, 2003, 20(1): 22–26.
- Chen Fuhou, Li Shaohua, Meng Zhaoqing. Study on the effect of regulated deficit irrigation on the vegetative growth, cropping and fruit quality of Yali Pear variety[J]. *Journal of Fruit Science*, 2003, 20(1): 22–26. (in Chinese with English abstract)
- [15] Cuevas J, Canete M L, Pinillos V, et al. Optimal dates for regulated deficit irrigation in ‘Algerie’ loquat (*Eriobotrya japonica* Lindl) cultivated in southeast Spain[J]. *Agri Water Mana*, 2007, 89(1/2): 131–136.
- [16] Bussakorn S, Mpelasoka M, Hossein B. Production of aroma volatiles in response to deficit irrigation and to crop load in relation to fruit maturity for ‘Braeburn’ apple Postharvest[J]. *Biology and Technology*, 2002, 24(1): 111–116.
- [17] Leib B G, Caspari H W, Redulla, et al. Partial rootzone drying and deficit irrigation of ‘Fuji’ apples in a semiarid climate[J]. *Irrigation science*, 2006, 24(2): 85–99.
- [18] Rodri´guez M C, Cuevas J, Hueso J J. Flower development in ‘Algerie’ loquat under Scanning Electron Microscopy[J]. *Acta Hort*, 2007, (750): 337–342.
- [19] Peng Y H, Rabe E. Effect of differing irrigation regimes on fruit quality, yield, fruit size and net CO<sub>2</sub> assimilation of Mihowase Satsuma[J]. *Hort Sci Biotechnol*, 1998, 73(2): 229–234.
- [20] 柴成林, 李绍华, 徐迎春. 水分胁迫期间及胁迫解除后桃树叶片中的碳水化合物代谢[J]. *植物生理学通讯*, 2001, 37(6): 495–498.
- Cai Chenglin, Li Shaohua, Xu Yingchun. Carbohydrate metabolism in peach leaves during water stress and after stress relief[J]. , 2001, 37(6): 495–498. (in Chinese with English abstract)
- [21] Mpelasoka B S, Behboudian M H, Mills T M. Effects of deficit irrigation on fruit maturity and quality of ‘Braeburn’ apple[J]. *Sci Hort*, 2001, 90(3/4), 279–290.
- [22] Ginestar C, Castar J R. Response of young Clementine citrus trees to water stress during different phonological periods[J]. *Hort Sci*, 1996, 71(4): 551–559.
- [23] Castel J R, Buj A. Response of Salustiana oranges to high frequency deficit irrigation[J]. *Irrig Sci*, 1990, 11: 121–127.
- [24] Lavee S, Hanoeh E, Wodner M, et al. The effect of predetermined deficit irrigation on the performance of cv. Muhasan olives (*Olea europaea* L.) in the eastern coastal plain of Israel[J]. *Sci Hort*, 2007, 112(2): 156–163.
- [25] Rapoport H F, Costagli J, Gucci R. The effect of water deficit during early fruit development on olive fruit morphogenesis [J]. *Am Soc Hort Sci*, 2004, 129(1), 121–127.
- [26] Costagli G, Gucci R, Rapoport H F. Growth and development of fruits of olive ‘Frontoio’ under irrigation and rainfed conditions[J]. *Hortic Sci Biotchnol*, 2003, 78: 119–124.

## Effects of regulated deficit irrigation at different growth stages on greenhouse pear-jujube quality

Cui Ningbo<sup>1,2</sup>, Du Taisheng<sup>3\*</sup>, Li Zhongting<sup>4</sup>, Wang Mixia<sup>1</sup>, Guo Jun<sup>4</sup>

(1. Key Laboratory of Agricultural Soil and Water Engineering in Arid and Semiarid Areas, Ministry of Education, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling 712100, China;

2. College of Water Resource and Hydropower Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China;

3.Center for Agricultural Water Research in China, China Agricultural University, Beijing 100083, China;

4. Bureau of Luohui Irrigation System Management of Shaanxi Province, Weinan 715100, China)

**Abstract:** In order to investigate the effects of regulated deficit irrigation (RDI) on pear-jujube quality, seven-year-old pear-jujube trees in greenhouse were studied during 2005–2007. The experimental treatments included the sufficient water supply during the whole growing period (T<sub>1</sub>), low and moderate water deficits at the bud burst to leafing stage (T<sub>2</sub>), moderate water deficits at flowering to fruit set stage, fruit growth and fruit maturation stages (T<sub>3</sub>, T<sub>4</sub>, T<sub>5</sub>), respectively. The results indicated that the different deficit irrigation levels at different growth periods had significant impact on the

pear-jujube quality. During the three years, water deficits treatments at the stage of I and II had less impact on the quality of single fruit and water content of pear-jujube ( $P>0.05$ ); meanwhile enhanced, the fruit firmness by 13.7%—15.8%, and reduced the amount of organic acid and rotten fruit percentage significantly ( $P<0.05$ ) by 14.2%—18.8% and 21.0%—25.0%; and improved the soluble solid content and sugar/acid ratio rather significantly by 22.1%—24.4% and 47.8%—60.0% ( $P<0.01$ ), at the same time, shortened the fruit maturation time by 10—12 d. The water deficit treatments at the stage of III increased the fruit firmness, fruit color, vitamin C (Vc), soluble sugar, soluble solid content and sugar/acid ratio by 22.3%, 41.9%, 27.0%, 32.1%, 38.1% and 53.3%, respectively, and meanwhile the water deficit treatments at the stage of IV improved in turn by 22.7%, 42.3%, 37.4%, 28.1%, 27.1% and 98.7%, respectively, which had the significant level ( $P<0.01$ ). The water deficit treatments at the stage of III and IV reduced the organic acid ( $P<0.05$ ) and the fruit maturation ratio greatly ( $P<0.01$ ), and shortened the fruit maturation period by 15—20 d. At the same time, it reduced the single fruit weight and water content of pear-jujube, which had significant influence at the stage of III ( $P<0.05$ ). The improved level for the quality of pear-jujube was stage IV > stage III > stage II  $\approx$  stage I. Through the integrated considering the impact of water deficit treatments on each indicators of pear-jujube quality, moderate water deficit treatments during the fruit maturation stage has the best results for the quality of fruit, which has important popularization value.

**Key words:** regulated deficit irrigation, greenhouses, quality control, pear-jujube, yield