

网络出版时间:2016-05-03 14:05

DOI:10.13207/j.cnki.jnwfufu.2016.06.025

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20160503.1405.050.html>

调亏灌溉对黄土高原地区枣树生长与果实品质和产量的影响

胡永翔^{1,2}, 李援农², 张莹³, 蒋耿民⁴

(1 石家庄经济学院 土地资源与城乡规划学院, 河北 石家庄 050031; 2 西北农林科技大学 水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100;

3 河北科技大学 外国语学院, 河北 石家庄 050018; 4 南阳师范学院 土木建筑工程学院, 河南 南阳 473061)

【摘要】【目的】研究调亏灌溉对黄土高原地区枣树生长与果实品质和产量的影响, 揭示枣树不同生育阶段进行调亏灌溉的适宜度。【方法】2009—2011 年, 在陕西省米脂县孟岔试验站的枣树试验林进行调亏灌溉试验, 试验设置充分灌水(对照)、萌芽展叶期中度调亏灌水(T1)、开花坐果期中度调亏灌水(T2)、果实膨大期中度调亏灌水(T3)和果实成熟期重度调亏灌水(T4)共 5 个处理, 其中充分灌水处理保证土壤含水率不低于田间持水量的 60%, 否则按定额 30 mm 灌水; 中度调亏处理灌水定额为 15 mm, 灌水时间与对照相同; 重度调亏处理不灌水。试验期间每 5 d 测定 1 次土壤水分和新梢长度, 枣果成熟后分处理测定产量及果实品质指标。【结果】萌芽展叶期和开花坐果期中度调亏处理均显著($P < 0.05$)抑制了枣树的新梢生长, 与对照相比, 2009、2010 和 2011 年新梢长度的降幅分别达到 28.8%、35.6%、32.5% 和 6.5%、9.9%、7.2%。T1 处理的产量较对照减少 2.6%, 但各项品质指标的变化幅度不大; T2 处理的产量较对照减少 14.0%, 但对果实可溶性固形物的提高效果最为显著, 与对照相比提高 25.3%; T3 处理的产量较对照降低 12.6%, 单果体积降低 18.7%, 单果质量降低 16.9%, 果实含水率降低 8.0%, 果实硬度提高 11.0%, 可溶性蛋白减少 16.3%, 且差异均达显著水平; T4 处理的产量较对照提高 3.9%, 并且在降低坏果率和有机酸含量、提高果实维生素 C 含量等方面效果显著, 其中坏果率和有机酸含量分别较对照降低 19.7% 和 23.9%, 果实维生素 C 含量较对照升高 20.9%。【结论】综合考量各调亏灌溉处理的影响, 确定果实成熟期和开花坐果期分别为黄土高原地区枣树最适宜和最不适宜调亏灌溉的生育阶段。

【关键词】 枣树; 调亏灌溉; 黄土高原; 营养生长; 产量与品质

【中图分类号】 S665.107⁺.1

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2016)06-0181-08

Effect of regulated deficit irrigation on growth, fruit quality and yield of jujubes in the Loess Plateau

HU Yong-xiang^{1,2}, LI Yuan-nong², ZHANG Ying³, JIANG Geng-min⁴

(1 College of Land Resources and Urban-Rural Planning, Shijiazhuang University of Economics, Shijiazhuang, Hebei 050031, China;

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

3 School of Foreign Language, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang, Hebei 050018, China;

4 Academy of Civil Engineering & Architecture, Nanyang Normal University, Nanyang, Henan 473061, China)

Abstract: 【Objective】 This paper studied the effect of regulated deficit irrigation on growth, fruit quantity and quality of jujubes in the Loess Plateau to explore the suitability of regulated deficit irrigation

【收稿日期】 2014-10-24

【基金项目】 国家高技术研究发展计划(863 计划)项目(SQ2010AA1000690006);“十一五”国家科技支撑计划项目(2007BAD88B05);河北省社会科学基金项目(HB15GL037);石家庄经济学院博士科研启动基金项目(BQ201513)

【作者简介】 胡永翔(1984—),男,河北石家庄人,讲师,博士,主要从事节水工程技术和 3S 技术应用研究。

E-mail: doctorhu110@163.com

【通信作者】 李援农(1962—),男,陕西大荔人,教授,博士生导师,主要从事节水工程技术和 3S 技术应用研究。

E-mail: liyuannong@163.com

at different growth stages. **【Method】** The regulated deficit irrigation experiment of jujubes was conducted during 2009—2011 in Mengcha field station, Mizhi, Shaanxi. There were five treatments: sufficient irrigation treatment (CK), moderate water deficit irrigation in sprout-leaf development period (T1), moderate water deficit irrigation in flowering and fruit-setting period (T2), moderate water deficit irrigation in fruit development period (T3), and severe water deficit irrigation in fruit mature period (T4). CK ensured that the water content was no less than 60% of the field capacity. Otherwise, a fixed irrigation of 30 mm was conducted. Moderate deficit irrigation was 15 mm. Severe deficit irrigation had no irrigation. During the experiment, soil moisture and shoot length were examined every 5 d. The yield and fruit quality index were examined after ripening. **【Result】** Moderate water deficit significantly ($P < 0.05$) reduced shoots growth of jujubes by 28.8% (2009), 35.6% (2010) and 32.5% (2011) in sprout-leaf development stage and 6.5% (2009), 9.9% (2010) and 7.2% (2011) in flowering and fruit-setting period. The yield under T1 was decreased by 2.6% compared to CK and quality indexes changed slightly. T2 decreased yield by 14.0% but significantly improved fruit soluble solid content by 25.3%. T3 significantly decreased yield, average fruit volume, average fruit mass, fruit water content, and soluble protein by 12.6%, 18.7%, 16.9%, 8.0%, and 16.3%, while increased fruit firmness by 11.0%. T4 increased yield and vitamin C content of fruit by 3.9% and 20.9% while it significantly reduced bad fruit rate and organic acid content by 19.7% and 23.9%. **【Conclusion】** Fruit mature period and fruit-setting period are the most suitable and unsuitable growth period for regulated deficit irrigation, respectively.

Key words: jujube; regulated deficit irrigation; Loess Plateau; vegetative growth; yield and quality

黄土高原半干旱区生态环境脆弱,水资源短缺是该区植被恢复及水土流失治理的主要制约因素^[1]。枣树是黄土高原地区大面积推广种植的重要经济林树种,但由于水资源的匮乏,其产量和品质均受到很大影响^[2]。在区域水资源可持续发展的前提下,水资源高效利用是解决当前水资源紧缺的首要途径。因此,大力发展节水灌溉,推广科学合理的灌水新方法和新技术,已成为黄土高原地区农业发展的必然要求^[3-4]。

调亏灌溉出现于 20 世纪中后期,其后迅速成为一种受到广泛认可的果园节水灌溉制度,现已在世界范围内的多种果树上得到成功应用。调亏灌溉的主要功用是在果树特定生育期进行亏水灌溉以提高水分利用效率,同时最大限度地减少水分亏缺对作物产量与经济价值的影响,通过水分胁迫后的补偿效应来提高产量与品质^[5-6]。Dell'Amico 等^[7]于橄榄果树核硬化期进行轻度调亏,研究了轻度亏水环境下叶片与果实之间的水分关系。Costello 等^[8]对加利福尼亚中部赤霞珠葡萄的研究表明,调亏灌溉会降低产量但不会显著降低品质,对果实染色度的影响尚不确定。Cotrim 等^[9]对芒果树全生育期进行了调亏灌溉,结果表明在适当生育期进行调亏灌溉可以抑制营养生长,提高了水分利用效率,且对芒果树的产量和品质均未造成显著性损失。Perez-

Pastor 等^[10]和 Perez-Sarmiento 等^[11]对杏树的调亏灌溉制度进行了全面系统的研究,表明特定生育期的调亏灌溉可以改善杏树果实的口味和颜色,节水效果十分显著,但会造成果实直径的减小,推荐在干旱和半干旱区广泛使用。崔宁博等^[12]对温室内枣树进行的机理性研究表明,水分亏缺的枣树果实具有较高的 Vc 和可溶性固形物含量,且多数处理的产量都有一定程度的提高。虽然目前调亏灌溉制度在应用上已经相对成熟,但是针对特定区域珍稀果品的研究还存在许多空白^[13]。黄土高原在世界范围内是一个十分特殊的地理区域,该地区枣树的生长规律与其他地区迥异,而枣树是当地主要的经济作物之一,因此对其调亏灌溉制度进行针对性、系统性的研究具有十分重要的实际意义。为此,本试验对黄土高原地区不同生育期调亏灌溉条件下滴灌枣树的新梢生长、果实品质与产量进行了分析,以期揭示枣树不同生育阶段进行调亏灌溉的适宜度,为水分利用效率更高的黄土高原地区枣树灌溉制度的制定提供可靠的理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验地基本情况与试验设计

试验于 2009 年 4—9 月、2010 年 5—10 月和 2011 年的 5—10 月在陕西省米脂县孟岔试验站内

进行。试验站地理位置为东经 109°49′~110°29′,北纬 37°39′~38°05′,属半干旱大陆性季风气候,降水较少,蒸发强烈,自然灾害频繁。年平均气温 8.5℃,极端最高气温 39.2℃,极端最低气温 -25.5℃,无霜期 162 d;多年平均降水量 451.6 mm,降水主要集中在 7、8、9 月,约占全年降水量的 50%~60%;多年平均水面蒸发量 1 574 mm,干旱指数 3.8,是典型的黄土高原干旱半干旱灌区。试验区土壤以黄绵土为主,干容重 1.30 g/cm³,0~120 cm 土层土壤田间持水量为 30.16%(体积分数),凋萎含水率 10.53%。土壤有效 N、P、K 含量分别为 34.7, 2.90,101.9 mg/kg,有机质含量 2.1 g/kg,pH 值 8.6。

供试植物为 7 到 8 年生矮化密植梨枣,枣树株距×行距为 2 m×3 m,树形均一旦长势良好,供试枣树所在地地面坡度为 25°,灌水方式为滴灌。黄土高原区枣树的生育期可划分为 4 个生育阶段,即萌芽展叶期(P1)、开花坐果期(P2)、果实膨大期(P3)和果实成熟期(P4)。由于 2010 年陕北地区的气候较其他年份寒冷(4 月下旬还有降雪),所以枣树的生育期比通常滞后了约 8 d。试验设置 3 个灌水量水平,分别是充分灌溉(对照)、中度调亏和重度调

亏。通常认为土壤含水量在田间持水量的 60%以上时,不影响作物生长。各水平的调亏程度由充分灌水的灌水定额控制:充分灌水的灌水定额为 30 mm,中度调亏(M)的灌水定额为充分灌水的 1/2,重度调亏(S)处理不灌水。综合考虑黄土高原地区枣树整个生育期的气候特点,除全生育期充分灌水的对照处理(CK)外,分别在萌芽展叶期、开花坐果期、果实膨大期和果实成熟期进行中度调亏(T1)、中度调亏(T2)、中度调亏(T3)和重度调亏(T4)处理,具体处理如表 1 所示。试验将充分灌溉的土壤含水率控制在 60%田间持水量以上,当土壤含水率低于 60%田间持水量时即视为受到水分胁迫。灌水时间由对照处理确定,当对照处理的土壤含水率接近 60%田间持水量时,各处理按灌水定额同时灌水。每个处理设置 3 个重复,共 15 个小区,每个小区均有 3 棵枣树。每个重复中均有 1 棵枣树用长 2 m、宽 2 m、高 1.6 m 的板箱(PVC 材料)圈起,形成隔离体,隔离体地下部分深度为 1.5 m。滴灌带的布设方式为 1 条毛管灌溉一个小区,枣树主干的左右两侧等间距安装 4 个滴头,滴头流量为 4 L/h,均为补偿式滴头。各处理修剪、施肥和病虫害防治措施相同,均统一按时令进行。

表 1 黄土高原地区枣树调亏灌溉试验设计

处理 Treatment	设计灌水定额/mm Designed irrigation quota			
	萌芽展叶期 Leaf-sprout period	开花坐果期 Flowering and fruit-setting period	果实膨大期 Fruit development period	果实成熟期 Fruit mature period
T1(M-P1)	15	30	30	30
T2(M-P2)	30	15	30	30
T3(M-P3)	30	30	15	30
T4(S-P4)	30	30	30	0
对照 CK	30	30	30	30

1.2 观测项目与方法

- 1.2.1 土壤水分 使用 Diviner 仪测定枣树根系层 0~120 cm 土层土壤含水率,每个小区安装 3 根监测管,分 12 层(每层 10 cm)采集数据,每 5 d 测定 1 次且在灌水前后加测,并用取土干燥法进行校核。
- 1.2.2 新梢长度观测 每棵枣树选取长势均匀且有代表性的 8 根新梢并标记,每 5 d 使用直尺测量 1 次新梢长度,并在花期记录所选枣吊的开花数。
- 1.2.3 果实产量与品质 果实完全成熟后进行采摘,对各处理的产量和结果数分别进行统计。采摘过程中,按照东南西北的相对位置将树体分成不同区域,并对每棵枣树相同区域中的果实分别取样,继而利用 4 分法随机选取测定样品,以消除人为因素

对测定结果的影响。果实硬度用硬度计测量;果实含水率采用烘干法测算;果实体积采用测量法,先用游标卡尺量出果实的纵径与横径,横径分别取果实上中下 3 个部位测量,将所测的 3 个值取平均数作为实际横径,使用公式 $V=\pi H(R/2)^2$ (其中 H 为纵径, R 为实际横径)计算果实体积(V)。对上述指标,每棵枣树取 20 个果实进行测定并取平均数,得到各处理的各项指标即每棵树对应指标的平均值。各处理分别取果实放置在简易低温设备内(10℃左右)储藏,20 d 后测定坏果率。实验室测定的品质指标包括有机酸含量、Vc 含量、可溶性蛋白含量和可溶性固形物含量,测定方法见文献[14]。

1.3 数据处理

使用统计分析软件 SPSS 19.0 对试验数据进行分析,选择 Duncan's 法进行处理间的差异显著性检验,检验水平 $P=0.05$ 。

2 结果与分析

2009 年枣树试验 4 个生育阶段的具体时间依次为萌芽展叶期:04-30—05-30,开花坐果期:05-31—07-10,果实膨大期:07-11—08-28,果实成熟期:08-29—09-30;2010 年依次为萌芽展叶期:05-10—06-10,开花坐果期:06-11—07-16,果实膨大期:07-17—09-04,果实成熟期:09-5—10-10;2011 年依次为萌芽展叶期:05-03—06-04,开花坐果期:06-05—07-13,果实膨大期:07-14—09-01,果实成熟期:09-02—10-03。

2.1 调亏灌溉对枣树新梢生长的影响

调亏灌溉对枣树生长发育状况的影响主要体现在新梢长度上^[15],图 1 为调亏灌溉枣树新梢生长的测量结果。由图 1 可知,枣树的新梢在 5—6 月间生长速度较快,此时段基本处于枣树的萌芽展叶期和

开花坐果期。由于陕北黄土高原地区 5 月多大风且干旱少雨,使枣树新梢的生长在萌芽展叶前期受到一些影响,新梢长度增长较缓;随着温度的逐渐增高,枣树在萌芽展叶后期与开花坐果期进入快速增长时期,新梢长度增长较快;在果实膨大前期前后,新梢增速放缓。其后新梢开始二次生长,新梢也进入了二次发展期,但增速远逊于前一增长期。在果实成熟期前后,新梢基本停止生长,其长度达到峰值,此后一直到落叶期前均变化不大。值得注意的是,2009 和 2011 年枣树新梢的二次生长期相对比较明显,新梢生长曲线在 05-30(2009 年)和 06-05(2011 年)左右有较明显的停滞过程,而在 2010 年的新梢生长曲线图中此过程并不明显。经过综合考虑,认为主要原因在于较高的土壤水分对枣树新梢生长的促进作用,2009 年 4—5 月持续干旱,属于典型枯水年,而 2010 年总体上属于雨水较丰沛的丰水年,但由于 2010 年陕北地区的气候较往年寒冷,4 月仍然有降雪,直接导致枣树的生育期较 2009 年滞后了 10 d 以上,客观上压缩了供试枣树的萌芽展叶期和开花坐果期。

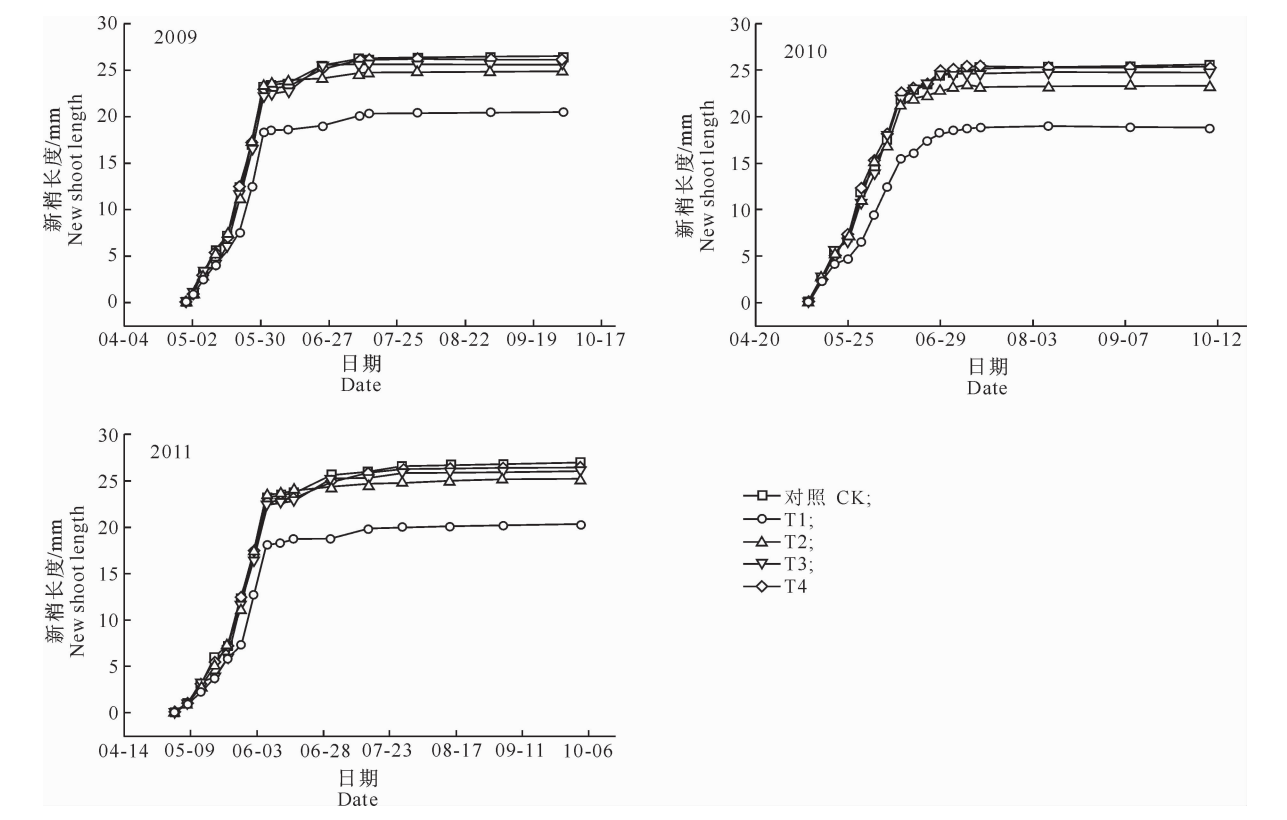


图 1 调亏灌溉对黄土高原地区枣树新梢生长的影响

Fig. 1 Effect of regulated deficit irrigation on shoot growth of jujube in the Loess Plateau

2009—2011 年枣树新梢最终长度数据反映的总体趋势大致相同(图 1),4 个调亏处理中,T1 和

T2 处理的新梢长度受调亏的影响较大,T3 和 T4 处理受到的影响较小。2009,2010 和 2011 年对照

组(充分灌水)的新梢最终长度较 T1 处理分别长 28.8%,35.6%和 32.5%,比 T2 处理分别长 6.5%,9.9%和 7.2%。对各处理的新梢最终长度进行差异显著性分析,结果显示,2009—2011 年 T1 和 T2 处理的新梢长度与对照组相比均有所减少,且 2009 和 2011 年的 T1 和 T2 处理与对照组相比存在显著差异($P<0.05$),而 3 个试验年中的 T3 和 T4 处理与对照组相比均无显著性差异。以上结果表明,若在枣树的萌芽展叶期和开花坐果期进行调亏会直接影响新梢的生长。除此以外,T1 与 T2 处理之间也存在显著性差异,T1 处理的新梢最终长度小于 T2;且在整个新梢生长过程中,T1 处理的生长受抑制程度均高于 T2 处理,即枣树新梢生长在萌芽展叶期的调亏敏感度高于开花坐果期。

2.2 调亏灌溉对枣果物理指标的影响

由表 2 可知,调亏灌溉对枣树单果体积和单果质量均有一定的影响,这与 Marshal 等^[16]的研究结果相似。差异显著性分析结果表明,2009—2011 年枣树单果体积和单果质量的变化规律基本一致,除

2010 年的单果质量外,T1、T2、T4 处理的单果体积和单果质量与对照处理相比均无显著差异,而 T3 处理的单果体积和单果质量均明显小于对照组,且均存在显著性差异($P<0.05$)。各调亏处理与对照组相比,2009—2011 年度 T1、T2、T3 和 T4 处理的单果体积(3 年均值)和单果质量(3 年均值)分别减少了 3.7%,4.6%,18.7%,8.1%和 5.3%,4.9%,16.9%,8.8%。这表明在枣树果实膨大期进行中度调亏会显著影响果实的大小,主要原因是水分亏缺会抑制枣的果肉细胞发育和分裂。可以预见,如果在该生育期进行重度调亏处理,单果体积和单果质量将降低到难以接受的程度,故不推荐在该生育期进行调亏灌溉。其他 3 个生育期的单果质量与单果体积对水分亏缺的敏感性相对较弱,其中以开花坐果期中度调亏处理(T2)对单果质量的影响最小,这一方面是因为 T2 处理在进入果实膨大期后产生补偿效应^[17],另一方面是因为水分亏缺使该生育期出现的一部分花蕾凋萎和幼果发育不全,反而使保留下来的果实在下一生育阶段的营养供应更加充足。

表 2 调亏灌溉对黄土高原地区枣果物理指标的影响

Table 2 Effect of regulated deficit irrigation on physical indicators of jujube fruit in the Loess Plateau

年份 Year	处理 Treatment	单果体积/cm ³ Volume	单果质量/g Quantity	果实含水率/% Water content rate	坏果率/% Bad fruit rate	硬度/ (N·cm ⁻²) Hardness
2009	T1	45.41 a	28.88 ab	76.79 a	22.5 a	3.51 b
	T2	46.51 a	29.04 ab	75.32 a	20.5 a	3.87 ab
	T3	39.99 b	25.17 b	70.81 b	20.0 ab	3.94 a
	T4	44.67 ab	27.71 ab	75.63 a	18.0 b	3.82 ab
	对照 CK	49.18 a	30.31 a	76.55 a	22.0 a	3.58 b
2010	T1	44.34 a	25.93 b	70.33 b	19.5 a	3.91 ab
	T2	43.46 a	27.84 a	75.48 a	18.5 ab	3.75 b
	T3	35.87 b	23.22 b	68.03 c	19.0 a	4.08 a
	T4	41.68 a	24.73 b	68.56 c	16.0 b	3.98 ab
	对照 CK	45.24 a	27.76 a	76.17 a	20.5 a	3.69 b
2011	T1	47.72 a	29.63 a	75.37 a	21.5 a	3.66 b
	T2	46.32 a	27.97 ab	73.84 b	20.5 a	3.92 ab
	T3	40.22 b	25.77 b	69.92 c	20.5 a	4.16 a
	T4	44.92 a	28.91 a	71.73 c	17.0 b	3.95 a
	对照 CK	48.37 a	31.12 a	75.65 a	21.0 a	3.70 b

表 2 显示,不同生育期的调亏灌溉对枣果实含水率有不同影响。T3、T4 处理的果实含水率分别较对照下降了 8.0%和 4.9%(3 年均值),并且 T3 处理的果实含水率在 3 个试验年中均与对照处理存在显著性差异。这说明黄土高原地区枣树在果实膨大期和果实成熟期受到水分胁迫时,果实含水率受到的影响相对较大,因为 T4 处理的调亏程度要高于 T3 处理但降幅却较小,可见在果实含水率方面,果实膨大期对水分胁迫的敏感性强于果实成熟期。

T1 处理果实含水率在 2010 年试验中与对照组相比差异显著,在 2009 和 2011 年却不存在显著性差异,T2 处理果实含水率在 2011 年的试验中与对照组相比差异显著,但在 2009 和 2010 年不存在显著性差异,表明萌芽展叶期和开花坐果期调亏灌溉对枣果实含水率降低也有一定的作用,但影响程度明显低于果实膨大期和果实成熟期调亏灌溉。

对 2009—2011 年度的坏果率与硬度数据(表 2)进行分析可知,枣树果实成熟期重度调亏处理

(T4)可显著降低坏果率,T4 处理的坏果率(3 年均值)与对照组相比平均降低了 19.7%,而其他处理降低坏果率的效果均不显著。在果实硬度方面,除 T1 处理外,其他各处理均能在一定程度上提高果实硬度,其中果实膨大期中度调亏处理(T3)可使果实硬度显著提高约 11.0%(3 年均值),而其他处理效果均不显著。

2.3 调亏灌溉对枣果品质和产量的影响

由表 3 可知,各调亏处理均能降低枣的有机酸含量(与对照组相比),但降幅有较大差异,其中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)均使枣的有机酸含量显著降低($P<0.05$),平均降幅达到 15.2%和 23.9%;而另外 2 个处理与对照组相比只有少数年份出现了显著性差异,总体对有机酸含量的影响相对较小。枣维生素 C 含量的测定结果显示,各调亏处理在 3 个年份均提高了枣果的维生素 C 含量,其中以果实成熟期重度调亏处理(T4)和果实膨大期中度调亏处理(T3)的影响较为显著($P<0.05$),其中 T3 处理出现了 2010 和 2011 年的最大值 3.89 和 4.01 mg/g,T4 处

理出现了 2009 年的最大值 4.03 mg/g,T3 和 T4 处理与对照组相比分别提高了 19.8%和 20.9%(3 年均值)。各调亏处理的可溶性蛋白与对照组相比平均下降了 1.3%(T1)、7.1%(T2)、16.3%(T3)和 9.6%(T4),其中只有萌芽展叶期中度调亏处理(T1)不存在显著差异,其他 3 个处理均显著降低了枣的可溶性蛋白含量,这说明枣树中后期的调亏灌溉对枣的可溶性蛋白积累存在一定的不良影响。4 个调亏处理均显著($P<0.05$)提高了枣果实中的可溶性固形物含量,与对照相比 3 年中的平均增幅为 9.9%(T1)、25.3%(T2)、15.9%(T3)和 21.2%(T4),较好地改善了枣的口感。从增幅上看,开花坐果期中度调亏处理(T2)和果实成熟期重度调亏处理(T4)对枣可溶性固形物含量的提高效果较好,但考虑到 T2 处理减产较大,故 T4 处理应为较优选择。综合分析各处理对果实品质的影响可知,调亏灌溉降低了果实的有机酸和可溶性蛋白含量,提高了维生素 C 和可溶性固形物含量,基本上保持或提高了黄土高原地区枣树的果实品质。

表 3 调亏灌溉对黄土高原地区枣果品质指标和产量的影响

Table 3 Effect of regulated deficit irrigation on quality and yield of jujube fruit in the Loess Plateau

年份 Year	处理 Treatment	有机酸/% Organic acid	维生素 C/ (mg·g ⁻¹) Vitamin C	可溶性蛋白/ (mg·g ⁻¹) Soluble protein	可溶性固形物/% Soluble solids	产量/ (kg·hm ⁻²) Yield
2009	T1	0.281 a	3.41 b	2.11 a	12.5 b	21 052.3 b
	T2	0.283 a	3.39 b	1.92 b	14.6 a	18 574.7 c
	T3	0.232 b	3.92 a	1.87 b	13.2 b	18 677.3 c
	T4	0.201 c	4.03 a	1.94 b	14.1 a	22 176.5 a
	对照	0.294 a	3.34 b	2.18 a	11.4 c	21 605.0 ab
2010	T1	0.287 b	3.16 c	2.35 a	15.2 b	17 819.5 b
	T2	0.303 ab	3.27 c	2.22 ab	16.3 a	15 503.3 c
	T3	0.278 b	3.89 a	1.98 c	16.5 a	15 878.4 c
	T4	0.251 c	3.75 b	2.14 b	15.7 ab	18 976.5 a
	对照	0.311 a	3.06 c	2.34 a	13.3 c	18 132.2 b
2011	T1	0.274 b	3.53 b	2.21 a	13.2 b	18 656.9 b
	T2	0.295 a	3.51 b	2.14 a	15.7 a	16 734.8 c
	T3	0.259 bc	4.01 a	1.81 c	13.4 b	17 087.2 c
	T4	0.238 c	3.92 a	2.03 b	15.3 a	20 187.4 a
	对照 CK	0.302 a	3.47 b	2.24 a	12.5 c	19 332.5 a

如表 3 所示,各调亏灌溉处理对枣树产量有不同的影响。萌芽展叶期中度调亏处理(T1)在 2009 和 2010 年的产量均小于对照,但差异均不显著,而在 2011 年显著减少了 3.5%,此生育期处于枣树生长的初始阶段,该时段内平均温度很低且常存在大风天气,2010 年此生育期甚至出现了降雪,枣树的叶面积指数处于较低水平。此生育期调亏灌溉既抑制了枝条的营养生长,同样也抑制了枣吊的生长,但

由于此阶段的枣树生长尚未进入关键期且调亏后存在补偿效应,故产量受到的影响相对较小。开花坐果期中度调亏处理(T2)的产量与对照组相比有显著减少($P<0.05$),3 年中分别降低了 14.0%,14.5%和 13.4%,均为所在年度的最大降幅。由于 T2 处理是在开花坐果期进行中度水分亏缺,亏水程度相对不高但产量降幅较大,表明开花坐果期对枣树水分亏缺极为敏感,为枣生长的关键时期,若在本

生育期进行重度调亏,必定会导致产量的进一步下降,从而直接降低枣树种植的经济收益。与对照组相比,3年中果实膨大期中度调亏处理(T3)均显著($P<0.05$)降低了产量,3年的降幅分别为13.6%、12.4%和11.6%,这主要是因为该阶段的水分亏缺抑制了枣树的生殖生长,减小了单果体积和单果质量,从而导致产量降低,这说明果实膨大期也属于水分亏缺敏感期,是枣树生长的关键期。虽然T3处理和T2处理的产量之间不存在显著性差异($P<0.05$),但考虑到果实膨大期的气候远较开花坐果期湿润得多,故认为果实膨大期的调亏敏感度稍弱于开花坐果期。3个试验年中果实成熟期重度调亏处理(T4)的产量均高于对照,分别较对照增加了2.6%、4.7%和4.4%,其中2010年度的产量较对照显著($P<0.05$)提高。作为4个处理中惟一一个提高了产量的处理,其主要原因是黄土高原地区在该生育期内进入雨季,在2009年度该生育期内甚至存在连续10 d左右的连阴雨,而水分达到一定程度就会造成裂果和保存困难,果实膨大期的重度调亏处理有效地抑制了裂果,降低了坏果率,从而提高了产量。

通过对各处理果实品质和产量的综合对比与分析,可知开花坐果期与果实膨大期为枣树生长的关键时期,不适宜或只适宜进行轻度调亏灌溉,否则会显著降低枣树产量,虽然对果实品质有一定的提高,但从经济效益上看显然得不偿失。考虑到开花坐果期中度调亏处理(T2)的减产幅度最大,故确定开花坐果期为黄土高原地区枣树最不宜进行调亏灌溉的生育阶段;而萌芽展叶期和果实成熟期的水分胁迫并未显著降低产量,且果实成熟期的调亏处理不仅增加了产量,还提高了果实的多项品质指标,是较适宜进行调亏灌溉的生育时期。

3 结 论

1)特定生育期的调亏灌溉对黄土高原地区枣树的新梢生长有一定影响,其中萌芽展叶期和开花坐果期中度调亏处理的新梢长度与对照组相比显著($P<0.05$)降低;与对照相比,2009、2010和2011年T1处理的降幅分别达到28.8%、35.6%和32.5%;T2处理的降幅分别达到26.5%、9.9%和7.2%。而果实膨大期和果实成熟期调亏灌溉对新梢长度并无显著影响。

2)调亏灌溉对枣果实的物理指标有一定影响,单果体积和单果质量与对照相比有一定降低,但幅

度不大,只有果实膨大期中度调亏处理(T3)使单果体积和单果质量相比对照显著降低。调亏灌溉可以降低枣果实的含水率、坏果率,提高果实硬度,其中果实膨大期中度调亏处理(T3)降低果实含水率和提高果实硬度的效果最为显著,与对照相比分别降低8.0%和提高11.0%(3年均值);果实成熟期重度调亏处理降低坏果率的效果最为显著,3年中平均降低19.7%。

3)调亏灌溉对枣果实的品质指标有保持和提高效果,其中果实成熟期重度调亏处理(T4)对枣有机酸含量的降低效果最为显著($P<0.05$),平均降幅达23.9%;对枣果实维生素C含量有显著的提高作用,平均增幅为20.9%。开花坐果期中度调亏处理(T2)和果实成熟期重度调亏处理(T4)对果实可溶性固形物的提高效果均极为显著,平均增幅分别达25.3%和21.2%。而果实膨大期中度调亏处理(T3)对可溶性蛋白的抑制作用最为显著,3年平均降低了16.3%。

4)调亏灌溉对枣树产量有较显著影响。T1、T2、T3和T4 4个调亏处理的产量与对照相比平均变化幅度分别为-2.6%、-14.0%、-12.6%和3.9%。其中开花坐果期中度调亏处理(T2)和果实膨大期中度调亏处理(T3)的产量降低较为显著($P<0.05$)。综合考虑各处理对枣果实物理指标、品质指标和产量的影响,可以确定开花坐果期和果实膨大期为枣树生长的关键期,若此时期受到水分亏缺处理会严重影响产量,其中以开花坐果期最不宜进行调亏灌溉;而果实成熟期调亏灌溉既提高了果实品质又增加了产量,可以达到产量、品质兼顾的良好效果,是陕北枣树较为适宜的调亏灌溉时期。

[参考文献]

- [1] 吴普特,高建恩.黄土高原水土保持与雨水资源化[J].中国水土保持科学,2008,6(1):107-111.
Wu P T, Gao J E. Soil and water conservation and rainwater resource utilization in the Loess Plateau [J]. Science of Soil and Water Conservation, 2008, 6(1): 107-111. (in Chinese)
- [2] 张文辉,刘国斌.黄土高原植被生态恢复评价、问题与对策[J].林业科学,2007,43(1):102-106.
Zhang W H, Liu G B. Review on vegetation restoration in Loess Plateau [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2007, 43(1): 102-106. (in Chinese)
- [3] 康绍忠,蔡焕杰,冯绍元.现代农业与生态节水的技术创新与未来研究重点[J].农业工程学报,2004,20(1):1-6.
Kang S Z, Cai H J, Feng S Y. Technique innovation and research fields of modern agricultural and ecological water-saving

in the future [J]. Transactions of the CSAE, 2004, 20(1): 1-6. (in Chinese)

[4] 山 仑. 我国节水农业发展中的科技问题 [J]. 干旱地区农业研究, 2003, 21(1): 1-5.
Shan L. Issues of science and technology on water saving agricultural development in China [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2003, 21(1): 1-5. (in Chinese)

[5] 于 城. 调亏灌溉在农业中的应用 [J]. 农业工程, 2012, 2(4): 42-46.
Yu C. Application of regulated deficit irrigation on agricultural production [J]. Agricultural Engineering, 2012, 2(4): 42-46. (in Chinese)

[6] 孙宏勇, 张喜英, 邵立威. 调亏灌溉在果树上应用的研究进展 [J]. 中国生态农业学报, 2009, 17(6): 1288-1291.
Sun H Y, Zhang X Y, Shao L W. Regulated deficit irrigation and its application on fruit trees [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2009, 17(6): 1288-1291. (in Chinese)

[7] Dell' Amico J, Moriana A, Corell M, et al. Low water stress conditions in table olive trees (*Olea europaea* L.) during pit hardening produced a different response of fruit and leaf water relations [J]. Agricultural Water Management, 2012, 114(S1): 11-14.

[8] Costello M J, Patterson W K. Regulated deficit irrigation effect on yield and wine color of cabernet sauvignon in central California [J]. Hortscience, 2012, 47(10): 1520-1524.

[9] Cotrim C E, Coelho M A, Coelho E F, et al. Regulated deficit irrigation and tommey atkins mango orchard productivity under microsprinkling in brazilian semi arid [J]. Engenharia Agricola, 2011, 31(6): 1052-1063.

[10] Perez-Pastor A, Domingo R, Torrecillas A, et al. Response of apricot trees to deficit irrigation strategies [J]. Irrigation Science, 2009, 27(3): 231-242.

[11] Perez-Sarmiento F, Alcobendas R, Mounzer O, et al. Effects of regulated deficit irrigation on physiology and fruit quality in apricot trees [J]. Spanish Journal of Agricultural Research, 2010, 8(2): 86-94.

[12] 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 N B, Du T S, Li Z T, 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)

[13] 武 阳, 王 伟, 雷廷武, 等. 调亏灌溉对滴灌成龄香梨果树生长及果实产量的影响 [J]. 农业工程学报, 2012, 28(11): 118-124.
Wu Y, Wang W, Lei T W, et al. Impact of regulated deficit irrigation on growth and fruit yield of mature fragrant pear trees under trickle irrigation [J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(11): 118-124. (in Chinese)

[14] 高俊凤. 植物生理学实验指导 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
Gao J F. Plant physiology experimental guidance [M]. Beijing: Higher Education Press, 2006. (in Chinese)

[15] 白 麟, 李援农, 曹瑞芳. 亏水灌溉对开花坐果期梨枣树生长的影响 [J]. 干旱地区农业研究, 2012, 30(2): 84-87.
Bai L, Li Y N, Cao R F. Effects of deficit irrigation on growth of pear-jujube tree in flowering to fruit-setting stage [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2012, 30(2): 84-87. (in Chinese)

[16] Marshal J, Rapoport H F, Manrique T, et al. Pear fruit growth under regulated deficit irrigation in container-grown trees [J]. Scientia Horticulture, 2000, 85(4): 243-259.

[17] 胡田田, 康绍忠. 植物抗旱性中的补偿效应及其在农业节水中的应用 [J]. 生态学报, 2005, 25(4): 885-891.
Hu T T, Kang S Z. The compensatory effect in drought resistance of plants and its application in water-saving agriculture [J]. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(4): 885-891. (in Chinese)