

引用格式: 赵爽, 马子清, 李雪薇, 等. 不同果实生长期亏缺灌溉对渭北苹果生长、品质及水分利用效率的影响[J]. 西北植物学报, 2024, 44(3): 0345-0352. [ZHAO S, MA Z Q, LI X W, et al. Effect of water deficiency on growth, qualities, and water use efficiency of apple in Weibei area of Shaanxi in different fruit developmental periods[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2024, 44(3): 0345-0352.] DOI:10.7606/j.issn.1000-4025.20220702

不同果实生长期亏缺灌溉对渭北苹果生长、品质及水分利用效率的影响

赵爽^{1,2}, 马子清¹, 李雪薇¹, 李文强³, 管清美^{1*}

(1 西北农林科技大学 园艺学院, 陕西杨凌 712100; 2 辽宁省果树科学研究所, 辽宁营口 115009; 3 西安果友协会, 陕西乾县 713300)

摘要 【目的】探索节水、控水方式调控苹果水分高效利用效率的机制, 优化渭北苹果主产区节水、丰产和增收的管理方式。【方法】以陕西省咸阳市乾县铁佛镇果友协会试验站 8 年生“烟富 3 号/T337”苹果树为试材, 设置充分灌溉(灌溉后土壤相对含水量为 75%)和轻度亏缺灌溉(灌溉后土壤相对含水量为 50%)2 个灌水水平, 组成果实生长期和膨大期均充分灌溉(CK)、果实生长期和膨大期均轻度亏缺灌溉(W1)、果实生长期轻度亏缺灌溉和膨大期充分灌溉(W2)及果实生长期充分灌溉和膨大期轻度亏缺灌溉(W3)4 个灌溉模式处理, 测定春梢生长指标、果实品质指标和果实产量指标, 计算水分利用效率、灌溉水利用效率、果实综合评价满意度, 以明确最佳的亏缺灌溉方式。【结果】(1) 苹果新梢长度及叶片叶绿素相对含量(SPAD)在各处理间无显著性差异, 而其春梢直径在各处理下显著降低。(2) 与 CK 相比, 单果质量在 W1 处理下显著降低了 10.3%, 果实可滴定酸含量在 W2 处理下显著降低 14.7%, 果形指数和可溶性固形物含量在 3 种水分亏缺灌溉处理下均无显著变化。(3) W1 处理能显著提高果皮黄色值 b^* , W2 处理能显著提高果皮色泽饱和度 C^* , 而各亏缺灌溉处理对果皮亮度值 L^* 和红绿值 a^* 均无显著影响。(4) 与 CK 相比, 果实产量在各亏缺灌溉处理下降低 13.4%~24.7%, 但仅 W1 处理降幅达显著水平; 果树灌溉水利用效率在各亏缺灌溉处理均不同程度提高, 但仅 W1 处理显著提高了 38.0%; 果树耗水量和水分利用效率在各亏缺灌溉处理下无显著性差异。(4) 果实综合评价满意度表现为 $W2 > CK > W3(W1)$ 。【结论】陕西渭北地区苹果在生长期轻度亏缺灌溉和膨大期充分灌溉(W2)模式下果实的综合评价满意度最高, 果实产量、单果重无显著变化, 而果实品质较优, 果树水分利用效率较高。

关键词 果实生育期; 水分亏缺; 苹果; 品质; 水分利用效率

中图分类号 Q945; S607⁺.1; S661.1 **文献标志码** A

Effect of water deficiency on growth, qualities, and water use efficiency of apple in Weibei area of Shaanxi in different fruit developmental periods

ZHAO Shuang^{1,2}, MA Ziqing¹, LI Xuewei¹, LI Wenqiang³, GUAN Qingmei^{1*}

(1 College of Horticulture, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2 Liaoning Institute of Pomology, Yingkou, Liaoning 115009, China; 3 Xi'an Fruit Friends Association, Qianxian, Shaanxi 713300, China)

Abstract [Objective] The study aims to explore the mechanism of water saving and water control methods

收稿日期: 2022-08-15; 修改稿收到日期: 2023-12-12

基金项目: 国家重点研发计划项目(2022YFD1602107, 2019YDF1000100)

作者简介: 赵爽(1994—), 女, 硕士, 主要从事果树抗旱与水分利用效率研究。E-mail: 1583059040@qq.com

* 通信作者: 管清美, 博士, 教授, 主要从事苹果耐非生物逆境的分子与生理机制等研究。E-mail: qguan@nwsuaf.edu.cn

to regulate water use efficiency of apple and to optimize the management methods of water saving, high yield, and income-increase in Weibei apple producing area. [Methods] The eight-year-old ‘Yanfu 3/T337’ apple tree was selected from the experimental station of Xi’an Fruit Friend Association located at Tiefu town in the Qian County of Xianyang City, Shaanxi Province. Two irrigation levels were arranged: full irrigation (relative water content after irrigation was 75%) and slight deficit irrigation (relative water content after irrigation was 50%). There were four irrigation modes: Full irrigation at both fruit growing and expanding stages (CK), light deficit irrigation at both fruit growing and expanding stages (W1), light deficit irrigation at fruit growing and full irrigation at expanding stages (W2), and full irrigation at fruit growing and light deficit irrigation at expanding stages (W3). In order to determine the best deficit irrigation method, spring shoot growth index, fruit quality index, and fruit yield index were determined, and water use efficiency, irrigation water use efficiency, and fruit comprehensive evaluation satisfaction were calculated. [Results] (1) There were no significant differences in shoot length and leaf chlorophyll relative content (SPAD) among different irrigation modes, but the diameter of spring shoot was decreased significantly under deficit irrigation. (2) Compared with CK, the single fruit mass was significantly reduced by 10.3% under W1 treatment, the titrable acid content of fruit was significantly reduced by 14.7% under W2 treatment, and the fruit shape index and soluble solid content were not changed under the three water deficit treatments. (3) W1 treatment significantly increased the peel yellow value b^* , and W2 treatment significantly increased the peel color saturation C^* , but deficit treatment had no effect on the peel brightness value L^* and red green value a^* . (4) Compared with CK, fruit yield was decreased by 13.4%–24.7% under each treatment, but only W1 treatment reached a significant level. The fruit tree water use efficiency was increased in different degrees in each treatment, but only W1 treatment was significantly increased by 38.0%. There was no significant difference in water consumption and water use efficiency of fruit trees under each treatment. The satisfaction of fruit comprehensive evaluation was $W2 > CK > W3$ (W1). [Conclusion] The comprehensive evaluation satisfaction of apples in Weibei area of Shaanxi Province was the highest under mild deficit in growth period and full irrigation in expansion period (W2). There was no significant change in fruit yield and single fruit mass, but fruit quality was better and water use efficiency of fruit trees was higher.

Key words fruit growth stage; water deficit; apple; quality; water use efficiency

中国是世界苹果生产大国之一,栽培面积和产量均占全球的50%以上^[1]。陕西尤其是渭北地区,凭借光照充足、昼夜温差较大、土壤富含多种微量元素等独特优越的地理环境和自然气候,成为联合国粮农组织认定的世界苹果最佳优生区之一^[2]。而渭北旱塬地区降雨特征大部分表现为冬、春两季降水偏少,春末及夏初干旱,汛期雨量集中在7—9月,导致自然降雨与苹果需水的关键时期不相吻合。因此,加强水分管理是苹果丰产壮树优质的关键,适宜的果园水分控制也显得极其重要^[3-5]。前人就水分亏缺对果树及蔬菜产量、水分利用效率的影响研究较多^[6-11],但在不同种类果蔬、不同地区的研究结果不尽相同。例如,柑橘果实膨大期轻度亏水处理产量较对照降低3.8%,而其水分利用效率却提高5.0%^[12]。陕北黄土高原地区的山地苹果在大田涌泉根灌条件下,开花坐果期中度水分亏缺时苹果树生长、产量、品质及水分利用效率(WUE)均达到较高水平^[13]。柑橘^[14]、甜樱桃^[15]以及枇杷^[16]在水分亏缺条件下

不会导致果树产量和果实品质降低,反而可以提高水分利用效率。但由于果树的生长周期较长,受气候变化、地理环境、品种的影响较大,在水分调控的掌握上存在较大难度,目前将果树、作物的不同生育时期亏水灌溉与产量、水分利用效率相结合的研究较少。

渭北地区是中国典型的半旱作区,苹果是当地主要果树,近年来亏水灌溉作为节水增产的关键技术在果树、作物上得到大面积推广应用,但对于不同生育时期亏水灌溉的研究主要集中在作物方面。因此,明确不同生育时期亏水灌溉在果树节水的同时能否保持苹果的高产、优质具有重要意义。本研究以陕西渭北地‘烟富3号/T337’苹果品种为试验材料,对其进行不同果实生长时期的不同水分亏缺处理,考察苹果春梢生长、果实品质、产量及水分利用效率的响应规律,从而探索节水、控水方式调控苹果水分高效利用的机制,总结可配套于不同果实生长时期的灌水技术,以期优化该区果农节水、丰产和

增收的管理方式提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验区概况及材料

试验在陕西省咸阳市乾县铁佛镇果友协会试验站进行,于2021年3月花芽萌发开始至11月果树采收完结束。2021年经气象局监测统计,有效降雨

次数共21次,总有效降雨量为613.5 mm(表1)。期间降雨大多发生在苹果果实成熟期,占全生育期有效降雨量的57.8%。该园区0—60 cm土壤平均有机质含量为11.7 g/kg,土壤容重为1.3 g/cm³,田间持水量为33.3%。园区果树南北向栽植,行距为4.0 m,株距为1.0 m。试材为树龄8年生的‘烟富3号/T337’苹果树,采用矮化宽行密植模式栽植。

表1 苹果生育期有效降雨分布

Table 1 Effective precipitation distribution during fruit growth of apple

生长阶段 Growth stage	时间 Time	有效降雨次数 Number of effective rainfall events	有效降雨量 Effective precipitation/mm
果实生长期 Fruit growth period	5月初至6月底 Early May-Late June	4	107.9
果实膨大期 Fruit expanding period	7月初至8月底 Early July-Late August	5	151.2
果实成熟期 Fruit maturing period	9月初至10月底 Early September-Late October	12	354.4
果实全生育期 Whole fruit growth season	5月初至10月底 Early May-Late October	21	613.5

1.2 试验设计

共采用充分灌溉(灌水后土壤含水量为田间持水量75%)和轻度亏缺灌溉(灌水后土壤含水量为田间持水量50%)2种灌水方式,同时灌溉时期分为果实生长期、果实膨大期2个时期,从而依据灌溉方式和时期共组成4种不同控水处理:CK,果实生长期和果实膨大期均充分灌溉;W1,果实生长期和果实膨大期均轻度亏缺灌溉;W2,果实生长期轻度亏缺灌溉和果实膨大期充分灌溉;W3,果实生长期充分灌溉和果实膨大期轻度亏缺灌溉。每个处理组包括6棵苹果树,每个处理共3次重复,采用随机区组设计。在树冠的外围挖1圈沟渠,深为1.5 m,宽为0.3 m,覆盖透明防雨塑料薄膜,最大限度地减少外部小雨对本试验的影响。在1周以上没有有效降雨的时段以漫灌方式灌水,按照试验设计土壤含水量用水表来控制灌水量,各试验小区间设2.0 m宽的缓冲带,以防止各处理间水分互渗。

1.3 降雨量、土壤含水量及灌水量监测和计算^[17]

果友协会试验站建有全自动气象站,可准确监测当地降雨,单次降雨量小于10 mm的降雨被视为无效降雨。用土钻在苹果树冠正投影下随机采取土壤样本5份,分别于20 cm、40 cm、60 cm、80 cm处采取去除杂物后等质量的土作为土壤样本,并将土壤样本及时带回实验室,用烘干法测量土壤的平均含水量。

灌水量计算公式为:

$$M = 10\gamma H(\theta_w - \theta_0) \quad (1)$$

式中: M 为灌水量(mm); γ 为土壤计划湿润层内的土壤容重,测量值为1.3 g/cm³; H 为土壤计划湿润

层厚度,取0.8 m; θ_w 为设定灌溉水平下的土壤质量含水量; θ_0 为测定时的土壤质量含水量。

2021年各处理分别安排4次人工灌水,均安排在果实生长的前2个生育期进行,灌水时间分别为果实生长期(5月21日、6月27日),果实膨大期(7月24日、8月16日),总灌水量如表2所示。

表2 不同控水的灌溉时间和灌溉定额

Table 2 Irrigation time and irrigation quota for different water control

处理 Treatments	灌溉定额 Irrigation quota/(m ³ /hm ²)		
	果实生长期 Fruit growth period	果实膨大期 Fruit expanding period	总计 Total
CK	300	250	550
W1	150	150	300
W2	150	250	400
W3	300	150	450

1.4 测定项目及方法

1.4.1 新梢长度和粗度

自春梢生长到7月中旬,每月用游标卡尺和卷尺定期测量春梢的长度及粗度。测量时在每个处理的每个生物学重复里面选3棵树势一致的果树,在东南西北4个方向各随机挑2个1年生枝条测量;自第1次测量后做好标记,之后每次测量同一枝条并形成记录。

1.4.2 叶片叶绿素相对含量

在8月中旬亏水灌溉后的第7天,采用SPAD-502叶绿素仪测定叶片的叶绿素相对含量(SPAD),

测定的时间段为每天上午 9:00—12:00,测量时要注意避开叶片叶脉,测定结果以多次测量后的平均值为准。

1.4.3 果实产量及品质

(1)果实产量:于 10 月底果实成熟期,分处理测定单棵果树苹果产量,选取产量值平稳居中的 6~10 个值,统计单棵产量并计算每 1 hm² 产量。

(2)果实品质:分别从树冠的东西南北 4 个方向、上中下 3 层各选取几个成熟的果实,每个不同亏缺灌溉处理随机选取 20 个样品并在采收当天测定,未测完的果实放于冷库储存待测。其中,用 1/100 电子天平测单果质量,用显数游标卡尺测果实横纵径,用 PAL-1 型手持折光仪测定果实可溶性固形物含量,用 GMK-835F 型果实酸度仪测果实可滴定酸含量。

(3)果皮色泽参数:用 X-Rite 公司的 CR-100 型色差计测定果实色泽参数 L^* 、 a^* 和 b^* 。测定时沿每个果实的赤道部位测定 5 个值,由 a^* 、 b^* 计算 C^* (Chroma)^[18]。

$$C^* = [a^{*2} + b^{*2}]^{1/2} \quad (2)$$

式中: L^* 为亮度,绝对值越大,表示亮度越高; a^* 为红绿色度,其正值代表红色,负值代表绿色,绝对值越大表示颜色越深; b^* 为黄蓝色度,正值代表黄色,负值代表蓝色,绝对值越大,表示颜色越深; C^* 为色泽饱和度。

1.4.4 耗水量及水分利用效率计算

耗水量(C_{ET})依据土壤水分平衡方程^[19]计算:

$$C_{ET} = I + P + U - R - F \pm \Delta W \quad (3)$$

式中: I 为灌水量; P 为有效降水量,表示降雨量减去地表径流损失后的水量; U 为地下水补给量; R 为地表径流量; F 为深层渗漏量; ΔW 为阶段初、阶段末土壤贮水量的差值。各指标单位均为 mm。

土壤贮水量(W)计算式为:

$$W = 10H\gamma\theta_0 \quad (4)$$

式中: H 为土层厚度(cm); γ 为土壤干容重(1.3 g/cm³); θ_0 为土壤质量含水量(%)。计算土层厚度为 80 cm。本试验地势平坦,地下水埋深超过 30 cm,降水入渗深度不超过 2 m, R 、 U 和 F 均视为 0。

基于苹果产量的水分利用效率(R_{WUE})^[20]:

$$R_{WUE} = Y_G / C_{ET} \quad (5)$$

式中: Y_G 为苹果产量(kg/hm²); C_{ET} 为耗水量(mm)。

灌溉水利用效率(R_{IWUE}):

$$R_{IWUE} = Y_G / I \quad (6)$$

式中: I 为灌水量(m³/hm²)。

1.4.5 果实品质综合评价

果实的品质受到较多因素的综合影响,李鹏等^[21]在试验中采用综合评价法来评价试验果实的品质,期望得到一个较为综合客观性的评判结论。通常用“满意度”来综合评价果实品质,满意度取值范围在 0~1 之间;当消费者对果实的满意程度越好时,满意度的值就越大,反之则越小。因此,试验采用相对满意度(M)综合评价苹果果实品质。

$$M(T_i) = (T_i - T_{\min}) / (T_{\max} - T_{\min}) \quad (7)$$

式中: T_i 为试验果某个指标测定值($i=1,2,3,\dots,n$); T_{\max} 为试验果中最大值,相对满意度是 1;而 T_{\min} 为试验果中最小值,相对满意度是 0。

利用式(7)依次可得出果实各项测定指标的相对满意度。在算出试验果各项指标的相对满意度后,再应用加权系数法评判果实品质的综合满意度 V ,其计算公式为:

$$V = \sum W_i M_i \quad (8)$$

式中: V 为综合满意度; W_i 为各项指标的加权系数,介于 0~1 范围内; M_i 为各项指标的相对满意度。

各项指标及各项加权数主要参考张海英等^[22]及李鹏等^[21]在试验中分别评价桃和苹果果实品质时应用值,其中各项指标及各项加权数所占比例略有改动。单果质量、果形指数、可溶性固形物、可滴定酸、果面色泽饱和度、产量、水分利用效率、灌溉水利用效率的加权数分别为 0.10,0.10,0.10,0.10,0.15,0.15,0.15,0.15。可利用式(8)得出苹果果实品质的综合满意度。

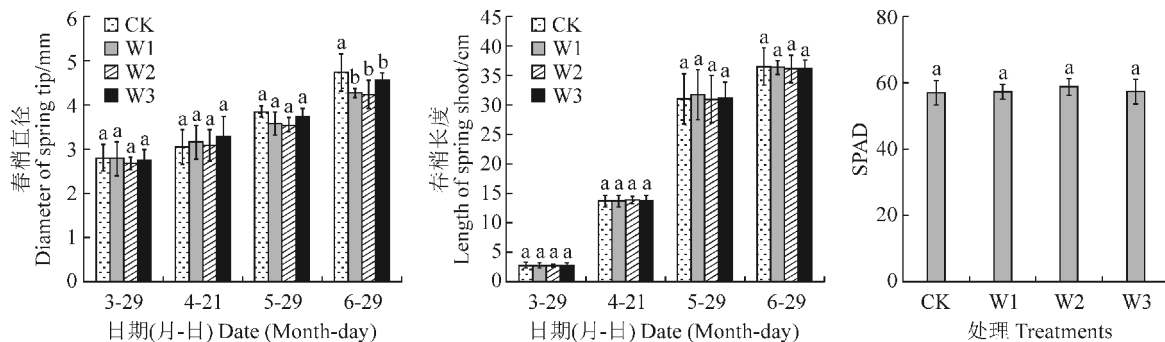
1.5 数据处理

用 Excel 软件对数据进行统计作图,SPSS 25.0 软件进行方差分析,LSD 法进行差异显著性检验($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 亏缺灌溉时期和模式对苹果春梢生长及叶片叶绿素相对含量的影响

图 1 显示,‘烟富 3 号/T337’苹果春梢长度在不同亏缺灌溉处理间始终无显著性差异;其春梢直径也仅在 6 月 29 日存在显著差异,表现为 $W1 \sim W3$ 处理间均无显著差异,但它们均显著低于 CK 处理,降幅分别为 9.70%、10.55%、3.38%。同时,‘烟富 3 号/T337’苹果的叶片叶绿素相对含量(SPAD)在不同水分亏缺灌溉处理间也没有显著性差异。可见,水分亏缺处理对树体长势的影响主要表现在新梢茎粗上,对新梢的长度及 SPAD 无显著性影响。



同期不同小写字母表示处理间在 0.05 水平存在显著性差异。

图 1 不同果实生长期水分亏缺灌溉处理春梢生长及 SPAD 的变化

Different lowercase letters in the same stage indicate significant difference among treatments at 0.05 level ($P < 0.05$).

Fig. 1 Spring shoot growth and SPAD under water deficiency irrigation at different fruit growth periods

2.2 亏缺灌溉时期和模式对苹果果实品质的影响

表 3 显示,4 种亏缺灌溉处理的苹果单果质量为 191.81~213.86 g,果形指数为 0.84~0.87,可溶性固形物含量为 11.83%~12.73%,可滴定酸含量为 0.19%~0.22%。其中,W1~W3 亏缺灌溉处理单果质量均比 CK 不同程度降低,但仅 W1 处理降幅(10.3%)达到显著水平,而 W1、W2、W3 处理间无显著差异;W1~W3 亏缺灌溉处理的果形指数均与 CK 无显著差异,它们的果实可溶性固形物含量均比 CK 不同程度提高,但增幅均不显著;W1~W3 亏缺灌溉处理果实可滴定酸含量均比 CK 不同程度降低,但仅在 W2 处理下降幅(14.7%)达到显著水平。同时,苹果果皮亮度值 L^* 表现为 $W2 > CK > W1 > W3$,而 W1、W2、W3 处理均与 CK 无显

著差异,但 W2 与 W1、W3 差异显著,即果实膨大期充分灌溉有利于果实亮度的提高。果皮的红绿值 a^* 表现为 $W3 > CK > W1 > W2$,而 W1、W2、W3 处理均与 CK 无显著差异,但 W3 与 W2 处理差异显著,即果实生长期充分灌溉和果实膨大期轻度亏缺灌溉处理果实亮度值最高(34.33)。果皮黄色值 b^* 表现为 $W1 > CK > W3 > W2$,且 W1(15.97)显著高于其余处理,而 W2、W3 与 CK 无显著性差异,即果实生长期、膨大期均轻度亏缺灌溉处理能显著提高果实 b^* 。W1~W3 处理果皮色泽饱和度 C^* 均不同程度高于 CK,表现为 $W2 > W1 > W3 > CK$,但仅 W2 与 CK 差异显著,说明果实生长期轻度亏缺灌溉和果实膨大期充分灌溉处理能显著提高果皮色泽饱和度。

表 3 不同时期水分亏缺灌溉处理苹果果实品质的变化

Table 3 Apple fruit quality under water deficiency irrigation at different fruit growth periods

处理 Treatments	单果质量 Single fruit mass/g	果型指数 Fruit shape index	可溶性固 形物含量 Soluble solids content/%	可滴定酸 Titratable acidity/%	果面色度 Fruit surface chroma			
					L^*	a^*	b^*	C^*
CK	213.86±21.47 a	0.85±0.04a	11.8±0.60a	0.34±0.05a	52.63±2.48ab	33.75±1.95ab	14.44±1.27b	62.24±1.58b
W1	191.81±16.95 b	0.86±0.04a	12.4±0.32a	0.30±0.03ab	51.10±2.10b	33.43±2.63ab	15.97±1.01a	63.20±0.63ab
W2	205.72±16.90ab	0.87±0.04a	12.5±1.38a	0.29±0.03b	53.73±2.31a	31.88±2.11b	13.96±0.90b	64.07±1.61a
W3	199.05±14.16ab	0.84±0.04a	12.7±1.43a	0.32±0.05ab	50.78±2.09b	34.33±2.09a	14.36±0.71b	63.01±1.11ab

注:同列不同小写字母表示处理间在 0.05 水平差异显著($P < 0.05$)。下同。

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference among treatments at 0.05 level ($P < 0.05$). The same as below.

2.3 亏缺灌溉时期和模式对苹果产量和水分利用效率的影响

从表 4 可知:与 CK 相比,W1、W2、W3 水分亏缺灌溉处理苹果产量均不同程度降低,降幅分别达到 24.7%、17.4%、13.4%,且 W1 处理的降低幅度最大,达到显著水平;3 种水分亏缺处理的耗水量比

CK 降低 2.46%~5.23%,它们的水分利用效率(WUE)也均不同程度低于 CK,但处理间及其与 CK 之间差异均未达到显著水平;在灌溉水利用效率(IWUE)方面,W1、W2、W3 亏缺灌溉处理均不同程度高于 CK,但仅 W1 处理与 CK 间存在显著性差异,较 CK 显著提高了 38.0%。

2.4 亏缺灌溉处理下苹果果实品质、水分利用效率的综合评价

表 5 显示,与其他不同时期水分亏缺灌溉处理相比,W2 处理中果形指数满意度最高(1.00),其单果质量、可溶性固形物、可滴定酸、果皮的色泽饱和度 C^* 、产量、WUE 和 IWUE 这 7 项指标的满意度均较高,从而最终的综合满意度最高,位列第一。

表 4 不同时期水分亏缺灌溉处理苹果产量和水分利用效率的变化

Table 4 Yield and water use efficiency of apple under water deficiency irrigation at different fruit growth periods

处理 Treatments	果实产量 Fruit yield/(t/hm ²)	耗水量 C _{ET} /mm	水分利用效率 R _{WUE} /[(kg/(hm ² ·mm)]	灌溉水利用效率 R _{IWUE} /(kg/m ³)
CK	60.35±4.88a	493.19±0.51a	122.36±9.93a	109.72±8.88b
W1	45.43±6.89b	467.41±1.16a	92.77±14.92a	151.44±22.96a
W2	52.23±4.44ab	479.54±1.05a	108.91±9.08a	130.58±11.11ab
W3	49.87±5.92ab	481.07±1.52a	103.69±12.66a	110.81±13.17b

表 5 不同时期水分亏缺灌溉下苹果品质和水分利用效率综合评价结果

Table 5 Comprehensive evaluation of fruit quality and water use efficiency under different water deficiency irrigation

处理 Treatments	单果质量 Single fruit mass	果形指数 Fruit shape index	可溶性固形物 Soluble solids	可滴定酸 Titratable acidity	果皮色泽饱和度 Fruit surface chromas(C^*)	产量 Yield	水分利用效率 R _{WUE}	灌溉水利用效率 R _{IWUE}	综合满意度 Comprehensive satisfaction	排序 Sequence
CK	1.00	0.31	0.00	0.25	1.00	1.00	1.00	0.00	0.61	2
W1	0.00	0.85	0.67	0.00	0.13	0.00	0.00	1.00	0.32	3
W2	0.63	1.00	0.82	0.95	0.87	0.46	0.47	0.50	0.69	1
W3	0.33	0.00	1.00	1.00	0.00	0.30	0.26	0.03	0.32	3

3 讨论

随着人民生活水平的提高,消费者越来越关注果实的品质。果农要想取得理想的收益,不仅要看看果实的产量更要看果实的品质。尤其是在渭北地区自然降雨与苹果需水的关键时期不匹配的条件下,如何在灌水较少的情况下不影响果实产量、品质,达到较高的水分利用效率,已成为果树栽培学研究的重要内容之一。该研究通过对不同果实生育时期下的不同亏缺灌溉处理,初步探索其对苹果树体春梢生长、叶片 SPAD,以及果实品质、产量和水分利用效率的影响。本研究结果表明,不同时期水分亏缺灌溉处理对树体长势没有产生显著性影响,而其春梢直径仅在 6 月 29 日存在显著差异,并以 W2 处理茎粗最小,较 CK 显著降低了 10.55%。这与前人^[23]在研究中发现亏缺灌溉对新梢长度没有影响,但会显著影响新梢茎粗,且随着亏缺的加重茎粗逐渐降低的结果相似。同时,本研究中不同时期水分亏缺灌溉处理对苹果叶片 SPAD 没有产生显著性

影响。这与 Shakil^[24]的水分胁迫会降低大豆叶片叶绿素含量的结果不一致,可能与研究的植物种类不同、地理位置不同有关。同时,本研究表明,在不同苹果果实生长期水分亏缺灌溉处理下,W1 处理果皮黄色值 b^* 最高,W2 处理果形指数、果皮亮度值 L^* 、果皮的色泽饱和度 C^* 最高,W3 处理果实可溶性固形物、红绿值 a^* 最高,与之前 Zhou 等^[25]研究得出的轻度缺水的桃果实品质会优于非缺水灌溉的结果相似。果实在膨大期对水分的响应最为敏感,也是果实生长的最重要时期,相关研究结果显示在这个时期进行水分亏缺处理会降低果实的生长速率,从而影响果实单果质量,进而导致产量的降低^[26-27]。果树生理生长及产量对水分亏缺的响应差异或许归因于不同品种的耐旱性、气候条件、灌溉水质量、土壤水的实践管理及由此产生的土壤水可利用性;果实的大小、品质会受到如肥水管理、温度变化、果树的种类等多个因素影响^[28-29]。所以单一的苹果果实生长期和果实膨大期水分亏缺处理,不会对单果质量、果形指数、可溶性固形物等产生显著

性影响,具体不同时期不同水分亏缺处理影响果实生长发育机制尚需要进一步研究。

另外,本研究结果表明,不同水分亏缺灌溉处理会影响苹果的产量和水分利用效率。其中,苹果产量以果实生长期和果实膨大期同时进行轻度亏缺灌溉的处理(W1)最低,这可能是由于5—6月份是苹果树对水分特别敏感的时期,如果此时发生干旱胁迫,叶片不仅会从根组织中吸收水分,影响根的吸收作用,造成树势衰弱,而且叶片也会从幼果中争夺水分,导致幼果皱缩脱落,进而产量严重下降^[30-32]。W2处理果实产量与CK无显著性差异,该结果与Weiler等^[33]的葡萄产量在中等水分亏缺时最高的结论相吻合。前人研究^[34]发现,灌水量的增加会使耗水量也增大,本研究结果与之不同,可能与试验材料种类有关。水分利用效率及灌溉水利用效率会随

灌水量的增加而呈现先降低后增加再降低的趋势,而本研究中不同水分亏缺灌溉处理下苹果树的WUE表现为 $CK > W2 > W3 > W1$,而其IWUE则表现为 $W1 > W2 > W3 > CK$,与卢晓林^[35]和张鹏等^[36]的研究结果不一致,其原因主要是W1与W2之间及W1与W3之间产量增幅相差较大,同时也可能与研究中的试验材料种类不同有关。

4 结 论

陕西渭北地区的‘烟富3号/T337’苹果果实综合评价满意度在果实生长期轻度亏缺灌溉、果实膨大期充分灌溉处理(W2)下最高,果实生长期和膨大期均充分灌溉处理(CK)次之,而果实生长期充分灌溉、果实膨大期轻度亏缺灌溉处理(W3)和果实生长期、膨大期均轻度亏缺灌溉处理(W1)并列第三。

参考文献:

- [1] 方兴义,蔡黎明. 陕西省苹果产业发展态势分析及对策建议[J]. 中国果树, 2021(11): 98-102.
FANG X Y, CAI L M. Analysis on the development situation of apple industry in Shaanxi Province and countermeasures and suggestions[J]. *China Fruits*, 2021(11): 98-102
- [2] 刘延莉. 延安地区苹果北扩气候区划及干旱风险评估[D]. 南京:南京信息工程大学, 2014.
- [3] 任菊芹,杨澎湖,赵莉,等. 果树化肥减量秋施基肥要“五改”[J]. 西北园艺(果树), 2016(4): 36-37.
REN J Q, YANG P C, ZHAO L, et al. Reducing chemical fertilizer for fruit trees and applying base fertilizer in autumn should be “five reforms”[J]. *Northwest Horticulture (Fruit trees)*, 2016(4): 36-37.
- [4] 王颖. 矮化自根砧红富士苹果树的需肥规律研究[D]. 陕西杨凌:西北农林科技大学, 2015.
- [5] TAO H X, SUN H Q, WANG Y F, et al. Effects of water stress on quality and sugar metabolism in Gala apple fruit[J]. *Horticultural Plant Journal*, 2023, 9(1): 60-72.
- [6] 刘静霞,张芮,成自勇,等. 不同生育期水分亏缺对酿酒葡萄产量及品质的效应研究[J]. 干旱地区农业研究, 2016, 34(3): 78-83.
LIU J X, ZHANG R, CHENG Z Y, et al. Effect research of water deficit in different growth stage on wine grape yield and quality[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2016, 34(3): 78-83.
- [7] TARI A F. The effects of different deficit irrigation strategies on yield, quality, and water-use efficiencies of wheat under semi-arid conditions[J]. *Agricultural Water Management*, 2016, 167: 1-10.
- [8] MBAVA N, MUTEMA M, ZENGENI R, et al. Factors affecting crop water use efficiency: A worldwide meta-analysis[J]. *Agricultural Water Management*, 2020, 228: 105878.
- [9] FAROOQ M, HUSSAIN M, UL-ALLAH S, et al. Physiological and agronomic approaches for improving water-use efficiency in crop plants[J]. *Agricultural Water Management*, 2019, 219: 95-108.
- [10] SUN G Z, LIU X G, YANG Q L, et al. Alternate infiltration irrigation improves photosynthetic characteristics and water use efficiency in mango seedlings[J]. *Journal of Plant Growth Regulation*, 2022, 41(3): 1138-1147.
- [11] ZHANG J X, WANG Q Q, XIA G M, et al. Continuous regulated deficit irrigation enhances peanut water use efficiency and drought resistance[J]. *Agricultural Water Management*, 2021(255): 106997.
- [12] 李鸿平,陈昱辛,崔宁博,等. 水分亏缺对柑橘果实生长、产量和水分利用效率的影响[J]. 节水灌溉, 2019(12): 6-11.
LI H P, CHEN Y X, CUI N B, et al. Effects of water deficiency on fruits growth, yield and water use efficiency of *Citrus*[J]. *Water Saving Irrigation*, 2019(12): 6-11.
- [13] 钟韵,费良军,曾健,等. 根域水分亏缺对涌泉灌苹果幼树产量品质和节水的影响[J]. 农业工程学报, 2019, 35(21): 78-87.
ZHONG Y, FEI L J, ZENG J, et al. Effects of root-zone water deficit on yield, quality and water use efficiency of young apple trees under surge-root irrigation[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2019, 35(21): 78-87.
- [14] 张效星,樊毅,贾悦,等. 水分亏缺对滴灌柑橘光合和产量及水分利用效率的影响[J]. 农业工程学报, 2018, 34(3): 143-150.
ZHANG X X, FAN Y, JIA Y, et al. Effect of water deficit on photosynthetic characteristics, yield and water use efficiency in Shiranui citrus under drip irrigation[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2018, 34(3): 143-150.
- [15] BLANCO V, MARTÍNEZ-HERNÁNDEZ G B, ARTÉS-

- HERNÁNDEZ F, *et al.* Water relations and quality changes throughout fruit development and shelf life of sweet cherry grown under regulated deficit irrigation [J]. *Agricultural Water Management*, 2019, 217: 243-254.
- [16] CUEVAS J, CAÑETE M L, PINILLOS V, *et al.* Optimal dates for regulated deficit irrigation in ‘Algerie’ loquat (*Eriobotrya japonica* Lindl.) cultivated in Southeast Spain [J]. *Agricultural Water Management*, 2007, 89(1/2): 131-136.
- [17] 周宣, 王若水, 李超楠, 等. 水分调控对苹果-大豆间作生理特性及水分利用的影响 [J]. 排灌机械工程学报, 2021, 39(4): 410-418.
- ZHOU X, WANG R S, LI C N, *et al.* Effects of water regulation on physiological characteristics and water use of apple-soybean intercropping system [J]. *Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering*, 2021, 39(4): 410-418.
- [18] 闫玖英. 套袋对不同色泽类型苹果品种果实着色的影响 [D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2017.
- [19] 廖阳, 曹红霞, 刘星, 等. 覆盖及亏缺灌溉对山地苹果生长、耗水及产量的影响 [J]. 干旱地区农业研究, 2020, 38(4): 47-56.
- LIAO Y, CAO H X, LIU X, *et al.* The effects of mulching and deficit irrigation on growth, evapotranspiration and yield of mountain apple trees [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2020, 38(4): 47-56.
- [20] RATHORE V S, NATHAWAT N S, BHARDWAJ S, *et al.* Yield, water and nitrogen use efficiencies of sprinkler irrigated wheat grown under different irrigation and nitrogen levels in an arid region [J]. *Agricultural Water Management*, 2017, 187: 232-245.
- [21] 李鹏, 王益权, 梁化学. 渭北不同树龄苹果品质因子分析与综合评价 [J]. 食品科学, 2016(3): 49-54.
- LI P, WANG Y Q, LIANG H X. Comprehensive evaluation of fruit quality factors of apple trees at different ages in main growing regions to the North of the Weihe River in Shaanxi Province [J]. *Food Science*, 2016(3): 49-54.
- [22] 张海英, 韩涛, 王有年, 等. 桃果实品质评价因子的选择 [J]. 农业工程学报, 2006, 22(8): 235-239.
- ZHANG H Y, HAN T, WANG Y N, *et al.* Selection of factors for evaluating peach (*Prunus persica*) fruit quality [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2006, 22(8): 235-239.
- [23] EL JAOUHARI N, ABOUABDILLAH A, BOUABID R, *et al.* Assessment of sustainable deficit irrigation in a Moroccan apple orchard as a climate change adaptation strategy [J]. *Science of the Total Environment*, 2018, 642: 574-581.
- [24] SHAKIL U A. Effects of soil water deficit on leaf nitrogen, chlorophyll and SPAD chlorophyll meter reading on growth stages of soybean [J]. *Bangladesh Journal of Botany*, 2011, 40(2): 171-175.
- [25] ZHOU H M, ZHANG F C, ROGER K, *et al.* Peach yield and fruit quality is maintained under mild deficit irrigation in semi-arid China [J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2017, 16(5): 1173-1183.
- [26] 李昱鹏, 李援农, 陈朋朋. 不同覆盖方式与调亏模式对梨枣产量及品质的影响 [J]. 中国农村水利水电, 2019(3): 112-118.
- LI Y P, LI Y N, CHEN P P. The effects of different mulching methods and regulated deficit irrigation (RDI) patterns on the yield and quality of Lizard jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.) [J]. *China Rural Water and Hydropower*, 2019(3): 112-118.
- [27] 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 Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2012, 28(11): 118-124.
- [28] MUSACCHI S, SERRA S. Apple fruit quality: Overview on pre-harvest factors [J]. *Scientia Horticulturae*, 2018, 234: 409-430.
- [29] 王向斌, 周会玲, 张晓晓, 等. 苹果果实品质形成及影响因素分析 [J]. 北方园艺, 2015(13): 186-189.
- WANG X B, ZHOU H L, ZHANG X X, *et al.* Analysis of apple fruit quality's formation and influencing factors [J]. *Northern Horticulture*, 2015(13): 186-189.
- [30] 翟军哲, 夏静. 渭北旱塬苹果树需水特点及巧灌保墒措施 [J]. 西北园艺(果树), 2019(2): 21-22.
- ZHAI J Z, XIA J. Characteristics of apple trees' water requirement and measures of irrigation and moisture conservation in Weibei Dry Plateau [J]. *Northwest Horticulture (Fruit trees)*, 2019(2): 21-22.
- [31] REID M, KALCSITS L. Water deficit timing affects physiological drought response, fruit size, and bitter pit development for ‘Honeycrisp’ apple [J]. *Plants*, 2020, 9(7): 874.
- [32] GHAFARI H, HASSANPOUR H, JAFARI M, *et al.* Effect of partial root zone irrigation on physiology, water use efficiency, fruit yield, phenolic compounds and antioxidant capacity of apple [J]. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 2021, 67(11): 1521-1538.
- [33] WEILER C, MERKT N, GRAEFF-HÖNNINGER S. Impact of water deficit during fruit development on quality and yield of young table grape cultivars [J]. *Horticulturae*, 2018, 4(4): 45.
- [34] PENG Z G, ZHANG B Z, XU D, *et al.* Optimization of irrigation schedule based on the response relationship of water consumption and yield for winter wheat in North China Plain [J]. *Desalination and Water Treatment*, 2018, 118: 26-38.
- [35] 卢晓林. 张家口市坝上地区甘蓝膜下滴灌灌水定额研究 [J]. 农业科技通讯, 2021(11): 160-162.
- LU X L. Study on irrigation quota of cabbage drip irrigation under plastic film in Bashang area of Zhangjiakou City [J]. *Bulletin of Agricultural Science and Technology*, 2021(11): 160-162.
- [36] 张鹏, 曹红霞, 张建锴, 等. 陕北风沙区温室滴灌油桃生长和产量对水分亏缺的响应 [J]. 干旱地区农业研究, 2020, 38(3): 32-39.
- ZHANG P, CAO H X, ZHANG J K, *et al.* Response of greenhouse nectarine growth and yield to water deficit under drip irrigation in windy-sandy area in Northern Shaanxi [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2020, 38(3): 32-39.