

DOI: 10.3724/SP.J.1011.2011.00818

# 水分调控对梨枣果实品质与投入产出效益的影响分析\*

李晓彬<sup>1,2</sup> 汪有科<sup>1,2\*\*</sup> 赵春红<sup>4</sup> 王颖<sup>3</sup> 张勇勇<sup>1,2</sup> 汪星<sup>4</sup> 张建国<sup>1,2</sup>

(1. 西北农林科技大学水土保持研究所 杨凌 712100; 2. 中国科学院教育部水土保持与生态环境研究中心 杨凌 712100;  
3. 西北农林科技大学生命科学学院 杨凌 712100; 4. 西北农林科技大学资源与环境学院 杨凌 712100)

**摘要** 本试验以梨枣为试验材料,设置5个灌水梯度(保持70%、60%、50%、40%的田间持水量和不灌水对照),分别在梨枣萌芽展叶期、开花坐果期与果实膨大期各灌水2次,研究水分调控对梨枣果实品质的影响,并进行投入产出效益的比较分析。结果表明:(1)梨枣果实膨大期与开花坐果期是影响果实品质与经济效益的关键需水时期。(2)适当灌溉可以明显改善果实的风味品质与营养品质,并显著提高梨枣树的果实单果重与果实收获数;但灌水过多,产量与品质未得到明显改善,却增加了成本。(3)合理调控“高产”与“优质”的关键需水时期,可以均衡达到“高产和优质”。综合分析认为:对陕北梨枣树灌溉至田间持水量的60%比较适宜,既改善梨枣果实品质,并显著提高经济产量。

**关键词** 梨枣树 调控灌溉 田间持水量 果实品质 投入产出效益

中图分类号: S665.1 S275 文献标识码: A 文章编号: 1671-3990(2011)04-0818-05

## Effect of regulated irrigation on input-output benefits of pear jujube

LI Xiao-Bin<sup>1,2</sup>, WANG You-Ke<sup>1,2</sup>, ZHAO Chun-Hong<sup>4</sup>, WANG Ying<sup>3</sup>, ZHANG Yong-Yong<sup>1,2</sup>,  
WANG Xing<sup>4</sup>, ZHANG Jian-Guo<sup>1,2</sup>

(1. Institute of Water and Soil Conservation, Northwest A & F University, Yangling 712100, China; 2. Center for Soil/Water Conservation and Eco-environmental Research, Chinese Academy of Sciences & Ministry of Education, Yangling 712100, China;  
3. College of Life Sciences, Northwest A & F University, Yangling 712100, China; 4. College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling 712100, China)

**Abstract** Jujube is the main cash forest species in the Loess Plateau region. It is now the preferred and dominant cultivated tree species in the region due to its huge economic and ecological benefits. In this region, however, rainfall-fed and overland flooding remain the principal modes of irrigation, leading to low yield and poor fruit quality. This is a par with societal development, where emphasis has from quantity to quality of fruits/vegetables. It is therefore vital to develop water-saving irrigation systems that ensure high quality/yield in water-deficient regions for high economic benefits. In this paper, five irrigation gradients (to maintain soil water content as 70%, 60%, 50%, 40% of field capacity, and non-irrigation) were set up to investigate the influence of regulated irrigation on the quality of pear jujube fruit. The pear jujube trees were irrigated twice during sprouting and leaf-expansion, flowering and fruit setting, and fruit swelling periods, respectively. The fruit quality and input-output benefits of jujube production under the regulated irrigation system were analyzed. The results showed that: (1) fruit swelling, and flowering and fruit setting periods were the critical water demand periods that influenced fruit quality and economic benefits; (2) appropriate irrigation significantly improved not only fruit flavor and nutritional quality, but also increased weight per pear jujube fruit and number of fruit harvest; excessive irrigation also not only increased production cost, but resulted in no improvement in fruit quality and yield; (3) reasonable regulated irrigation during high water demand periods ensured a balance between input (production cost) and output (high yield and quality of fruits). Further analysis showed that proper irrigation significantly improved yield, quality and economic benefits of pear jujube. Under drought conditions, the economic benefits of jujube forest effectively improved by reasonable irrigation system at critical water de-

\* 国家科技支撑计划项目(2007BAD88B05)、中国科学院研究生科技创新项目和国家高技术研究发展计划(863计划)项目(2010AA10A302-1)资助

\*\* 通讯作者: 汪有科(1956-), 男, 研究员, 博士生导师, 主要研究方向为水土资源高效利用与节水灌溉新技术。E-mail: gjzwyk@vip.sina.com  
李晓彬(1986-), 男, 硕士研究生, 研究方向为水资源高效利用。E-mail: dtym123@163.com

收稿日期: 2010-12-02 接受日期: 2011-03-03

mand and transfer periods. The study suggested that the reasonable irrigation system in the region for pear jujube was to keep 60% of field capacity.

**Key words** Pear jujube, Regulated irrigation, Field capacity, Fruit quality, Input-output benefit

(Received Dec. 2, 2010; accepted Mar. 3, 2011)

陕北地处黄土高原, 生态环境脆弱, 水资源时空分布不均, 降雨多集中在 8~10 月份。陕北枣树多以雨养或传统漫灌方式为主, 产量低下, 品质欠佳。随着节水灌溉技术的发展, 滴灌、渗灌等高效灌溉方式已经得到推广, 但在水资源相对短缺的情况下, 确定高产的灌溉量, 节约水资源, 有利于缓解生态用水与经济用水的矛盾和压力。随着社会的发展, 对果蔬的需求也已从数量型转到质量型方向<sup>[1]</sup>。果蔬的市场竞争力主要是品质的优劣, 品质越佳, 经济效益越高。许多学者对枣品质的影响因素进行了研究, 认为影响品质的因素很多, 但水分在果实品质形成过程中起着关键作用<sup>[2-3]</sup>。水分作为影响品质的重要因素, “以水催熟”与“以水调质”成为利用水分调控果实品质的 2 种重要的成熟技术手段<sup>[4]</sup>。因此, 确定优质的灌溉量, 高效利用水资源, 有利于以经济效益推动经济林可持续发展与生态效益的发挥。

随着节水灌溉技术的发展, 调亏灌溉、半根区控制灌溉等非充分灌溉技术与滴灌、喷灌等节水灌溉方式得到广泛应用。已有研究表明, 在果蔬不同生育期进行调亏灌溉可以明显改善果蔬品质, 进而提高果蔬商品价格<sup>[5-7]</sup>。刘海涛等<sup>[1]</sup>在研究不同水分亏缺程度对番茄生长发育、产量和果实品质的影响中发现, 随着灌水量的减少, 番茄果实中的维生素 C、可溶性糖和有机酸含量显著增加。刘明池等<sup>[8]</sup>研究亏缺灌溉对草莓生长与果实品质的影响发现, 亏缺灌溉降低了果实含水量, 提高了果实硬度、可溶性固形物含量、滴定酸度、糖酸比、维生素 C 含量。崔宁博等<sup>[9]</sup>研究了不同生育期采用调亏灌溉对温室梨枣品质的影响, 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, 果实成熟期中度亏水处理对品质改善效果最佳。而目前的研究主要针对灌溉对果实品质的影响, 很少有对经济效益影响方面的研究, 而综合灌溉对果实品质与经济效益影响的研究更是鲜见报道。本试验以梨枣为试验材料, 通过全生育期不同灌水处理, 分析水分调控对梨枣果实品质的影响, 并通过结合投入产出效益的比较分析, 研究灌溉对梨枣果实品质与经济效益的综合影响, 最后确定“高产、优质”的枣园可参考的灌溉量。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验在陕西省米脂县孟岔山地红枣试验基地进行, 试验时间为 2010 年 4~10 月。试验基地位于典型的黄土高原丘陵沟壑区, 试验区以黄绵土为主, 土壤容重  $1.35\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ , 0~100 cm 计划湿润层的田间持水量为 23%, 所选试验树种为梨枣(*Ziziphus jujube* Mill.), 树龄 10 年, 株行距为  $2\text{m}\times 2\text{m}$ 。分别在枣树萌芽展叶期(5 月 1 日~6 月 13 日)、开花坐果期(6 月 14 日~7 月 21 日)和果实膨大期(7 月 22 日~9 月 12 日)各灌水 2 次, 全生育期共灌水 6 次。在同一坡面上选取 15 棵长势良好大小相近的梨枣树, 试验设置 5 个处理, 每个处理 3 棵树。枣园内设有山地自压滴灌系统, 根据滴头流量与灌溉时间控制灌水量。各试验处理通过灌水使土壤含水量分别达到田间持水量的 70%(T1)、60%(T2)、50%(T3)、40%(T4), 不灌溉为对照(CK, 其土壤含水量为田间持水量的 20%~25%)。生育期内不同处理灌溉时间与每次灌溉量见表 1。

表 1 梨枣不同生育期内不同处理的灌溉时间和灌溉量

Table 1 Irrigation time and amount of different treatments in different growth periods of pear-jujube  $\text{m}^3\cdot\text{plant}^{-1}$

处理 Treatment	萌芽展叶期 Sprouting and leaf-expansion period		开花坐果期 Flowering and fruit setting period		果实膨大期 Fruit swelling period	
	6 月 2 日 Jun. 2	6 月 12 日 Jun. 12	6 月 24 日 Jun. 24	7 月 12 日 Jul. 12	8 月 9 日 Aug. 9	8 月 29 日 Aug. 29
	T1	0.126	0.109	0.127	0.112	0.106
T2	0.079	0.056	0.088	0.086	0.090	0.046
T3	0.048	0.029	0.051	0.046	0.051	0.036
T4	0.004	0.017	0.050	0.004	0.012	0.008
CK	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

T1、T2、T3 和 T4 的土壤含水量分别为田间持水量的 70%、60%、50%和 40%, CK 为不灌溉对照(土壤含水量为田间持水量的 20%~25%), 下同。Soil water content of T1, T2, T3 and T4 were 70%, 60%, 50% and 40% of field capacity, respectively. CK treated as no irrigation with 20%~25% of field capacity. The same below.

## 1.2 测定方法

在 5 月 31 日、6 月 3 日、6 月 6 日、6 月 11 日、6 月 14 日、6 月 18 日、6 月 23 日、6 月 27 日、7 月 2 日、7 月 11 日、7 月 20 日、7 月 29 日、8 月 8 日、8 月 19 日和 8 月 29 日分别对 5 个灌溉处理取 0~1 m 土层内土样, 取土间隔为 10 cm, 采用烘干法测定各处理土壤 0~1 m 土层的土壤含水量(取平均值)。枣农为了让果实抢先进入市场, 会在脆熟期收获果实, 加上陕北后期雨水较多, 容易导致裂果, 影响果实自然品质, 因此本文主要对脆熟期果实品质进行比较分析。于梨枣果实脆熟期(2010 年 9 月 15 日)分别采摘各处理果实 30 个(每棵树采摘 10 个)带回室内进行品质分析。主要分析可溶性固形物(折射仪法)、可滴定酸(指示剂法)、柠檬酸(指示剂法)、总糖(3,5-二硝基水杨酸比色法)、还原糖(3,5-二硝基水杨酸比色法)和维生素 C(3,5-二硝基水杨酸比色法)等品质指标<sup>[10]</sup>。在果实收获期(2010 年 10 月 3 日)对单果重、收获果实个数和总产量进行统计。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同灌溉处理土壤水分动态变化

如图 1 所示, 除灌水外, 由于受自然降雨的影响, 土壤含水量的变化呈波动趋势。但各处理 0~1 m 土层土壤含水量总体趋势为 T1>T2>T3>T4>CK。由图中 2 个低水区(6 月中旬与 7 月下旬)数据可知, 陕北梨枣开花初期与坐果末期降雨少, 以趋势线间距表示处理间土壤水分差异程度, 可以看出, 果实膨大期、坐果末期与开花初期各处理趋势线间距较大, 差异持续时间较长, 表明各处理土壤水分差异程度较大, 时间长。而这 3 个时期是本试验中重要的土壤水分存在明显差异的时段, 反推处理间梨枣经济产量与果实品质的差异可知, 果实膨大期、坐果末期与开花初期是梨枣重要的关键需水时期。

### 2.2 不同灌溉处理对梨枣果实品质的影响

果实品质直接影响果实商品价值, 是果实市场竞争的主要衡量指标。果实品质可以分为外观品质、

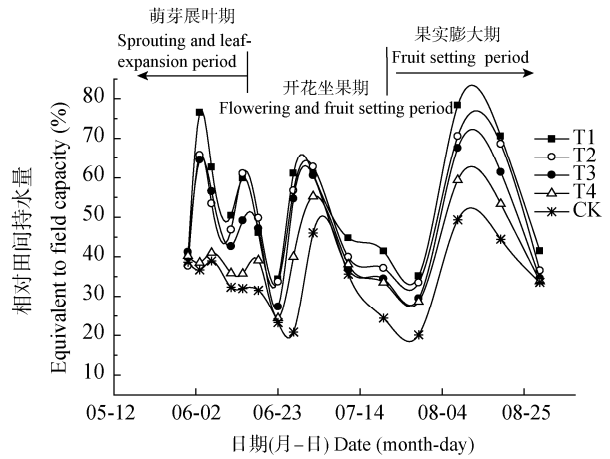


图 1 不同灌溉处理下土壤水分动态变化

Fig. 1 Dynamic change of soil moisture content under different irrigation treatments

风味品质、营养品质和贮运品质 4 种类型指标<sup>[10]</sup>。随着人民生活水平的提高, 风味品质与营养品质成为果实市场竞争的核心力。本文主要研究水分调控对梨枣风味品质与营养品质作用的影响。

表 2 结果表明, 不同灌溉处理对梨枣果实风味品质影响显著, 不同灌溉处理下梨枣果实的可溶性固形物、总糖与可滴定酸含量存在显著差异。T3 处理的果实可溶性固形物与可滴定酸含量最大, T2 处理的总糖含量最大, T1 处理的可溶性固形物、总糖与可滴定酸含量最小。总体趋势为: 在一定灌溉水分范围内, 随灌水量增加, 果实可溶性固形物、总糖与可滴定酸含量增加; 但超过一定灌溉水分范围, 果实风味品质指标含量将降低。

不同灌溉处理梨枣果实柠檬酸与维生素 C 含量存在显著差异, 对还原糖含量的影响差异不显著。T3 处理的果实柠檬酸与维生素 C 含量最大, T2 处理的还原糖含量最大, T1 处理的柠檬酸含量最小, CK(对照)处理的还原糖与维生素 C 含量最小。总体趋势说明: 对梨枣树进行一定灌溉可以显著提高果实柠檬酸、还原糖与维生素 C 含量, 改善果实营养品质; 但灌水过多, 果实的营养品质指标有下降趋势。

表 2 不同灌溉处理下梨枣果实风味品质参数

Table 2 Flavor and nutritional qualities of pear jujube fruit under different irrigation treatments

处理 Treatment	风味品质 Flavor quality			营养品质 Nutritional quality		
	可溶性固形物 Soluble solids (%)	总糖 Total sugar (%)	可滴定酸 Titratable acid (%)	柠檬酸 Citric acid [ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ (FW)]	还原糖 Reducing sugar (%)	维生素 C Vitamin C [ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ (FW)]
T1	15.23c	14.35c	0.23c	2.08c	10.86a	2.60b
T2	18.13a	23.82a	0.37ab	3.30b	14.92a	2.88ab
T3	19.07a	21.35ab	0.43a	4.04a	11.98a	3.18a
T4	17.73ab	21.28ab	0.38ab	3.52b	10.26a	2.63b
CK	16.63b	20.02b	0.33b	3.04b	9.32a	2.30b
标准差 SD	1.35	3.71	0.08	0.71	3.74	0.36

不同小写字母表示处理间差异显著( $P < 0.05$ ), 下同。Different small letters indicate significant difference at 0.05 level. The same below.

### 2.3 不同灌溉处理对梨枣生产的影响

枣树属耐旱树种, 传统种植方式下的枣树主要以雨养为主, 很少进行灌溉。随着节水灌溉技术的发展与推广, 以及红枣产业的规模经营, 以高产为目的, 充分利用有限水资源对枣树进行高效灌溉逐步得到推广。

如表 3 所示: 梨枣单果重、果实收获个数和总产量在不同灌溉处理之间差异显著。T2 处理的梨枣树单果重、果实收获个数与总产量最大。CK 处理的梨枣树单果重、果实收获个数与总产量最小。比较 T3 与 T1 可以看出, 灌溉主要是通过影响单果重而影响产量。比较 T4 与 CK 可以看出, 灌溉主要是通过影响果实收获个数而影响产量。总体趋势说明: 对梨枣树进行一定的灌溉可以从提高开花坐果率与果实单果重 2 个方面来提高产量; 但灌水过多, 枣树营养生长过旺, 树体疯长, 内部透光性差, 影响枣树开花坐果; 另外, 根系呼吸降低阻碍根系吸收矿物质元素, 再加上营养生长与生殖生长的竞争导致果实生长缓慢, 进而导致产量有所下降<sup>[11]</sup>。

### 2.4 不同灌溉处理梨枣投入产出分析

在梨枣销售过程中, 本试验采用品质系数来衡量因品质优劣而导致的梨枣果实商品差价。根据鲜食果实高糖、中酸、风味浓为尤佳品质, 试验中以总糖、柠檬酸、维生素 C 与单果重为品质主要决策因子。以总糖、维生素 C、单果重最大处理品质系

表 3 不同灌溉处理下梨枣产量指标  
Table 3 Yield indexes of pear jujube under different irrigation treatments

处理 Treatment	单株果实数 Fruit number per plant	单果重 Weight of single fruit (g)	单株总产量 Total yield per plant (kg)
T1	195bc	35.48b	6.94bc
T2	236a	42.70a	10.07a
T3	202b	41.03a	8.31b
T4	172c	33.80bc	5.84c
CK	140d	30.45c	4.27c
标准差 SD	35.41	5.08	2.19

数定为 1, 以 T2 处理的柠檬酸程度(中酸)品质系数定为 1, 其余处理品质系数为与品质参数最大值处理显著性分析的 Sig.值。品质系数总和即为商值系数。各处理品质系数如表 4 所示。考虑市场流通差价实际情况, 把商值系数低于 1 的标定为 1, 商品价格为商品单价(10 元·kg<sup>-1</sup>)与商值系数乘积, 并且设定 20 元·kg<sup>-1</sup> 为商品单价上限。

根据当地水资源欠缺程度与调水灌溉的时空难度, 外加山地自压滴灌系统的损耗成本, 灌溉用水以 30 元·m<sup>-3</sup> 计算(调查得出)。表 5 结果表明, T2 处理的利润最大, CK 处理的利润最小。灌溉水量如果超过一定范围, 不仅会增加成本投入, 也会导致产量降低与果实品质的改变, 进而降低利润。

表 4 不同灌溉处理下梨枣商值系数  
Table 4 Commodity value coefficient of pear jujube fruits under different irrigation treatments

处理 Treatment	品质系数 Quality coefficient			单果重 Weight of single fruit	商值系数 Commodity value coefficient	商品价格 Commodity price (Yuan·kg <sup>-1</sup> )
	总糖 Total sugar	柠檬酸 Citric acid	维生素 C Vitamin C			
T1	0	0	0.009	0.003	0.012(1)	10
T2	1.000	1.000	0.128	1.000	3.128	20
T3	0.172	0.009	1.000	0.384	1.565	16
T4	0.162	0.380	0.013	0.001	0.556(1)	10
CK	0.047	0.280	0.001	0	0.328(1)	10

商值系数低于 1 的标定为 1 The commodity value coefficient less than 1 was considered as 1.

表 5 不同灌溉处理下梨枣投入产出参数  
Table 5 Parameters of input-output of pear jujube under different irrigation treatments

处理 Treatment	灌水量 Irrigation quantity (m <sup>3</sup> ·plant <sup>-1</sup> )	水成本 Water cost (Yuan)	总产量 Total yield (kg·plant <sup>-1</sup> )	商品价格 Commodity price (Yuan·kg <sup>-1</sup> )	收入 Income (Yuan·plant <sup>-1</sup> )	利润 Profit (Yuan·plant <sup>-1</sup> )
T1	0.660	19.791	6.940	10	69.399	49.608
T2	0.443	13.293	10.068	20	201.363	188.070
T3	0.261	7.833	8.306	16	129.995	122.162
T4	0.095	2.835	5.844	10	58.438	55.603
CK	0.000	0.000	4.269	10	42.690	42.690

### 3 讨论与结论

在陕北生态环境建设中,林草措施的经济生产力是生态环境恢复的巨大推动力。生态效益的发挥附带经济效益是可持续发展的有效途径。而通过灌溉提高枣树经济效益可以促使以枣树为经济树种的生态经济林的大面积推广,加快黄土高原生态修复。

本试验在陕北大田条件下研究了自然状态下生育期内不同灌水量对梨枣果实品质与生产的影响,并分析了不同处理的投入产出比。由试验结果得出:(1)由不同灌溉处理下梨枣果实品质与经济效益表现的差异,对照土壤水分动态变化,可以得出不同处理土壤水分差异时段主要在果实膨大期、开花初期与坐果末期,可以认为梨枣果实膨大期与开花坐果期是主要的关键需水时期,该时期对果实品质与经济效益有重要影响。(2)在一定灌溉水分范围内,随灌水量的增加,果实可溶性固形物、总糖和可滴定酸含量等风味品质指标与果实柠檬酸、还原糖和维生素 C 含量等营养品质指标含量以及产量与果实收获数都明显增加。但灌水过多,会引起枣树营养生长旺盛,树体疯长,内部透光性差,影响到枣树开花坐果以及果实品质,进而产量有所降低,果实品质也非最佳。(3)对投入产出的分析结果可知,对枣树进行适当灌溉虽然增加了投入成本,但由于产量的提高与果实品质的改善,收入也明显增加,最后所获利润大于不灌溉对照。但灌水过多,在产量与品质未明显改善下,同时增加了水成本,最后所获利润相对较小。

结合灌溉对梨枣果实品质与产量的影响得出,本试验 T2 处理(土壤含水量为田间持水量的 60%)同时实现了“高产”与“优质”。与普遍认为“高产”与“优质”相矛盾的观点相悖。崔宁博等<sup>[9]</sup>通过研究不同生育期调亏灌溉对温室梨枣品质的影响表明:各生育期亏水处理对梨枣品质的改善程度依次为:果实成熟期 > 果实膨大期 > 开花坐果期 ≈ 萌芽展叶期。本试验土壤水分差异时段主要在果实膨大期、开花初期与坐果末期 3 个时期,正好为崔宁博等<sup>[9]</sup>研究结果的品质影响中等程度时期,这说明通过调控“高

产”与“优质”关键需水时期,能使其达到均衡状态,同步实现“高产、优质”。

综合分析得出:在陕北相对干旱,降雨相对集中情况下,通过合理制定灌溉制度,明确枣树关键需水时期与重要调水时段,可有效提高枣树经济林的经济效益。由于枣树的郁闭期主要在 7~10 月份,正好处在陕北多雨期,枣树可以通过冠层枝叶的截留,延缓径流汇集,有效降低水土流失量,改善生态环境。因此,基于红枣经济林的生态效益与合理灌溉下发挥出来的经济效益,大面积推广红枣产业发展是陕北退耕还林(草)工程可持续发展的有效模式。

### 参考文献

- [1] 刘海涛,齐红岩,刘洋,等.不同水分亏缺程度对番茄生长发育、产量和果实品质的影响[J].沈阳农业大学学报,2006,37(3):414-418
- [2] 张兆斌,赵学常,史作安,等.生态因子对冬枣果实品质的影响[J].中国生态农业学报,2009,17(5):923-928
- [3] 李新刚,黄建,宋世德,等.影响陕北红枣产量和品质的因子分析[J].西北林学院学报,2004,19(4):38-42
- [4] 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
- [5] 刘明池,张慎好,刘向莉.亏缺灌溉时期对番茄果实品质和产量的影响[J].农业工程学报,2005,21(S2):92-95
- [6] 毕彦勇,高东升,王晓英,等.根系分区灌溉对设施油桃生长发育、产量及品质的影响[J].中国生态农业学报,2005,13(4):88-90
- [7] 解婷婷,苏培玺.干旱胁迫对河西走廊边缘绿洲甜高粱产量、品质 and 水分利用效率的影响[J].中国生态农业学报,2011,19(2):300-304
- [8] 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
- [9] 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
- [10] 童斌,杨薇红.园艺产品营养与品质分析[M].咸阳:西北农林科技大学出版社,2006
- [11] Chaves M M, Pereira J S, Maroco J, et al. How plants cope with water stress in the field? Photosynthesis and growth[J]. Annals of Botany, 2002, 89(7): 907-916