

水分调控对日光温室油桃生理生化及果实品质的影响

张帆, 王晨冰, 赵秀梅, 牛茹萱, 王发林
(甘肃省农业科学院林果花卉研究所, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 为探索水分调控下设施油桃生长发育机制, 完善日光温室条件下水分调亏灌溉理论, 给油桃生产实践提供理论支持, 以陇油桃1号为试材, 采用膜下滴灌控制水分供应, 以土壤相对含水量80%~90%为对照, 研究不同水分调控(30%~40%、40%~50%、50%~60%)处理对油桃“营养生长-生殖生长”的调控效应及生理生化和果实品质的影响。结果表明, 缩冠修剪后, 油桃树体营养生长态势呈“双峰”曲线。各处理枝条生长长度、果实横径与土壤水分含量呈正相关关系。土壤相对含水量为40%~50%时, 叶片膜透性增幅最小, 但水分利用效率最高, 较土壤相对含水量为80%~90%时增加19%。4个处理的叶片OJIP曲线中, J-I相呈降低趋势, 土壤相对含水量为30%~40%时I点和P点的最低, 其余处理间无显著差异。土壤相对含水量与果实有机酸、Vc、还原糖含量均呈负相关, 而与糖酸比呈正相关, 除土壤相对含水量为30%~40%的处理外, 其余处理间差异不显著。综上所述, 日光温室油桃栽培中, 适当修剪结合控水有利于枝条生长发育, 同时可提高果实品质。土壤相对含水量40%~50%为温室较适宜的控水范围。

关键词: 日光温室; 油桃; 营养生长/生殖生长; 水分调控; 果实品质

中图分类号: S662.1

文献标志码: A

文章编号: 2097-2172(2023)06-0542-06

doi: 10.3969/j.issn.2097-2172.2023.06.012

Effects of Water Regulation on Physiological and Biochemical Characteristics and Fruit Quality of Nectarine in Solar Greenhouses

ZHANG Fan, WANG Chenbing, ZHAO Xiumei, NIU Ruxuan, WANG Falin
(Institute of Fruit and Floriculture Research, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou Gansu 730070, China)

Abstract: In order to explore the growth and development mechanism of protected nectarine production under water regulation so as to supplement and improve the theory of water deficit irrigation under special conditions in solar greenhouses and to provide the theoretical support for production practice, using Long nectarine 1 as the test material, drip irrigation under film was used to control water supply with the relative soil moisture content of 80 to 90% used as the control, the regulation effects of different water regulation treatments (30% to 40%, 40% to 50% and 50% to 60%) on nutritional growth-reproductive growth, physiological and biochemical characteristics, and fruit quality of nectarine were studied. The results showed that a 'double peak' curve of tree nutritional growth was formed after pruning the peach crown, positive correlations were found in the growth length of branches, the rate of fruit expansion with the soil moisture content, respectively. 40% to 50% treatment showed the smallest increase in leaf membrane permeability, but the water use efficiency was the highest which was increased by 19% compared to the control. Among the four treatments, the J-I phase showed a decrease in leaf OJIP curves, with the lowest values at point I and point P in 30% to 40% treatment whereas no significant differences were detected among other treatments. The soil moisture content was negatively correlated with the organic acid, Vc, and reducing sugar contents, while it was positively correlated with the sugar acid ratio, but differences among treatments were not significant except for 30% to 40% treatment. In summary, appropriate pruning combined with water control in nectarine cultivation in solar greenhouses is beneficial for branch growth and development, while improving fruit quality, and relative soil moisture content of 40% to 50% is more suitable for greenhouse water regulation range.

Key words: Solar greenhouse; Nectarine; Nutritional growth/reproductive growth; Water regulation; Fruit quality

收稿日期: 2023-04-19; 修订日期: 2023-05-05

基金项目: 国家自然科学基金地区基金(31460118); 国家桃产业技术体系兰州综合试验站(CARS-30-Z-17)。

作者简介: 张帆(1976—), 女, 新疆石河子人, 副研究员, 博士, 主要从事果树育种与栽培生理调控研究工作。
Email: zhfan528@163.com。

通信作者: 王发林(1964—), 男, 河南南乐人, 研究员, 博导, 研究方向为果树育种与栽培生理。Email: wangfalint@263.com。

利用自主研发的日光温室栽培果树已成为我国现代果树产业发展的重要形式^[1-2]。在日光温室有限的空间内, 油桃果实采收后的缩冠修剪(修剪量占枝条总量的 70%左右)是维持适宜树体结构, 保证丰产、稳产的关键技术。但缩冠修剪后的充分灌溉易造成营养生长旺盛, 影响花芽分化, 人工修剪成本增加、水肥资源浪费严重。前人对日光温室条件下的油桃修剪技术、病虫害防治、水肥管理进行等方面展开了研究^[3-5], 但对西北河西走廊日光温室缩冠修剪结合水分调控条件下油桃果实品质的研究未见系统报道。我们采用日光温室定位试验与实验室测定相结合的方法, 研究了树体生理生化和品质等对水分调控的补偿效应, 以揭示水分调控下树体的协同生长发育机制, 完善日光温室条件下水分调亏灌溉理论, 为生产实践提供理论支持。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于 2018—2019 年连续 2 a 在甘肃省农业科学院张掖试验场日光温室进行, 指示油桃品种为陇油桃 1 号, 2009 年定植, 株行距为 1 m × 2 m, 树龄为 9 年生。

1.2 试验地概况

试验基地位于北纬 39° 42′、东经 98° 23′, 海拔 1 642.2 m。1 月平均温度 -19 °C, 年平均气温 7 °C。年均降水量 80 mm, 年均蒸发量 2148 mm。全年日照时数 2 854 ~ 3 053 h, 年总辐射量在 606.1 kJ/cm² 以上, 平均无霜期 142 d。供试日光温室为单坡式, 棚内有效面积 427 m²。土壤为客土, 深度 80 cm, 灌淤土, 土壤含有机质 14 g/kg, pH 8.2。

1.3 试验方法

试验共设 4 个水分控制处理, 分别为对照(CK), 土壤相对含水量为 80% ~ 90%; T1, 相对含水量为 30% ~ 40%; T2, 相对含水量 40% ~ 50%; T3, 相对含水量 50% ~ 60%。试验完全随机区组设计, 3 次重复, 每小区 8 株(5 株长期定位试验, 3 株用于测定试验)。5 月 22 日进行缩冠修剪。其余管理同常规。

1.4 测定指标及方法

1.4.1 土壤相对含水量测定 采用膜下滴灌控制

灌水量。用 L99-TWS-4 土壤水分自动测定仪(L99-TWS-4 土壤水分自动测定仪由浙江杭州汇尔仪器设备有限公司生产)测定。以距主干 30 cm、深度 30 cm 处的土壤相对含水量。

1.4.2 枝条新梢长度、果实横径、叶片膜透性测定

2018 年 12 月 27 日开始, 每隔 7 d 测定 1 次。每处理选择长势一致的样树 10 株, 每株按树冠上中下标记待测枝, 同方位标记 5 枝作为重复, 用游标卡尺测定枝条长度, 每隔 7 d 测定 2 次, 连续测定 1 个生育期, 并绘制枝条长度生长曲线图。2 月中旬幼果发育期时每处理选 5 株样树, 每株按照不同方位取 10 个果实, 用游标卡尺测定果实横径, 取平均值, 精确到 0.1 cm。2018 年 5 月份开始, 每隔 30 d 测定 1 次, 采用电导率仪(DDSJ-308F, 上海仪电科学仪器股份有限公司提供)测定叶片膜透性, 每处理测定 3 次, 取平均值。

1.4.3 光合作用参数测定 日变化的测定: 选择典型晴天, 在 7:00 ~ 18:00 时测定并记录净光合速率(P_n), 蒸腾速率(T_r)、气孔导度(G_s)和胞间 CO₂ 浓度(C_i)。设定数据采集时间为 200 s, 稳定后记录, 每处理测定 3 株, 取平均值。标记待测叶片并重复测量, 每个标记叶至少 3 个稳定读数。光合日变化测定是在完全能够通过太阳辐射的叶片上进行的, 使用便携式光合仪(LI-6400, LI-COR)、P_n-C_i 和 P_n-PAR 曲线测量选取相同树叶。在油桃成熟前 8 天选择典型晴天, 响应曲线测定在每天 8:00 ~ 11:30 时完成。

1.4.4 叶绿素快速荧光测定 用快速荧光仪 MI-NI-PAM-II(Hansatech Instruments Ltd, UK)测定叶绿素荧光。在 9:00 时测定, 选取健壮并长势一致的树体, 测定其叶片叶绿素 a 快相荧光动力学曲线(OJIP), 同时测定固定荧光(F_o)和最大荧光(F_m)。测定前所有叶片均暗适应 30 min, 每株测 5 个叶片。对 OJIP 曲线进行 JIP-test 分析。在 O-J-I-P 荧光诱导曲线中, J 点表示 2 ms 的荧光强度、I 点表示 30 ms 的荧光强度、P 点表示最大荧光强度, 用 O-J 相表示标准化荧光上升互补面积。

1.4.5 果实品质测定 每处理选取 30 个样果, 用数显果实硬度计(爱德堡 GY-4)测定果实硬度, 取平均值。各处理在同一高度的相同方位选 3 个枝, 每枝选 3 个样果, 参照李合生^[6]的方法测定果实

可溶性固形物、有机酸、Vc 含量、相对含水量、可溶性糖含量、糖酸比和还原糖含量。

1.5 统计分析

采用 WPS 2019 和 SPSS19.0 统计分析软件进行数据处理, LSD 法比较差异显著性。

2 结果与分析

2.1 水分调控对油桃枝条生长的影响

从图 1 可知, 日光温室油桃枝条生长呈 2 次明显高峰指数曲线。2 月 7 日至 4 月 20 日为第 1 次枝条快速生长阶段, 4 月 20 日以后枝条基本停止生长。缩冠修剪后, 5 月 29 日至 7 月 14 日呈现第 2 次快速生长, 7 月 20 日后基本停止生长。可见, 在日光温室条件下, 桃树采果后进行缩冠修剪, 形成了树体营养生长的“双峰”曲线。同时还发现, 不同水分调控处理下枝条长度变化不同, 在整个生育期, 各处理的枝条长度生长表现为处理 T1 < 处理 T2 < 处理 T3 < CK, 与 CK 相

比, 处理 T3 最长、处理 T1 最短。

2.2 水分调控对油桃果实发育的影响

由图 2 可知, 果实横径生长曲线呈 3 个较明显的阶段, 第 1 阶段(2 月 20 日至 3 月 28 日)和第 3 阶段(4 月 16 至 5 月 10 日)果实生长很快, 尤其是第 3 阶段, 由于果实细胞迅速膨大, 此阶段的果实生长量可占收获时的 50% 以上。第 2 阶段(3 月 28 日至 4 月 16 日)果实生长相对缓慢。表明不同处理的果实横径生长存在差异, 各处理果实横径为处理 T1 < 处理 T2 < 处理 T3 < CK, 与 CK 相比, 处理 T3 最长、处理 T1 最短。

2.3 水分调控对油桃叶片膜透性的影响

由图 3 可知, 随着水分调控时间的延长, 各处理叶片膜透性呈现缓慢上升。经过 5 个月, 处理 T1、处理 T2、处理 T3、CK 的叶片膜透性分别增加 35.6%、28.9%、35.6%、32.6%, 处理 T2 增幅最小, 其余处理间差异不显著。10 月份处理

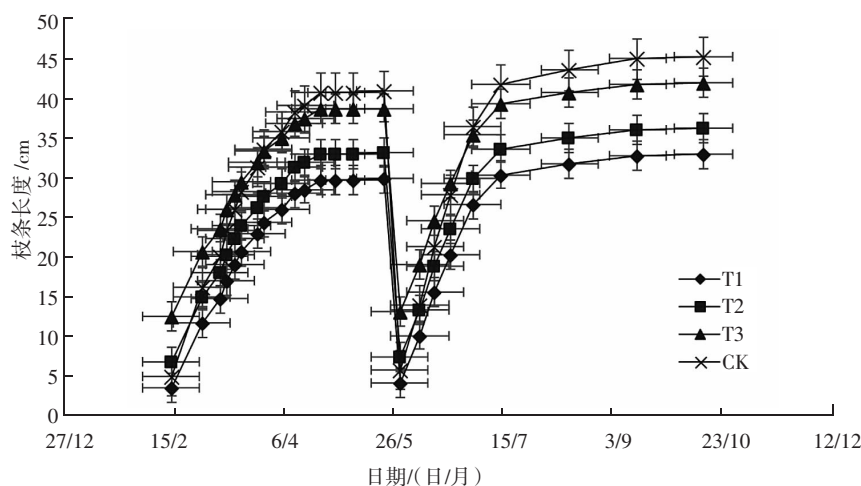


图 1 水分调控对日光温室油桃枝条生长规律的影响

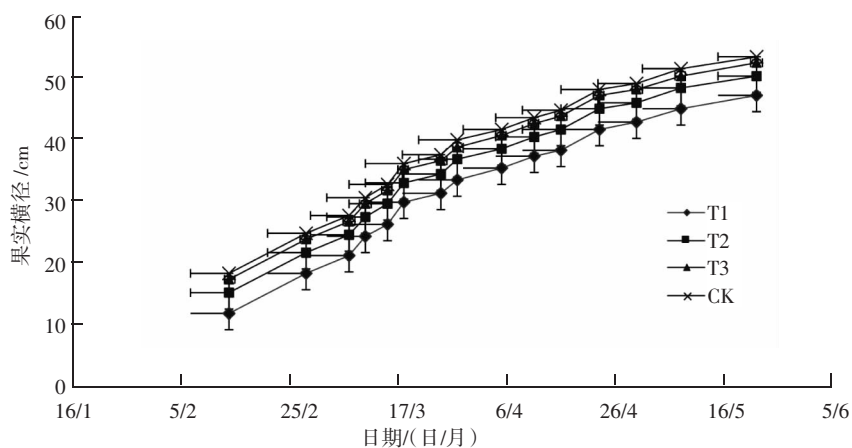


图 2 水分调控对日光温室油桃果实发育规律的影响

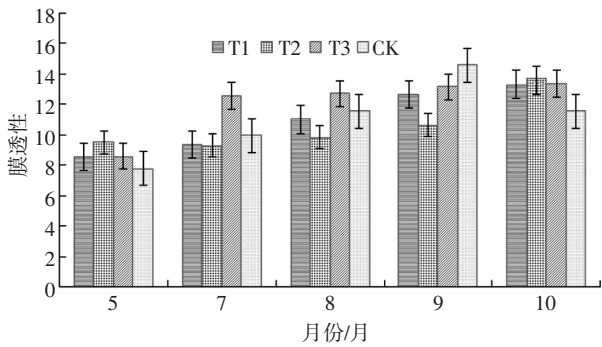


图3 水分调控对日光温室油桃叶片膜透性的影响

T1、处理 T2、处理 T3 的叶片膜透性较 CK 分别增加 9.2%、11.7%、9.2%。

2.4 水分控制对油桃光合参数的影响

与 CK 相比, 随着土壤相对含水量的下降, 油桃净光合速率和蒸腾速率呈先降后升再降的趋势(图 4, 表1)。处理 T1 的净光合速率和蒸腾速率较 CK 分别下降 21%和 33%; 叶片胞间 CO₂ 浓度和气孔导度变化趋势也呈先降后升再降趋势, 这也验证了 CO₂ 浓度变化与气孔导度的变化具有一定的相关性, 因为 CO₂ 通过气孔进入植物体, 而气孔导度与胞间 CO₂ 浓度直接相关。不同土壤相对含水量对桃树瞬时水分利用效率影响尤为显著, 处理 T1 水分利用效率最高, 较 CK 增加 19%。

光响应曲线和 CO₂ 响应曲线因控水梯度不同

而各异(图 4)。随着光有效辐射增加, 4 个处理的光响应和 CO₂ 响应均呈上升状, 其中光响应由高到低依次为 CK、处理 T2、处理 T3、处理 T1; CO₂ 响应 CK 最大, 其次为处理 T1, 处理 T2 最小。

2.5 水分调控对油桃叶绿素快速荧光的影响

不同水分处理下测定的快速叶绿素荧光诱导曲线 OJIP 之间 Fo 和 Fm(VOP) 的转变如图 5 所示。与 CK 处理相比, 3 个处理的 OJIP 曲线偏离程度均有所增加, 其中 J-I 相中 I、P 点荧光产额缓, 呈降低趋势, 最低为处理 T2。同时最大荧光强度

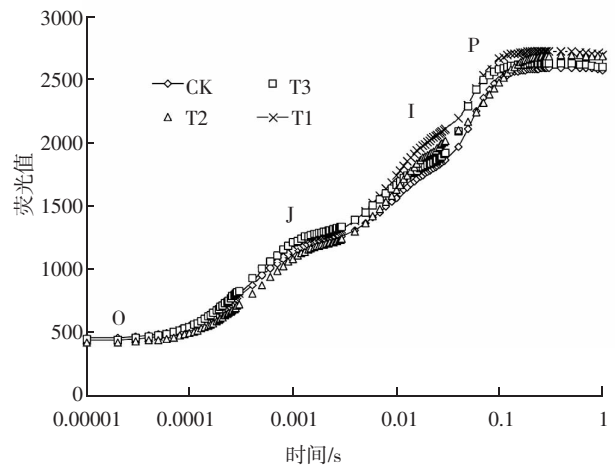


图5 水分调控对日光温室油桃叶绿素快速荧光的影响

表 1 水分调控对日光温室油桃光合速率的影响

处理	净光合速率(Pn) /[$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	气孔导度(Gs) /[$\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	胞间 CO ₂ 浓度(Ci) /[$\mu\text{mol}/\text{mol}$]	蒸腾速率(Tr) /[$\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	水分利用率(WUE) /[$\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$]
T1	13.5±0.43 d	0.19±0.01 c	203±15 b	3.2±0.5 c	4.22±0.12 a
T2	18.7±1.21 a	0.23±0.02 a	244±23 a	5.3±0.7 a	3.53±0.11 c
T3	15.6±0.32 c	0.20±0.03 b	215±11 b	4.1±0.5 b	3.80±0.11 b
CK	17.1±0.17 b	0.22±0.01 a	239±14 a	4.8±0.3 b	3.56±0.10 b

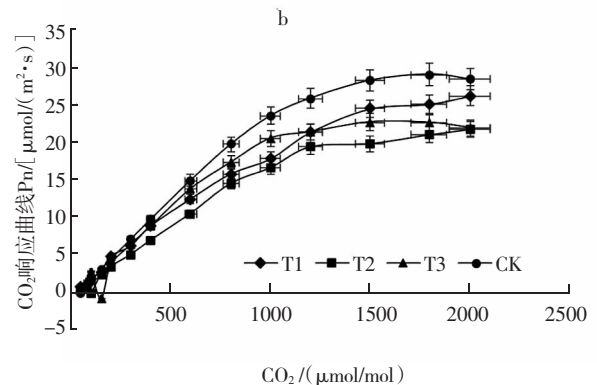
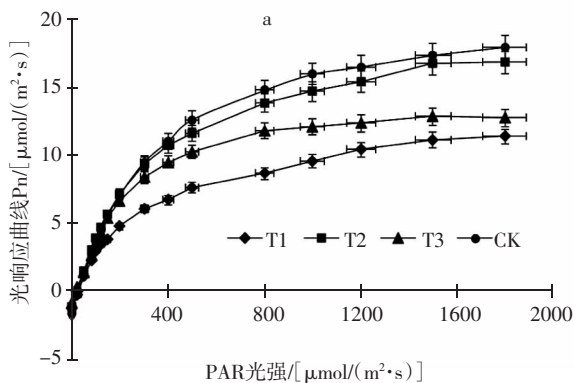


图4 水分控制对日光温室油桃光响应曲线(a)和 CO₂响应曲线(b)的影响

(P) 均降低，下降幅度处理 T3 最大，处理 T2 最小，但不同处理间相对可变荧光强度差异不显著。

2.6 水分调控对果实品质的影响

图 6 可知，随着土壤水分含量增加，油桃果实的有机酸、Vc、还原糖含量均呈下降状(图 6 a、b、h)，而糖酸比变化趋势则相反(图 6 g)。果实硬度、相对含水量、可溶性糖含量因土壤相对含水量增加呈先增加后降低趋势，均以处理 T2 最高(图 6

c、e、f)。可溶性固型物含量呈“S”状，处理间差异不显著(图 6-d)。

3 讨论与结论

桃树生长旺盛、生长量大，由于枝条的迅速生长使得树冠过分茂盛，影响花芽分化和果实产量、品质^[7]，尤其日光温室桃树，由于生长旺盛往往影响到光照、果实品质，增加管理成本^[5]，因此需在收果后进行缩冠修剪。本试验中，采果

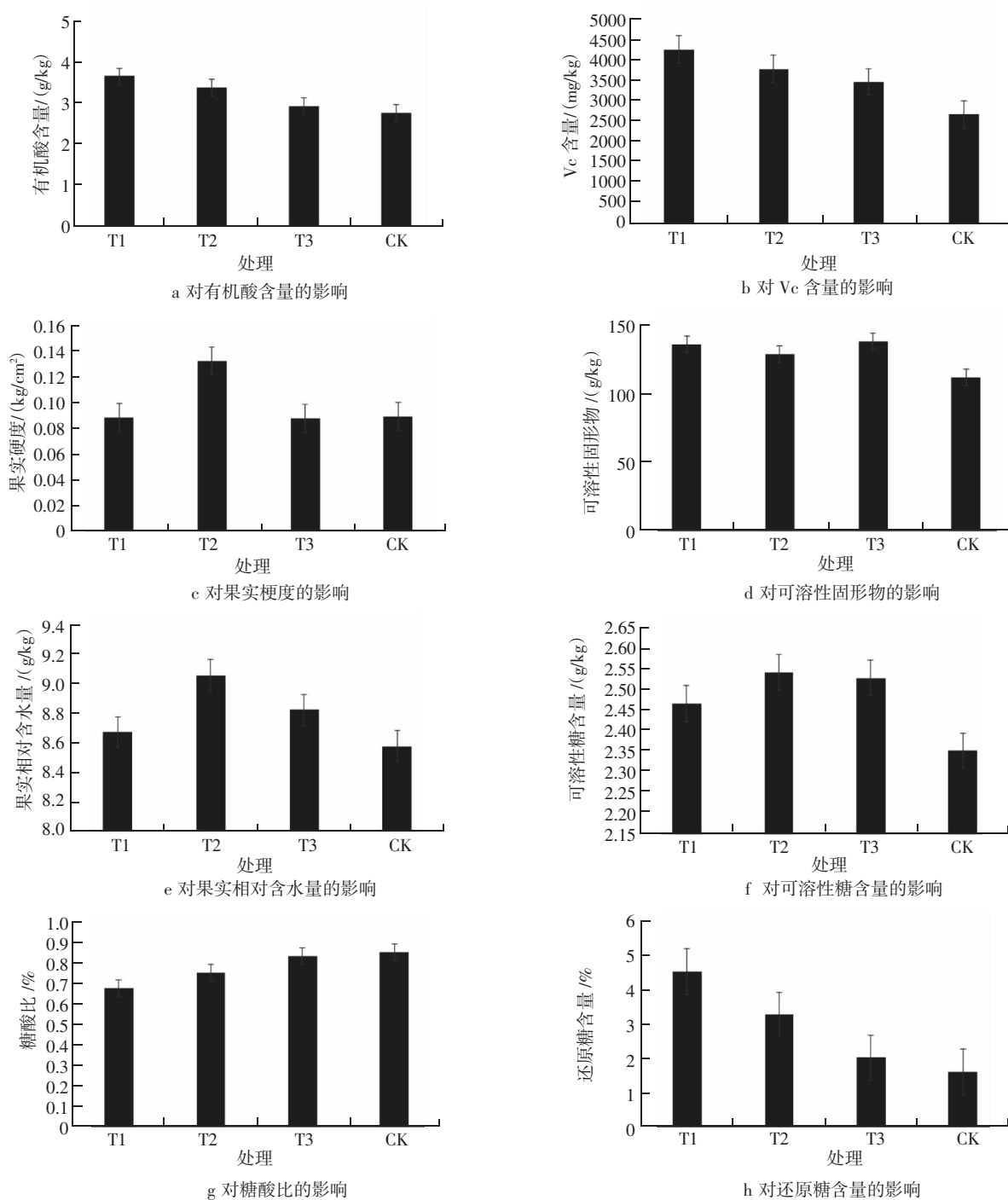


图 6 水分调控对设施油桃果实品质变化的影响

后 5 月底缩冠修剪后, 油桃树形成了树体营养生长的“双峰”曲线。但因不同水分调控处理间枝条生长量发生了相应变化, 说明了设施桃进行水分调控的必要性。有研究表明, 调亏灌溉处理的果树产量基本上不受影响, 并有效地抑制了枝条的生长, 夏季修剪量减少了 30% 以上, 各处理坐果率均大于 85%, 对果实发育影响较小^[8]。本试验发现, 果实膨大与土壤相对含水量呈正相关, 但处理间差异不显著, 这与他人的研究结果一致。

水分调控使设施油桃光合特性发生变化。除土壤相对含水量为 40%~50% 的处理外, 随着土壤相对含水量降低, 油桃净光合速率、蒸腾速率、胞间 CO₂ 浓度和气孔导度均有所下降, 并且随土壤相对含水量的减小逐渐增大, 这一结果与王鸿等^[9]的研究存在一定差异, 可能是气孔导度的变化趋势具有一定的相关性, 因为 CO₂ 通过气孔进入植物体, 而气孔开度与胞间 CO₂ 浓度直接相关, 其原因需进一步研究。

果实品质和产量是衡量栽培水平的主要指标^[10]。本试验中, 随着土壤水分含量增加, 油桃果实的有机酸、Vc、还原糖含量均降低, 而糖酸比提高, 果实硬度、相对含水量、可溶性糖含量则均呈先升后降的态势; 土壤相对含水量为 40%~50% 时较高, 且可溶性固型物含量处理间无显著差异, 与谯阳^[11]的研究结果相悖, 原因可能与栽培环境和品种间存在差异有关, 具体需进一步研究。

土壤相对含水量为 40%~50% 时, 叶片膜透性增幅最小, 但水分利用效率最高, 较土壤相对含水量为 80%~90% 时增加 19%。4 个处理的叶片 OJIP 曲线中, J-I 相呈降低趋势, 土壤相对含水量为 30%~40% 时 I 点和 P 点的最低, 其余处理间无显著差异。土壤相对含水量与果实有机酸、Vc、还原糖含量均呈负相关, 而与糖酸比呈正相关, 除土壤相对含水量为 30%~40% 的处理外, 其余处理间差异不显著。

综上, 日光温室条件下, 由于采果后的缩冠修剪, 造成了油桃树体营养生长的“双峰”曲线。在树体“器官再造”过程中进行水分调控, 对根系的生长与更新、树体营养生长发育产生了影响, 形成了桃树营养生长与生殖生长的补偿效应, 适当控水影响了树体生长特性, 提高了耐受性, 提高了果实品质。可见, 在日光温室条件下, 适当控水既能节约油桃生产成本, 又不至于明显降低油桃果实品质。

参考文献:

- [1] 玄志友. 不同树形影响桃树果实品质[J]. 中国果业信息, 2022, 39(11): 56-57.
- [2] 王晨冰, 王 鸿, 赵秀梅, 等. 非耕地日光温室条件下 10 个桃品种的光合日变化特征研究与分析[J]. 甘肃农业科技, 2019(11): 20-25.
- [3] 王 鹏. 浅谈日光节能温室桃树栽培技术[J]. 种子科技, 2020, 38(17): 59-60.
- [4] 曾志芳. 不同树形对桃树冠层光环境及果实品质的影响[J]. 东南园艺, 2022, 10(3): 181-186.
- [5] 于立群. 浅谈日光节能温室桃树栽培技术[J]. 种子科技, 2021, 39(12): 57-58.
- [6] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 长沙: 高等教育出版社, 2000.
- [7] 葛彩霞, 史少松. 日光温室桃树栽培与整形修剪技术要点分析[J]. 中国农业文摘-农业工程, 2023, 35(2): 26-29.
- [8] 黄兴法, 李光永, 曾德超. 调亏灌溉—果园节水管理新技术[J]. 节水灌溉, 2001(2): 12-14.
- [9] 王 鸿, 张 帆, 张雪冰, 等. 不同桃自根砧对干旱胁迫的生理响应及抗逆机理研究[J]. 寒旱农业科学, 2022, 1(1): 66-72.
- [10] 王 鑫, 于柱英, 赵连鑫, 等. 沙地桃品种果实物候期和果实品质比较研究[J]. 寒旱农业科学, 2023, 2(1): 44-49.
- [11] 谯 阳. 四份桃资源对高温和水分及其复合胁迫的生理响应[D]. 武汉: 华中农业大学, 2022.