

陕北风沙区温室滴灌油桃生长和 产量对水分亏缺的响应

张 鹏,曹红霞,张建镨,胡笑涛

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

摘 要:为探明滴灌方式下不同水分处理对陕北风沙区温室油桃生长的适用性,选择 5a 生早熟油桃“秦光 6 号”,设置 3 个滴灌处理 W1、W2、W3 和当地漫灌处理(CK)4 个水分处理,当任一滴灌处理的土壤含水率达灌水下限 50% θ_f ,开始统一灌水,灌水上限分别为 90% θ_f (W1)、75% θ_f (W2)、60% θ_f (W3)。经过 2017 年的预试验处理后,于 2018 年测定桃树新梢生长量、茎干日最大收缩量(MDS)、叶片叶绿素相对含量(SPAD)、果径以及产量和水分利用效率(WUE)等指标。结果表明:新梢生长量和滴灌灌水量呈正相关,各生育期的 MDS 均值存在显著差异($P<0.05$);各处理叶片的 SPAD 值在果实第二膨大期和成熟采摘期差异显著,W2 在果实生长期 SPAD 整体居高。果实的生长情况:CK 的成熟果实横径和缝径分别为 44.3、46.0 cm,而 W2 达 53.3、55.9 cm;W1 和 W3 的单株果个数较 W2(49.3)分别高 20.8%和 5.7%,CK 则低至 40.7 个;但 W2 单果重显著高于其他处理,达到 106.39 g。W1、W2、W3 的果实产量分别为 24 446.8、23 303.7、20 777.2 kg·hm⁻¹,而 CK 产量仅为 15 845.3 kg·hm⁻¹,可见漫灌产量最低,滴灌时重度水分胁迫下减产显著。W1、W2、W3 的 WUE 分别是 CK 的 188.0%、299.0%、614.4%。持续性亏缺灌溉下,处理 W2 在减产不明显的前提下能保持油桃需水关键期较优的光合作用,提高果实单果重和 WUE。

关键词:温室油桃;滴灌;水分亏缺;水分利用效率;产量;生长;叶绿素相对含量

中图分类号:S275.6;S662.1 **文献标志码:**A

Response of greenhouse nectarine growth and yield to water deficit under drip irrigation in Windy-Sandy Area in Northern Shaanxi

ZHANG Peng, CAO Hongxia, ZHANG Jiankai, HU Xiaotao

(The Key Laboratory of Agricultural Soil and Water Engineering in Arid Areas Subordinated to the
Ministry of Education, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi, 712100, China)

Abstract: To examine the adaptability of drip irrigation under different water treatments to greenhouse nectarine in Windy-Sandy Area of Northern Shaanxi is helpful to provide an approach and basis for irrigation schedule meeting the requirement of water saving and yield increasing under drought and water shortage environment. The field experiment included four treatments, three drip irrigation treatments (W1, W2, and W3) and local surface flooding treatment (CK). When the soil moisture content of any treatment reached 50% of the irrigation water limit, uniform irrigation event began, the upper limits of irrigation were respectively 90% θ_f (W1), 75% θ_f (W2), and 60% θ_f (W3). After the pre-experiment in 2017, shoot growth, stem maximum daily shrinkage (MDS), fruit diameter, leaf chlorophyll relative content (SPAD), yield and water production efficiency of nectarine trees etc. were recorded to explore the effects of different water treatments in 2018. Results showed that shoot growth was positively correlated with drip irrigation amount; the MDS mean values of different growth periods showed significantly different at different treatments ($P<0.05$); the SPAD value of leaves varied significantly during the second fruit expansion period and fruit harvest period, W2 owned higher SPAD value during the whole fruit growth period, moderate water deficit improved the photosynthesis at the critical stage of fruit growth. For fruit growth, the transverse diameter and

收稿日期:2019-06-13

修回日期:2020-03-14

基金项目:陕西省科技统筹创新工程计划项目(2016KTZDNY-01-05);“十三五”国家重点研发计划项目(2016YFC0400204)

作者简介:张鹏(1994-),男,陕西榆林人,硕士研究生,研究方向为节水灌溉原理与新技术。E-mail:15829720120@163.com

通信作者:曹红霞(1971-),女,新疆五家渠人,教授,主要从事节水灌溉原理与新技术研究。E-mail:chx662002@163.com

seam diameter of CK were separately 44.3 and 46.0 cm at the fruit harvest period when the W2 reached 53.3 and 55.9cm; the fruit numbers of W1 and W3 were 20.8% and 5.7% higher than that of the W2 of 49.3, respectively, while CK owned the lowest value of 40.7; W2's mean fruit weight was 106.39 g that was significantly higher than that of other treatments. The effect of severe water stress on yield reduction was significant, the yield of W1, W2, and W3 was 24 446.8, 23 303.7 kg · hm⁻¹ and 20 777.2 kg · hm⁻¹, respectively, but it was only 15 845.3 kg · hm⁻¹ of CK; the WUE of W1, W2, and W3 was 188%, 299%, and 614.4% of CK, respectively. For the continuous deficit irrigation, the treatment W2 with no evident yield reduction could maintain better photosynthesis in the critical period of nectarine and increased fruit weight and WUE.

Keywords: nectarine in greenhouse; drip irrigation; water deficit; water use efficiency; fruit yield; fruit growth; SPAD

干旱缺水始终是影响农业发展的重要原因,严重的水分亏缺致使果树产量下降及果实品质低劣,并对树势培养造成不良影响^[1-2],但对果树进行适度亏缺灌溉可以达到节水增产和改善果实品质的目的^[3]。陕北风沙区为半干旱气候向半湿润气候过渡区,年平均降水量仅 350~450 mm,且分布极不均匀,极易造成干旱^[4-5]。该地区主要土壤为风沙土,松散多孔,漏水漏肥严重^[6]。近年来,随着当地经济发展和人民生活需求的提高,设施果蔬产业已具有一定规模。油桃作为当地的设施果品之一,果皮光滑无毛,风味浓甜,富含 V_C等营养物质,比普通毛桃更耐存储运输,经济价值较高,种植较广^[7]。但当地设施果树仍采用经验性的大水漫灌方式,导致果实产量和品质下降,农田无效水消耗过多。因此,需要研究该地区设施油桃的节水灌溉模式以解决生产中存在的问题。

马福生等^[8]对温室梨枣树的畦灌试验研究表明,在果实成熟期进行重度亏缺灌溉,减产效应并不显著;而强薇等^[9]对滴灌核桃的水分亏缺试验结果显示:调亏灌溉对果型发育和产量产生了负效应;娄玉穗等^[10]对盆栽葡萄的水分亏缺试验显示,中度灌溉条件下葡萄新梢生长适中,果实生长最快且叶片的净光合速率最高;武阳等^[11]对滴灌香梨果树的研究表明,在果实细胞分裂期和果实缓慢膨大期进行适度调亏灌溉可以有效抑制营养生长,提高产量和水分利用效率;周罕觅等^[12]在遮雨棚条件下对桃树的亏水研究表明:轻度水分亏缺在液流速率、净光合速率及产量下降不明显的情况下,能显著提高果实单果重及水分利用效率。目前关于滴灌设施果树生长对水分亏缺响应的研究较少涉及,大多数研究针对大田栽培或桶栽试验进行;此外,在该地区特殊的土壤条件下油桃生长对水分亏缺的响应并不清楚。本研究以温室栽培的“秦光 6

号”油桃^[13]为对象,采用滴灌方式来探讨水分亏缺对油桃树体生长和果实产量的影响。

1 材料与方法

1.1 试验材料与试验设计

试验于 2018 年 3 月 1 日至 6 月 15 日在陕西省榆林市榆阳区鱼河镇金沙湾农业合作社温室大棚内进行。该地位于北纬 38°18′、东经 109°43′,属于温带半干旱大陆性季风气候,温室为占地面积 1 333.4 m² 的塑料膜拱棚,南北走向,内部光照、温度及湿度条件较为一致(见图 1)。棚内桃树共 8 行、72 列,于 2014 年 4 月 2 日移植,将栽种行开挖深 80 cm、宽 60 cm 深沟,在底层填置 20 cm 黄土以防止水肥渗漏,然后在其上堆放约 5 cm 厚的柠条枝作为有机肥料。试验土壤为风沙土,1 m 土层田间持水量为 0.1417(质量),土壤容重 1.5817 g · cm⁻³,土壤有机质 9.34 g · kg⁻¹,速效磷 19.74 mg · kg⁻¹,速效钾 132.64 mg · kg⁻¹,硝态氮 32.85 mg · kg⁻¹,铵态氮 5.82 mg · kg⁻¹。试验用树为 5 a 生早熟油桃“秦光 6 号”,株距为 1 m,行距 2.3 m。采用滴灌水肥一体化设备灌水,每行树在距离树干两侧垂直距离 40 cm 处各铺设 1 根滴管,滴头间距 50 cm,额定流量 4 L · h⁻¹,计划湿润层 0.6 m,滴灌湿润比 0.5。

试验设置 4 个水分处理,分为 3 个滴灌处理和当地漫灌处理。滴灌处理按灌水量由高到低分为 W1、W2、W3,当 3 个水分处理中任一个 0~60 cm 土层的平均土壤含水率接近灌水下限 50% θ_f (田间持水量)即开始统一灌水(误差为 $\pm 2\%$),W1、W2、W3 的灌水上限分别为 90% θ_f 、75% θ_f 、60% θ_f ,以实际土壤含水率和灌水上限进行灌水量计算(见图 2)。滴灌处理的氮、磷、钾施肥量为:200 kg · hm⁻²(以 N 计)、120 kg · hm⁻²(以 P₂O₅计)、240 kg · hm⁻²(以 K₂O 计),总施肥量分 5 次滴施完毕。萌芽期:N 40%+P₂O₅ 60%+K₂O 20%(2 次均量);花后肥:N

30%;果实第一膨大期:K₂O 20%;果实第二膨大期:N 30%+P₂O₅40%+K₂O 60%(2次均量)。漫灌处理(CK)的灌水和施肥均参照当地同年的方式做一致处理。CK的氮、磷、钾施肥量分别为300 kg·hm⁻²(以N计)、180 kg·hm⁻²(以P₂O₅计)、280 kg·hm⁻²(以K₂O计),氮肥和磷肥一次性在花期后10 d沟施完毕,钾肥在挂果约30 d后全部沟施,所有处理在10月份沟施15 m³·hm⁻²羊粪作为基肥。

试验按水分处理划分4个小区,随机排列,每个小区6列,横跨8行,共48棵树;以外侧两列树为保护行,分别选取内侧各列长势较为一致的3棵树作为观测树。在该年试验开始前,于2017年生育期进行相同试验处理。由实际观测得出各生育期所对应的年天数(Day of year, DOY):萌芽期(59~77)、花期(78~93)、果实生长初期(94~129)、硬核期(130~141)、果实第二膨大期(142~160)、成熟采摘期(161~166)^[7]。

1.2 测定项目与方法

土壤含水率的测定采用打土钻和时域反射仪(TDR)观测结合的方法。Trim管安装于小区中部距

离滴灌毛管垂直距离10 cm处,每个小区6根,在土壤含水率接近灌水下限时,利用打土钻准确测定各小区灌水前一天土壤含水率,打钻位置距离毛管垂直距离10~15 cm。滴灌灌水量计算公式为:

$$M = (\theta_1 - \theta_2) \cdot \gamma \cdot s \cdot h \cdot p \cdot \eta^{-1}$$

式中, M 为灌水量(m³); θ_1 为灌水上限(重量含水率); θ_2 为土壤实际含水率; γ 为土壤容重,取1.5817 g·cm⁻³;s为灌水面积(m²);h为计划湿润层,取0.6 m;p为滴灌湿润比,取0.5; η 为水分利用效率,田间水损失可忽略,故取100%。

在果实生长初期于每棵观测树东南西北4个不同方位各选取一个新梢,在果实成熟采摘期的6月12日测定新梢生长量。

树干直径变化的测定利用德国Ecomatic公司生产的DD-L型直径测量仪进行自动观测,并采用DL-18型树木生长记录器进行数据记录。测量仪安装于树干距离地面垂直高度15 cm处,记录间隔30 min,传感器灵敏度0.2 μm。

利用日本柯尼卡美能达公司所产SPAD-502 Plus叶绿素仪进行不同生育期叶片叶绿素相对含量的即时观测。在观测日12:00选择观测树新梢顶端到新梢末的第3片叶片进行测定,测定前用纱布将叶片擦拭干净以免污染探头,每个小区测定12个叶片。

果径生长变化利用游标卡尺测定,每棵观测树选取东南西北4个不同方位的果实进行测量。在第一次观测时,利用记号笔标记好果实的观测位置,每隔7 d观测一次,游标卡尺测量精度为0.1 mm。果形指数(fruit shape index, FSI)的计算方法如下:

$$FSI = HD \cdot TD^{-1}$$

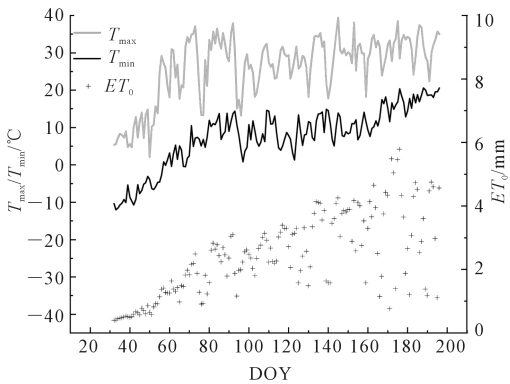
式中, TD 为横径(cm); HD 为纵径(cm)。

对于果实产量的测定,各处理随机选取6棵树测定果实总重量和单株果个数。利用各小区的平均单果重和单株果个数计算果实产量。对于果实含水率的测定,随机选取每个处理的成熟果实20个,切片去核,称取鲜重,在75℃下烘至恒重进行计算。水分利用效率(water use efficiency, WUE)的计算公式如下:

$$WUE = Y \cdot I^{-1}$$

式中, Y 为产量(kg·hm⁻²); I 为灌水量(m³)。

利用温室的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(%)、饱和露点温度(℃)、日照时数(h)、距离地面2 m处风速(m·s⁻¹)。参考作物蒸发蒸腾量(reference crop evapotranspiration, ET_0)的计算采用FAO-56 Penman-



注: $T_{\max}$:最高温度, $T_{\min}$:最低温度, ET_0 :参考作物蒸发蒸腾量。

Note: $T_{\max}$: Maximum temperature, $T_{\min}$: Minimum temperature, ET_0 : Reference crop evapotranspiration.

图 1 温室气象因素

Fig.1 Greenhouse meteorological factors

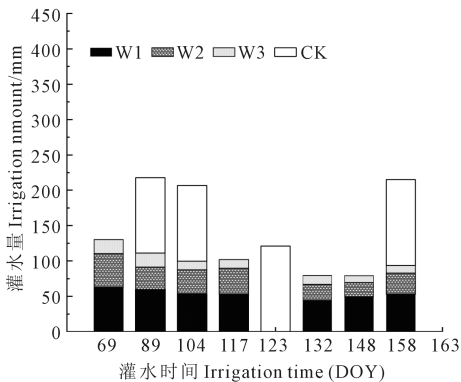


图 2 不同水分处理的灌水时间和灌水量

Fig.2 Irrigation time and quantity for different water treatments

Monteith 方法^[14]。

1.3 数据处理

利用 DPS 进行 ANOVA 分析 ($\alpha = 0.05$), 采用 LSD 法进行多重比较, 运用 Excel 和 Origin 9.6 进行数据处理和绘图。

2 结果与分析

2.1 不同水分处理对桃树生长的影响

2.1.1 不同水分处理对桃树新梢生长的影响 不同处理间的新梢生长量存在一定显著差异 ($P < 0.05$) (图 3)。在滴灌处理 W1、W2、W3 下, 6 月 12 日 (果实成熟采摘期) 的新梢长度分别为 24.0、21.8、20.6 cm, 随着灌水量的提升新梢生长量变大。而当地漫灌处理 CK 的新梢生长量和高水处理 W1 较一致, 仅相差 0.69 cm。

2.1.2 不同水分处理对桃树茎干日最大收缩量 (maximum daily shrinkage, MDS) 的影响 桃树的茎干日最大收缩量即树干直径日最大值和最小值的差值, 其值的变化由树木蒸腾强度和土壤水分可利用率的相对大小而不同^[15], 不同水分处理下各生育期树干 MDS 变化如图 4 所示。在土壤水分不断消耗

及灌溉补水过程中, MDS 呈现动态震荡变化, 在灌水后的前几天 MDS 急剧下降, 而后在震荡中呈上升趋势, 且随着生育期的持续 MDS 整体呈现上升趋势。不同生育期各处理 MDS 最大值、最小值及变异系数差异明显, 且不同处理的生育期均值差异显著 (表 1)。

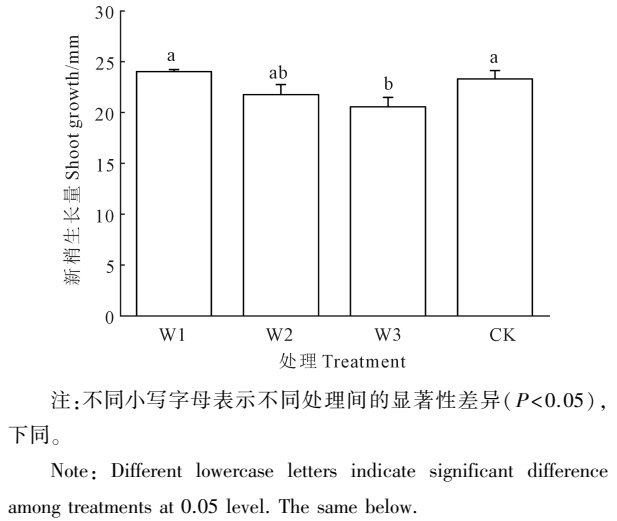
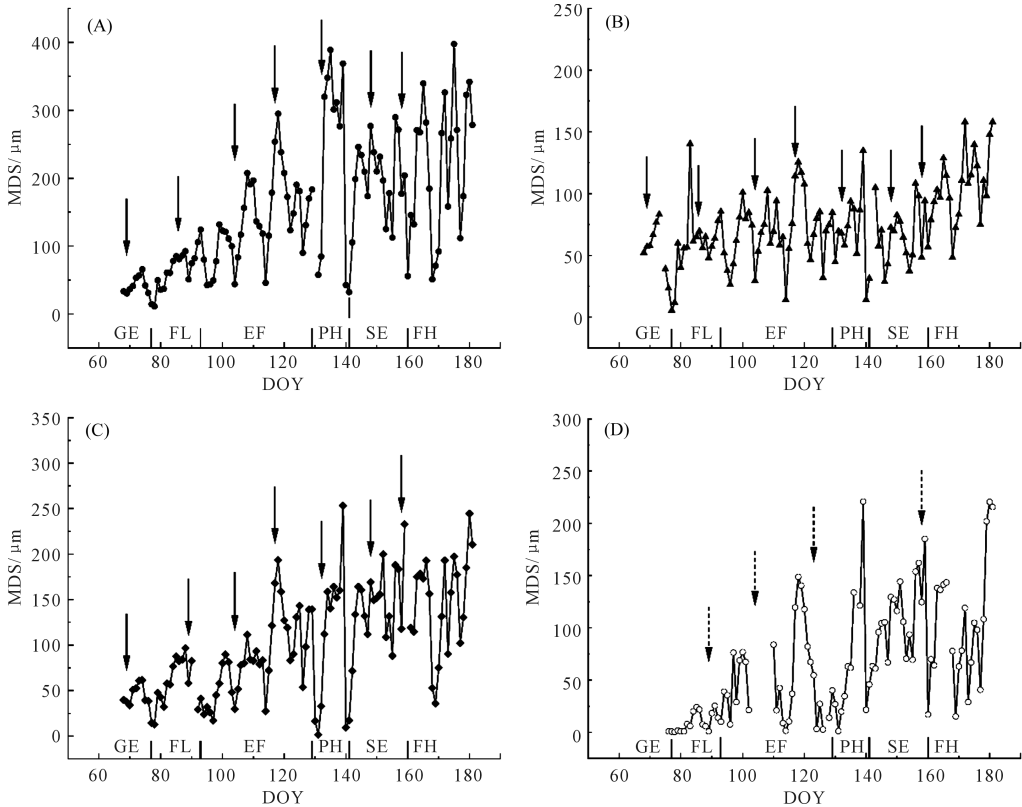


图 3 不同水分处理下新梢生长量
Fig.3 Shoot growth under different water treatments



注: GE: 萌芽期; FL: 花期; EF: 果实生长初期; PH: 硬核期; SE: 果实第二膨大期; FH: 成熟采摘期; 下同。“↓”: 滴灌; “↓”: 漫灌。
Note: GE: Germination stage; FL: Flowering stage; EF: Early stage of fruit growth; PH: Pit-hardening stage; SE: Second fruit expansion stage; FH: Fruit harvest stage; The same below. “↓”: Drip irrigation, “↓”: Flooding irrigation.

图 4 生育期 MDS 在不同水分处理下的变化
Fig.4 Changes of MDS in different growth stages under different water treatments

表 1 不同水分处理下油桃树各生育期 MDS 最大值、最小值及均值

Table 1 The maximum, minimum and mean values of daily maximum stem shrinkage for nectarine under different water treatments at growth periods

生育期 Growth stage	处理 Treatment	最大值 Maximum value	出现时间 Occurrence time(DOY)	最小值 Minimum value	出现时间 Occurrence time(DOY)	均值 Mean value	变异系数 CV
萌芽期 GE	W1	66.0	74	14.1	77	40.4a	0.3722
	W2	83.1	73	5.4	77	51.2a	0.4886
	W3	61.7	73	14.8	77	43.1a	0.3254
	CK	—	—	—	—	—	—
花期 FL	W1	124.2	93	10.9	78	69.7a	0.4103
	W2	140.3	83	11.6	78	63.3a	0.4149
	W3	96.7	88	12.9	78	59.3a	0.4213
	CK	25.3	91	0.4	78	10.4b	0.8659
果实生长初期 EF	W1	295.1	118	42.3	95	138.5a	0.4484
	W2	125.5	118	13.9	114	70.0b	0.3750
	W3	193.6	118	16.9	97	87.3bc	0.5037
	CK	148.7	118	1.5	114	51.6c	0.8193
硬核期 PH	W1	388.7	135	32.4	141	230.2a	0.6221
	W2	134.8	139	13.9	140	67.7b	0.4687
	W3	253.3	139	1.5	131	101.6b	0.8143
	CK	220.7	139	1.3	131	68.2b	0.9588
果实第二膨大期 SE	W1	289.7	156	55.9	160	196.5a	0.3162
	W2	108.2	156	28.6	146	67.5d	0.3451
	W3	232.8	159	71.7	142	147.4b	0.2729
	CK	185.3	159	17.0	160	105.1c	0.3937
成熟采摘期 FH	W1	339.7	165	132.1	162	239.6a	0.3439
	W2	128.7	165	78.9	161	102.6b	0.1695
	W3	192.9	166	114.7	162	158.8b	0.2093
	CK	143.5	166	64.2	162	115.6b	0.3266

注:不同小写字母表示各生育期不同处理间的显著性差异($P<0.05$)。“—”表示缺省值。
Note: Different lowercase letters indicate significant difference among treatments of fruit growth stage at 0.05 level. “—” indicate default value.

除萌芽期和花期,W1 在其他生育期的 MDS 均值显著大于其他处理,从萌芽期到硬核期,W1 的生育期均值不断增大,增幅为 470.0%;W2 处理下除了成熟采摘期是前 5 个生育期均值(66.1 μm)的 194.4%,各生育期 MDS 均值处于较稳定范围;W3、CK 的均值随生育期的进行持续增大,但其最大值仅为 W1 最大均值的 66.3%、48.2%。由变异系数可以得出各生育期 MDS 波动较剧烈的水分处理:在花期 CK 的变化范围为 0.4~25.3 μm,波动强度大小依次为 CK>W3>W2>W1;在果实生长初期,W3 和 CK 的 MDS 波动范围分别为 16.9~193.6 μm 和 1.5~148.7 μm,波动强度为 CK>W3>W1>W2;在硬核期,W1、W3、CK 的 MDS 波动范围分别为 32.4~388.7、1.5~253.3、1.3~220.7 μm,波动强度大小依次为 CK>W3>W1>W2。

由于树干 MDS 值由树干直径的日最大值和最小值共同决定,一个生育阶段 MDS 的最大和最小值出现时间可以反映树体的水分变化状况。萌芽期于第 69 天进行灌水,W1、W2、W3 的 MDS 最小值均出现在第 77 天,这可能与桃树的生育期特性有关,

而最大值出现在第 73~74 天,在此生育阶段树木蒸腾缓慢,茎干处于收缩状态,灌水后随着根系不断吸水,树体木质部和韧皮部的细胞吸水膨胀,MDS 值变大;在果实第二膨大期于第 148 天进行滴灌、第 158 天各处理统一灌水,W1、W2 和 W3、CK 的最大值分别发生在第 156 天、第 159 天,W1 和 W2 由于相对较高的蒸腾量致使树体水分变化大,细胞收缩严重,而 W3、CK 则由于组织复水引起木质部和韧皮部细胞发生较大的膨胀;在成熟采摘期,W1、W2、W3、最小值发生在第 161~162 天,此时在复水后 3~4 d 细胞水分较充足,MDS 变小。

2.2 水分亏缺对叶片叶绿素相对含量 (SPAD) 的影响

除了果实生长初期前段和硬核期,各处理的叶片 SPAD 值在不同生育期差异显著(图 5)。在果实生长初期前段的观测中(4 月 13 日),各处理的 SPAD 无显著差异;到果实生长初期末段(5 月 1 日),W1、W3 的 SPAD 值显著低于 CK,分别为 CK 的 96.8%、96.0%;在果实硬核期后第一天(5 月 22 日),各处理 SPAD 值无显著差异;到果实第二膨大

期前段(5月30日),W1、W3的SPAD值显著低于W2处理;W1的SPAD值果实第二膨大期前段为39.85,到果实第二膨大期分段和成熟采摘期变为42.35,到果实第二膨大期后段和成熟采摘期增大6.3%,且W1的SPAD值显著高于W3和CK处理。

2.3 不同水分处理对果径生长的影响

不同水分处理对油桃果径及果形指数变化的影响如图6所示。随着生育期的推进果径不断增大,果形指数不断变小,由1.5趋于1。各处理的TD、HD、SD在果实生长初期和第二膨大期的平均增长速率分别为0.63、0.96、0.75、0.98、0.58、0.87 cm·d⁻¹,由此可见,在果实第二膨大期果实横径和缝径增大加快,纵径生长较果实生长初期变缓。从4月

30日到5月14日,在果实生长初期的第一次观测中,W1的纵径显著低于W3,此外,各处理果实纵径在其他观测中未表现出显著差异;在5月21日至6月7日的后3次观测中,CK的果径明显小于其他处理,但未达到显著水平;到果实收获期,CK的横径和缝径显著低于其他处理。从果形指数来看,在成熟采摘期,滴灌处理的果形指数均接近于1,CK为1.16,显著大于其他处理,不同灌溉方式对果实形状产生一定影响。

2.4 不同水分处理对桃树产量、水分利用效率和果实参数的影响

不同水分处理下油桃的产量、单株果个数、单果重、WUE均存在一定显著性差异($P<0.05$)(表2)。对比处理间的单株果个数和单果重,W1、W3的单株果个数分别比W2高出20.8%和5.7%,比CK高出46.6%和28.3%;虽然W2的单株果个数仅为49.3,但其单果重显著大于其他处理。一定程度水分胁迫能够产生显著的减产效应,W1、W2的产量分别是W3的117.7%、112.2%,是CK的154.3%、147.1%。不同处理对产量的水分利用效率差异显著,W3处理的WUE显著高于其他处理,且CK处理WUE值最低,W1、W2、W3分别是CK的188.0%、299.0%、614.4%。不同处理间的果实含水率无显著差异。

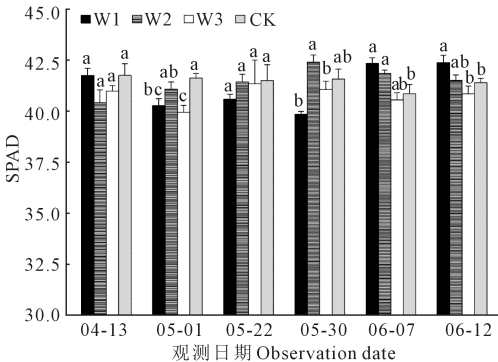
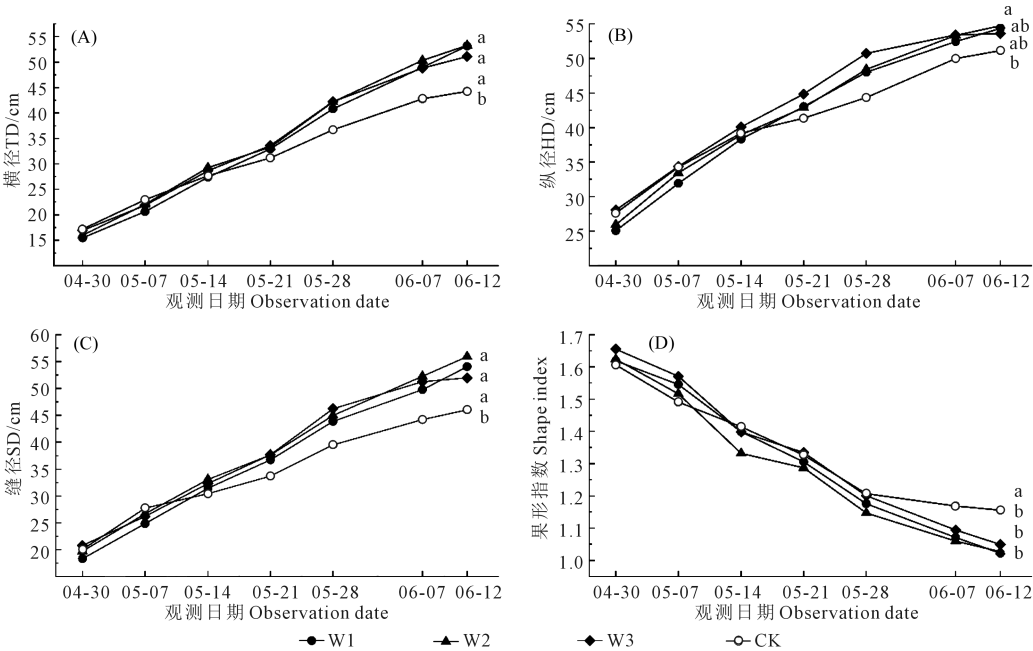


图5 生育期叶片 SPAD 变化

Fig.5 Variation of leaf SPAD in growing period



注:TD:横径;HD:纵径;SD:缝径。不同小写字母表示各观测日期不同处理间的显著性差异($P<0.05$)。

Note:TD: Transverse diameter;HD: Horizontal diameter;SD: Seam diameter. Different lowercase letters indicate significant difference among treatments on the observation date at 0.05 level.

图6 生育期果径变化

Fig.6 Variation of fruit diameter in growing period

表 2 不同水分处理对桃树产量、水分
利用效率和果实参数的影响

Table 2 Effects of different water treatments on yield, water
production efficiency and fruit parameters

处理 Treatment	产量 Yield /(kg·hm ⁻¹)	单株果个数 Fruit number per tree	单果重 Fruit weight/g	果实含水率 Fruit moisture content/%	水分利用 效率 WUE /(kg·hm ⁻² ·mm ⁻¹)
W1	24446.8a	59.6a	92.34b	89.0a	65.36c
W2	23303.7ab	49.3b	106.39a	89.7a	103.95b
W3	20777.2b	52.2ab	89.70b	90.7a	213.58a
CK	15845.3c	40.7c	87.76c	89.6a	34.76d

3 讨 论

桃树的新梢生长量和 MDS 的变化反映了不同水分处理对于树体营养生长的影响。本文研究显示,在滴灌条件下新梢生长量随灌水量的增加而增加,这与王连君等^[16]、李双双等^[17]的研究结果一致。试验结果表明:漫灌处理在花期、果实生长初期和硬核期的 MDS 波动较强,而 MDS 波动越强表明树体水分状况越不稳定^[15,18]。在滴灌处理下高水处理 W1 在果实生长期到成熟采摘期的 MDS 值显著高于 W2 和 W3,而 W2 在整个生育期均维持较低值。究其原因,由于 CK 的果实产量显著低于其他处理,因而 MDS 相对较低^[17];而 W1 由于高的果实产量和旺盛的营养生长,致使树干组织细胞收缩或膨胀强烈,因而其 MDS 值在果实生长发育期显著较高^[18-19]。由各生育期不同水分处理下 MDS 最大值和最小值出现的时间可以推断,MDS 的变化与果树的生育期有一定关系。

土壤干旱通过抑制树体叶片气孔的开度而降低光合效率,从而使叶绿素含量降低,减少有机物的累积^[18,20]。张青^[21]和张曼义^[22]等分别对七叶树幼苗和设施黄瓜的试验显示,随着水分胁迫时间的持续,七叶树叶片的叶绿素总含量先上升后下降;重度胁迫对黄瓜叶片叶绿素含量影响显著。本试验结果显示:在果实第二膨大期前段,W1、W3 的 SPAD 值显著低于 W2,此时由于果实膨大期需水量大,在复水后的 2~3 d 内高水处理 W1 的土壤含水率较高,使得叶片中 Mg⁺合成受阻,导致叶绿素含量下降^[23],到果实第二膨大期后段和成熟采摘期 W1 的 SPAD 值增大,显著高于 W3 和 CK,可见:由于

W3 较低的灌水量以及漫灌处理在需水关键期灌水时间太靠后,使土壤水分胁迫严重,叶绿素含量降低。由 W2 处理在整个果实生长期较高的 SPAD 值可以说明,适宜的滴灌灌水上限能在减少灌水量的同时使叶片在果实生长期具有较高的叶绿素含量。

果实的细胞分裂受水分胁迫影响较小,但细胞膨大对土壤干旱十分敏感^[24]。娄玉穗等^[10]通过不同灌水阈值对‘巨峰’葡萄生长影响的研究表明,中度灌溉的成熟葡萄果径显著大于胁迫灌溉和严重胁迫灌溉处理,曹晓庆等^[25]对膜下滴灌樱桃树的研究也表明,果实的单果重受灌水量影响显著,适宜灌水确实增加了单果重;而在桃树果实生长的非关键期进行调亏灌溉,最终的果径与充分灌溉无显著差异^[26]。本试验结果显示:CK 的果实横径和缝径在成熟采摘期显著低于其他处理。W2 处理果径和单果重最大的原因,可能是适度的水分亏缺使得桃树叶片经过硬核期的水分胁迫在复水后叶水势较高,其在果实第二膨大期的果实液胞水势较高,更有利于果实的膨大^[27];从库—源关系来看,W2 较高的叶片 SPAD 值产生较多的光合产物,在果个数相对较少时,单果重增大。武阳等^[28]对于亏缺灌溉对成龄香梨产量的研究表明,适度水分亏缺较充分灌溉提高了果实体积和产量,但李雅善等^[29]的研究却显示亏缺灌溉较充分灌水会显著降低果实产量。本研究表明,由于 W2 处理单果重大,产量下降并不严重,是 W1 的 95.3%,而 W3 和 CK 处理本身单株果个数较小,在第二膨大期果实水分需求不能满足,单果重均小于 W1,产量显著低于 W1。漫灌处理虽单次灌水量较大,但渗漏严重,并不能满足桃树生育期的水分需求;尤其在果实第二膨大期,桃树需水强烈,在膨大期末进行灌水导致补水不及时,果实膨大不充分,影响了单果重。因此,滴灌条件下适度的水分亏缺在减产不明显的情况下,能够大幅度提高水分利用效率,增加果实单果重,提升果实商品价值。

4 结 论

1)漫灌较地表滴灌劣势明显,由于该地区土壤为风沙土,当地的漫灌方式造成水分渗漏严重,果实生长关键期的水分需求不能满足,树干直径变化在生育期波动强烈,果实产量显著低于滴灌处理。

2)在滴灌条件下,过高的灌水量导致新梢生长量加大。低水处理 W3 由于灌水量过小,仅为高水处理 W1 的 25.9%,果实产量显著低于 W1。中水处理 W2 相比于高水处理 W1 节水 $150\text{ mm}\cdot\text{hm}^{-2}$,成熟期果实产量达到 W1 的 95.3%,且树干的 MDS 均值在各生育期稳定,树体水分状况较优;在果实生长发育阶段,该处理的树体光合作用亦优于其他处理,成熟期果实单果重显著大于其他处理,经济价值较高。因此,W2 处理较优,其生育期对应灌溉定额为 $1\ 120\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$,灌水次数为 7 次。

参 考 文 献:

[1] 周罕觅. 桃树需水信号对灌水量和微气象环境的响应研究[D]. 陕西杨凌:西北农林科技大学,2011.

[2] 贺军奇. 土壤水势与桃树生命互作过程试验研究[D]. 陕西杨凌:西北农林科技大学,2008.

[3] Lopez G, Echeverria G, Bellvert J, et al. Water stress for a short period before harvest in nectarine: Yield, fruit composition, sensory quality, and consumer acceptance of fruit [J]. *Scientia Horticulturae*, 2016,211:1-7.

[4] 丁金梅.陕北风沙区生态建设与经济发展互动模式[D]. 西安:陕西师范大学,2008.

[5] 许登科,杨泽元,郑志伟,等.陕北风沙草滩区包气带含水率、地下水埋深与降雨量的关系研究[J]. *灌溉排水学报*, 2017,36(1):22-28.

[6] 祖康祺. 土壤[M]. 北京:科学普及出版社,1986:24-25.

[7] 李绍华. 桃树学[M]. 北京:中国农业出版社,2013:1-13.

[8] 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.

[9] 强薇,赵经华,付秋萍,等. 调亏灌溉对滴灌核桃树生长及产量的影响[J]. *干旱区资源与环境*, 2018, 32(8): 186-190.

[10] 娄玉穗,王世平,苗玉彬,等. 不同灌溉阈值对‘巨峰’葡萄树体生长与果实品质的影响[J]. *果树学报*,2018, 35(1):46-55.

[11] 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.

[12] 周罕觅,张富仓,李志军,等. 桃树需水信号及产量和果实品质对水分的响应研究[J]. *农业机械学报*,2014,45(12):171-180.

[13] 魏景臣,王菊芬,田玉命. 特早熟甜油桃新品种秦光 6 号[J]. 西

北园艺(果树),2010,(4):33-34.

[14] Allen R G, Pereira L S, Raes D, et al. Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements[J]. *FAO Irrigation and Drainage Paper*, 1998:56.

[15] Fernández J E, Cuevas M V. Irrigation scheduling from stem diameter variations: a review[J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2010, 150(2):135-151.

[16] 王连君,王程翰,乔建磊,等.膜下滴灌水肥耦合对葡萄生长发育、产量和品质的影响[J]. *农业机械学报*,2016,47(6):113-119.

[17] 李双双,王德炉,赵迪. 水肥耦合对蓝莓树体生长及果实品质的影响[J]. *经济林研究*,2017, 35(3): 234-238.

[18] 帕拉帝. 木本植物生理学[M].北京:科学出版社,2011:71-83,191-197.

[19] 兰伯斯,斯图尔特,庞斯. 植物生理生态学[M].杭州:浙江大学出版社,2005, 124-131.

[20] Reddy A R, Chaitanya K V, Vivekanandan M. Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants [J]. *Journal of Plant Physiology*, 2004, 161(11):1189-1202.

[21] 张青,彭祚登. 七叶树幼苗对水分胁迫和复水的生理响应[J]. *中南林业科技大学学报*, 2018, 38(4): 46-53.

[22] 张曼义,杨再强,侯梦媛. 土壤水分胁迫对设施黄瓜叶片光合及抗氧化酶系统的影响[J]. *中国农业气象*, 2017, 38(1):21-30.

[23] Cornish K, Radin J W, Turcotte E L, et al. Enhanced photosynthesis and stomatal conductance of pima cotton (*Gossypium barbadense* L.) bred for increased yield[J]. *Plant Physiology*, 1991, 97(2):484-489.

[24] 李绍华. 果树生长发育、产量和果实品质对水分胁迫反应的敏感期及节水灌溉[J]. *植物生理学报*,1993,(1):10-16.

[25] 曹晓庆,杨培岭,李憑峰. 膜下滴灌施肥对樱桃产量品质和土壤肥力的影响[J].*中国农业大学学报*, 2018, 23(11):133-141.

[26] Rosalía A, José M. M, Juan J A, et al. Effects of irrigation and fruit position on size, colour, firmness and sugar contents of fruits in a mid-late maturing peach cultivar [J]. *Scientia Horticulturae*, 2013, 164:340-347.

[27] 雷廷武,曾德超,王小伟,等. 调控亏水度灌溉对成龄香梨树树体生长和产量的影响[J]. *农业工程学报*, 1991,7(4):63-69.

[28] 武阳,王伟,黄兴法,等. 亏缺灌溉对成龄库尔勒香梨产量与根系生长的影响[J]. *农业机械学报*, 2012, 43(9):78-84.

[29] 李雅善,李华,王华,等. 设施栽培下不同灌溉处理对‘希姆劳特’植株生长及果实的影响[J].*中国农业科学*, 2014, 47(9):1784-1792.