

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2024.01.005

田洋, 喻莹, 何瑞杰, 等. 重庆三峡库区塔罗科血橙不同树形的冠层特性、产量和品质分析 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2023, 46(1): 59-68.

## 重庆三峡库区塔罗科血橙不同树形的冠层特性、产量和品质分析

田洋<sup>1,2</sup>, 喻莹<sup>1</sup>, 何瑞杰<sup>1</sup>, 何满<sup>1</sup>, 郑永强<sup>1</sup>, 吕强<sup>1</sup>,  
谢让金<sup>1</sup>, 马岩岩<sup>1</sup>, 邓烈<sup>1</sup>, 朱文祥<sup>2,3</sup>, 易时来<sup>1</sup>

- 西南大学 柑桔研究所/中国农业科学院柑桔研究所/国家柑桔工程技术研究中心/国家数字种植业(柑橘)创新分中心, 重庆 400712;
- 重庆三峡职业学院 农林科技学院, 重庆 万州 404155; 3. 重庆蕤峰园农业有限公司, 重庆 万州 404000

**摘要:** 以 11 年生枳橙砧塔罗科血橙为试验对象, 设计圆头形、主干形、开心形等 3 种树形处理, 研究不同树形对血橙冠层特性、快速叶绿素荧光、果实产量及品质等的影响, 提出重庆三峡库区塔罗科血橙最适宜的树形, 为血橙优质丰产树形培养和树体改造提供技术支撑与理论依据。结果表明, 3 种树形的冠层特性存在明显差异, 其中冠层透光性从强到弱依次为开心形、主干形、圆头形; 主干形和开心形的 PSII 原初最大光能转换效率( $F_v/F_m$ )、春梢叶片单位面积吸收的光能( $ABS/CS_o$ )明显提升, 反应中心的热消耗( $DI_o/RC$ )和秋梢叶片单位面积热耗散能量( $DI_o/CS_o$ )显著降低。主干形和开心形均能有效提升春、秋梢叶片的光合结构性能( $PI_{abs}$ ,  $PI_{total}$ ), 以主干形处理相对最佳。2022—2023 年度产量、单果质量、固酸比和维生素 C 含量从高到低均依次为主干形、开心形、圆头形, 可溶性固形物和花色苷含量从高到低依次为开心形、主干形、圆头形。因此, 重庆三峡库区塔罗科血橙宜选择主干形树形进行培养, 以获得最佳产量和品质。

**关键词:** 重庆三峡库区; 塔罗科血橙; 树形; 冠层特性; 产量; 品质

中图分类号: S666.4

文献标志码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):

文章编号: 1673-9868(2024)01-0059-10



## Analysis of Canopy Characteristics, Yield, and Quality of Tarocco Blood Orange with Different Tree Forms in Chongqing Three Gorges Reservoir Area

收稿日期: 2023-03-15

基金项目: 国家重点研发计划课题(2018YFD0700602, 2016YFD0200104); 重庆市技术创新与应用发展专项面上项目(cstc2020jcsx-msxmX0026, cstc2020jcsx-msxm0079); 中国农业科学院柑桔研究所荆门专家工作站(第二期)项目。

作者简介: 田洋, 硕士研究生, 主要从事果树栽培生理研究。

通信作者: 易时来, 副研究员。

TIAN Yang<sup>1,2</sup>, YU Ying<sup>1</sup>, HE Ruijie<sup>1</sup>, He Man<sup>1</sup>,  
ZHENG Yongqiang<sup>1</sup>, LYU Qiang<sup>1</sup>, XIE Rangjin<sup>1</sup>,  
MA Yanyan<sup>1</sup>, DENG Lie<sup>1</sup>, ZHU Wenxiang<sup>2,3</sup>, YI Shilai<sup>1</sup>

1. Citrus Research Institute, Southwest University/National Citrus Engineering Research Center/  
Citrus Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences/National Digital Planting (Citrus)  
Innovation Sub-Center, Chongqing 400712, China;
2. Department of Agricultural and Forestry Science and Technology, Chongqing Three Gorges  
Vocational College, Wanzhou Chongqing 404155, China;
3. ChongqingRui Fengyuan Agriculture Co. Ltd, Wanzhou Chongqing 404000, China

**Abstract:** The effects of different tree forms on the characteristics, photosynthesis, yield and quality of Tarocco blood orange in the Three Gorges reservoir area were studied to determine the most suitable Tarocco blood orange tree form for the ecological conditions of Three Gorges reservoir area, so as to provide technical support and theoretical basis for the tree shapes training and tree transformation of blood orange. Taking 11-year-old Tarocco blood orange trees grafted on *Poncirus trifoliata* (L.) with three tree forms of natural round form (RHS), central leader form (TS) and open center form (OCS) in Ganning town, Wanzhou district, Chongqing City as materials, the variation of tree canopy characteristics, chlorophyll fluorescence, fruit quality and yield per tree were evaluated. The results showed that the canopy characteristics of the three tree forms were significantly different. The order of canopy light transmittance was OCS>TS>RHS. The  $F_v/F_m$ , the ABS/CS<sub>o</sub> of spring shoot leaves of TS and OCS were significantly increased, the  $D_{Io}/RC$  and the  $D_{Io}/CS_{o}$  of autumn shoot leaves were significantly reduced. Both TS and OCS can effectively improve the photosynthetic structure performance ( $PI_{abs}$ ,  $PI_{total}$ ) of spring and autumn shoot leaves, but the TS was relatively optimal. The order of yield, single fruit weight, TSS/TA and vitamin C content was TS>OCS>RHS, and the order of TSS and anthocyanin content was OCS>TS>RHS, in 2022–2023. Therefore, the TS should be selected for the cultivation of Tarocco blood orange in the Three Gorges reservoir area of Chongqing in order to achieve the best yield and quality.

**Key words:** Chongqing Three Gorges reservoir area; Tarocco blood orange; tree form; tree canopy characteristics; yield; fruit quality

柑橘是我国和世界第一大水果,根据《中国统计年鉴 2020》数据,我国柑橘栽培面积和产量分别为 261.73 万  $hm^2$  和 4 584.54 万  $t^{[1-2]}$ 。近年来,我国晚熟柑橘得到了快速发展,基本满足了 3–6 月柑橘市场的消费需求。塔罗科血橙新系是我国从意大利引进后由中国农业科学院柑桔研究所选育的晚熟柑橘品种之一,该品系 1–4 月成熟,留树可延长至 5–6 月采收,其果实表面、果肉呈玫瑰色,有玫瑰香气,因其酸甜可口,富含花青素,深受广大消费者喜爱,在重庆三峡库区广泛栽植<sup>[3-4]</sup>。重庆三峡库区因其特有的高温高湿寡照条件十分适宜该品种的栽植,由于该品种树势中等偏强,加上缺乏科学合理的整形修剪技术,其枝条徒长、树冠郁闭、成花及结实率低、果实酸度偏高<sup>[5]</sup>。因此,研究重庆库区不同树形对塔罗科血橙新系的冠层生理特性及产量和品质的影响,确定该地区血橙最适宜的树形,并形成相应的整形修剪技术对策,为重庆三峡库区塔罗科血橙健康可持续发展提供技术支持。

不同树形的冠层内光照条件不同,从而影响树体光合作用,最终影响果实的产量和品质<sup>[6-7]</sup>。目前,国内有关树形对果树光合作用、果实品质等的影响研究主要集中在苹果<sup>[8]</sup>、梨<sup>[9]</sup>等水果作物上,在柑橘<sup>[10]</sup>上也有相关研究,但针对近年发展的晚熟柑橘树形研究报道较少,尤其针对树形与冠层特性、光合效率及果

实产量品质的相关研究鲜见报道. 本试验选择重庆三峡库区结果盛期的塔罗科血橙为对象, 开展不同树形对树体冠层特性、叶绿素荧光及果实产量品质的影响研究, 提出重庆库区塔罗科血橙适宜的合理树形, 为塔罗科血橙优质丰产树形培养提供理论依据.

## 1 材料和方法

### 1.1 试验地点与试验材料

试验在重庆市万州区甘宁镇四月红玫瑰香橙园进行. 该果园位于北纬  $30^{\circ}40'$ 、东经  $108^{\circ}15'$ , 平均海拔 335 m, 气候属亚热带季风气候型, 年均气温  $17.7^{\circ}\text{C}$ , 平均年日照 1 485 h, 年均降水量 1 200 mm 以上. 果园土壤 pH 值 5.4、有机质 12.46 g/kg、碱解氮 66.85 mg/kg、有效磷 35.28 mg/kg、速效钾 249.01 mg/kg. 试验区域为缓坡地果园, 果园采用宽行密株起垄栽培, 行向为顺坡排水方向, 株行距为  $3\text{ m}\times 5\text{ m}$ . 试验树为 13 年生(2010 年栽植) 卡里佐枳橙 (*Citrus sinensis*  $\times$  *Poncirus trifoliata*) 砧塔罗科血橙 (*C. sinensis* Tarocco).

### 1.2 试验处理

于 2021 年 2 月塔罗科血橙采果后, 选择树势及栽培管理一致的柑橘树 30 株, 按自然圆头形(简称圆头形)、开心形、变则主干形(简称主干形) 3 种常见树形进行试验处理<sup>[11]</sup>, 每处理各 10 株, 单株重复. 主干形处理: 按树体中央主干形培养, 保留树冠中层 2 个、下层 3 个大枝作为树体主枝, 并进行主枝延长枝的回缩处理, 保持株间间距约 30 cm, 抹去主枝上萌发的直立向上徒长枝, 对其他较长的新梢及时摘心. 开心形处理: 疏去主干顶端部分, 保留中下部 3~4 个主枝, 并进行主枝延长枝的回缩处理, 保持树冠间距约 30 cm, 此后注意抹去主枝上萌发的直立向上徒长枝, 对其他较长新梢及时摘心. 圆头形处理: 除对树体过于郁闭枝梢进行适当疏枝外, 基本不对树体结构做过多的处理. 3 种树形处理在 10 月统一疏除夏梢, 所有试验处理树的水肥管理、病虫害防治等按常规统一进行.

### 1.3 样品采集与项目测定

#### 1.3.1 冠层特性

于 2022 年 10 月秋梢老熟时测量不同树形塔罗科血橙的冠幅和株高. 采用 CI-110 植物冠层分析仪(美国 CID 公司)对植株冠层进行测量. 于 7—10 月(果实膨大期)的每月下旬, 选择晴天的 16:00—18:00, 将鱼眼镜头置于冠层下距地表 20 cm 处, 调整镜头指向北方. 将天顶角划分为 5 环, 角度分别为  $8^{\circ}$ ,  $23^{\circ}$ ,  $38^{\circ}$ ,  $53^{\circ}$  和  $68^{\circ}$ . 测定参数包括叶面积指数、散射辐射透过系数、直接辐射透过系数等.

#### 1.3.2 快速叶绿素荧光

于果实膨大期和果实转色期枝梢老熟时, 每株试验树随机选择叶片生长良好、叶色正常的春梢和秋梢老熟营养枝各 20 枝, 每枝采集 3 片叶(顶部往下的第 3~5 片叶), 测定叶片相同部位的快速荧光参数. 叶片用叶夹暗适应 15 min 后, 按照 Strasser 等<sup>[12]</sup>的方法, 采用多功能植物效率分析仪 M-PEA(英国 Hansatech Instruments 公司研制生产)进行测定. 叶绿素荧光参数参考 Strasser 等<sup>[12]</sup>及李鹏民等<sup>[13]</sup>的计算方法. 在 JIP-test 参数中, PSII 原初最大光能转换效率 ( $F_v/F_m$ ) 表示血橙叶片对光能吸收和利用的能力;  $ABS/RC$  表示单位反应中心吸收的光能,  $DI_o/RC$  表示单位反应中心耗散掉的能量,  $ABS/CS_o$  表示单位面积吸收的光能,  $DI_o/CS_o$  表示单位面积的热耗散能量; 光合性能指数 (PI) 表示叶片光化学反应效率, 其中  $PI_{abs}$  是以光能吸收为基准的参数,  $PI_{total}$  则是综合性参数.

#### 1.3.3 单株产量及果实品质

2 月上旬血橙果实成熟期统计各处理单株产量, 并按照东、西、南、北 4 个方位中上部随机采集样本果实 16 个, 将采集分组好的果实样品带回实验室后立即测定单果质量, 利用日本柯尼卡美能达公司研制的 CR-10 手持色差计测定果面色差(Lab 色差模型: L 值表示果面果皮亮度, 值越大表示果皮亮度越高; a 值表示红绿色差, 值越大表示红色较深; b 值表示黄蓝色差, 值越大表示黄色较深)<sup>[14]</sup>. 榨汁后用日本 ATA-

GO 公司研制的 PAL-1 数显糖度仪测定可溶性固形物含量(total soluble solid, TSS), NaOH 中和滴定法测定可滴定酸含量(titratable acid, TA), 比值法计算固酸比(TSS/TA), pH 值示差法测定花色苷含量<sup>[15]</sup>.

## 1.4 数据处理与分析

数据采用 Microsoft Excel 2020 和 SPSS 25.0 进行统计分析, 图表采用 Graphpad 8 绘制. 差异显著性采用 Duncan 新复极差法分析, 误差棒为数据之间的标准差.

# 2 结果与分析

## 2.1 塔罗科血橙不同树形冠层结构参数

### 2.1.1 冠层体积

从表 1 可以看出, 主干形和开心形塔罗科血橙冠层体积均较圆头形有所减少, 其中主干形处理的東西、南北冠幅均显著小于圆头形, 各树形处理株高之间无显著性差异.

表 1 不同树形处理对塔罗科血橙冠层特性的影响

m

处理	东西冠幅	南北冠幅	株高
圆头形	3.64±0.16a	3.65±0.18a	3.23±0.20a
主干形	3.34±0.08b	3.18±0.28b	3.36±0.09a
开心形	3.58±0.11a	3.41±0.20ab	3.00±0.23a

注: 同列数据后小写字母不同表示差异显著( $p < 0.05$ ).

### 2.1.2 叶面积指数

从试验结果可以看出, 不同树形塔罗科血橙树冠的叶面积指数变化趋势基本相同, 均呈现先上升再降低的变化趋势. 7—9 月各树形塔罗科血橙的叶面积指数随着夏秋梢的抽发与生长逐渐上升, 3 种树形处理的叶面积指数均在 9 月达到最大值, 分别为 2.44, 1.97, 1.65, 在 10 月对果园直立徒长的晚夏梢进行了抹除, 3 种树形塔罗科血橙的叶面积指数呈下降趋势. 同一时期相比, 各月份主干形处理和开心形处理的冠层叶面积指数均显著低于圆头形处理, 表明主干形处理和开心形处理均能明显降低冠层叶面积指数, 有利于冠层和果园整体的通风透光及植株的光合作用(图 1).

### 2.1.3 散射辐射透过系数

从图 2 可以看出, 7—9 月, 各树形塔罗科血橙的散射辐射透过系数逐渐下降, 3 种树形的散射辐射透过系数在 9 月最低, 分别为 0.12, 0.21, 0.23, 随后 3 种树形塔罗科血橙的散射辐射透过系数逐渐上升, 各树形处理的散射辐射透过系数与叶面积指数呈相反的变化趋势. 同一时期相比, 各月份主干形处理和开心形处理的散射辐射透过系数均显著高于圆头形处理. 由此说明, 开心形处理和主干形处理能提高树冠下部枝梢获得的散射辐射, 有利于树冠下部叶片的生长发育和光合作用.

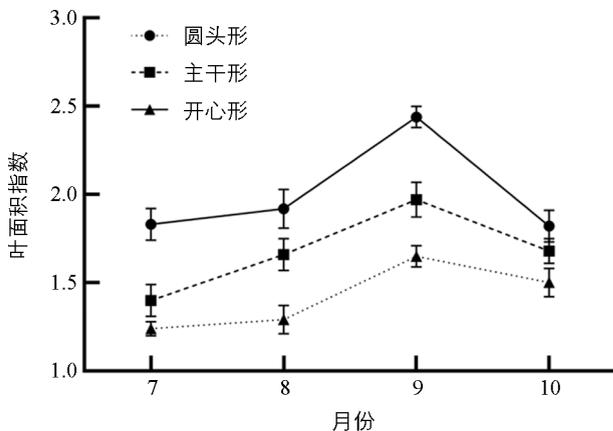


图 1 不同树形处理对塔罗科血橙冠层叶面积指数动态变化的影响

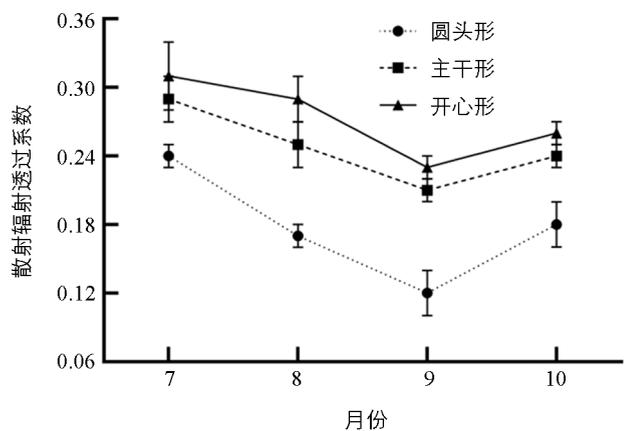


图 2 不同树形处理对塔罗科血橙的冠层散射辐射透过系数动态变化的影响

### 2.1.4 直接辐射透过系数

从表 2 可以看出, 在果实膨大期, 圆头形处理冠层的光线透过能力总体上较差, 其树冠内部和中下部获得的直接辐射透过系数很低, 而主干形处理和开心形处理各冠层的直接辐射透过系数均有不同程度的增加, 且随着天顶角的增大, 两种树形处理塔罗科血橙各月份的直接辐射透过系数几乎均高于圆头形处理; 开心形处理获得的光线主要集中在冠层中上部, 而主干形树体下层内部与两侧的透光性得到明显改善. 在膨大初期(7 月), 开心形处理天顶角  $8^\circ$  的直接辐射透过系数显著高于主干形处理和圆头形处理, 随着果实的不断膨大, 主干形塔罗科处理在该角度冠层的直接辐射透过系数也较圆头形处理有一定提升; 在  $23^\circ$  时, 各月份开心形处理的直接辐射透过系数均显著高于主干形处理和圆头形处理; 在  $38^\circ$ ,  $53^\circ$  和  $68^\circ$  时, 主干形处理的直接辐射透过系数均高于开心形处理和圆头形处理, 且 8—10 月主干形与圆头形处理的差异均显著. 说明主干形处理和开心形处理均能增加植株冠层的光线透过能力, 且主干形树形更有利于增加冠层中下部的直接辐射.

表 2 不同树形处理对塔罗科血橙冠层直接辐射透过系数的影响

月份	树形	天顶角				
		$8^\circ$	$23^\circ$	$38^\circ$	$53^\circ$	$68^\circ$
7 月	圆头形	0.33±0.02b	0.25±0.03b	0.34±0.06a	0.39±0.05a	0.39±0.03b
	主干形	0.35±0.06b	0.25±0.03b	0.37±0.05a	0.42±0.04a	0.47±0.04a
	开心形	0.41±0.06a	0.37±0.02a	0.35±0.05a	0.39±0.04a	0.36±0.03b
8 月	圆头形	0.16±0.02c	0.20±0.02c	0.16±0.01b	0.21±0.03b	0.18±0.02c
	主干形	0.19±0.02b	0.23±0.01b	0.32±0.04a	0.25±0.02a	0.32±0.02a
	开心形	0.31±0.02a	0.31±0.04a	0.29±0.02a	0.24±0.02a	0.25±0.02b
9 月	圆头形	0.22±0.02b	0.14±0.02c	0.19±0.01b	0.16±0.03b	0.21±0.04b
	主干形	0.23±0.02b	0.25±0.01b	0.29±0.03a	0.28±0.04a	0.33±0.02a
	开心形	0.37±0.02a	0.35±0.02a	0.20±0.02b	0.25±0.01a	0.22±0.01b
10 月	圆头形	0.08±0.01c	0.19±0.02b	0.18±0.02c	0.21±0.02b	0.17±0.01c
	主干形	0.17±0.01b	0.22±0.01b	0.24±0.02a	0.26±0.01a	0.26±0.03a
	开心形	0.28±0.03a	0.27±0.03a	0.21±0.02b	0.22±0.02b	0.20±0.01b

注: 不同树形、同列数据后小写字母不同表示差异显著 ( $p < 0.05$ ).

## 2.2 塔罗科血橙不同树形快速叶绿素荧光

### 2.2.1 塔罗科血橙不同树形叶片光能吸收效率

试验结果可以看出, 主干形和开心形塔罗科血橙的春秋梢  $F_v/F_m$  均无显著性差异, 但二者春秋梢  $F_v/F_m$  与圆头形处理差异均显著, 说明主干形处理和开心形处理均能显著提高 PSII 原初最大光能转换效率. 各树形春梢 ABS/RC 从大到小依次为主干形、开心形、圆头形, 且主干形和开心形塔罗科血橙的 ABS/RC 显著高于圆头形, 分别提高了 7.9%, 5.7%; 各树形处理的秋梢 ABS/RC 较相同处理春梢有一定下降, 且各树形之间无显著差异. 春梢  $DI_o/RC$  以圆头形处理最大, 主干形最小, 且主干形处理和开心形处理与圆头形处理差异均显著; 主干形、开心形塔罗科血橙的秋梢  $DI_o/RC$  较圆头形处理均有显著下降, 说明在重庆三峡库区秋季光照条件下, 主干形处理和开心形处理能有效减少塔罗科血橙 PSII 反应中心的光能耗散, 从而提高反应中心的光能转换效率, 将吸收的光能更多地用于电子传递过程中. 春梢叶片 ABS/ $CS_o$  从大到小依次为开心形、主干形、圆头形, 其中主干形处理、开心形处理较圆头形分别提高了 7.4% 和 13.8%, 各树形春梢  $DI_o/CS_o$  之间无显著性差异; 主干形处理和开心形处理秋梢的 ABS/ $CS_o$  显著高于圆头形处理, 而  $DI_o/CS_o$  则相反. 由此说明, 主干形处理和开心形处理均可以提高塔罗科血橙叶片 PSII 反应中心和单位面积的光能利用效率, 以主干形为最佳(表 3).

表 3 不同树形处理对塔罗科血橙叶片光能吸收效率的影响

枝梢类型	树形	Fv/Fm	ABS/RC	DiO/RC	ABS/CSO	DiO/CSO
春梢	圆头形	0.782±0.014b	0.811 3±0.035 8a	0.158 5±0.012 0a	5 944.33±30.60c	1 133.48±71.39a
	主干形	0.802±0.011a	0.875 4±0.023 1a	0.135 7±0.001 1b	6 385.00±51.73b	1 013.39±37.47a
	开心形	0.801±0.005a	0.857 5±0.099 0a	0.135 2±0.019 3b	6 762.33±126.57a	1 191.34±205.51a
秋梢	圆头形	0.814±0.008b	0.669 5±0.042 3a	0.133 1±0.011 2a	5 868.80±179.21b	1 124.14±54.43a
	主干形	0.833±0.006a	0.645 8±0.012 4a	0.109 3±0.006 1b	6 141.20±211.10a	933.32±18.44b
	开心形	0.832±0.008a	0.688 2±0.038 1a	0.107 7±0.009 6b	6 256.60±232.98a	988.64±41.72b

注:不同树形、同列数据后小写字母不同表示差异显著( $p < 0.05$ )。

### 2.2.2 塔罗科血橙不同树形叶片光合性能指数

如图 3 所示,主干形和开心形树形均能有效提升叶片光合性能( $PI_{abs}$ ,  $PI_{total}$ ),增强叶片的光合作用能力.与圆头形处理相比,主干形处理、开心形处理的春梢叶片  $PI_{abs}$  分别提高了 58.6%, 39.8%, 秋梢叶片  $PI_{abs}$  分别提高了 43.7%, 43.2%, 且差异均显著,以主干形处理相对最高;与圆头形处理相比,主干形处理、开心形处理的春梢叶片  $PI_{total}$  分别提高了 78.2%, 39.1%, 秋梢叶片  $PI_{total}$  分别提高了 17.5%, 14.7%, 差异均显著,以主干形处理相对最高。

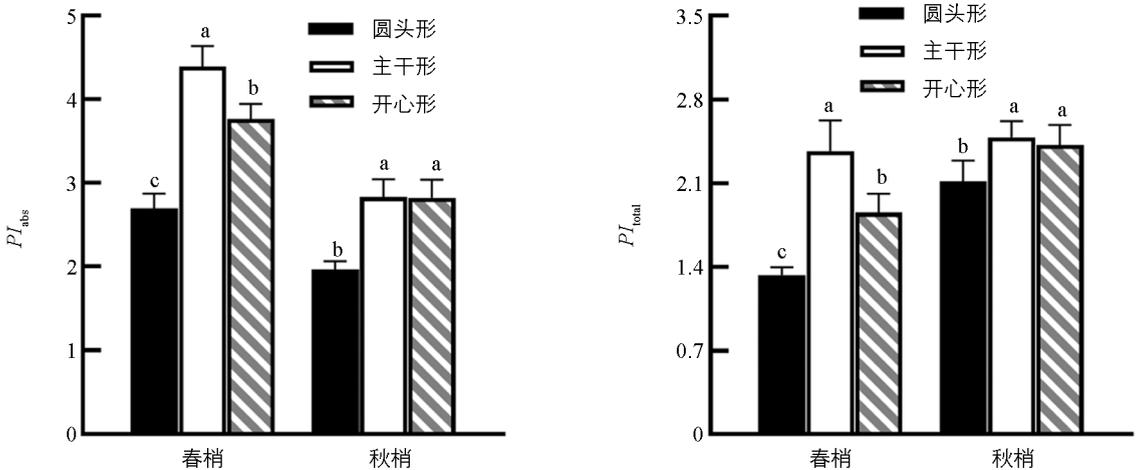


图 3 不同树形处理对塔罗科血橙叶片光合性能指数的影响

### 2.3 塔罗科血橙不同树形果实的产量和品质

#### 2.3.1 塔罗科血橙不同树形产量及单果质量

由图 4 可知,不同树形处理对塔罗科血橙的产量和单果质量均有较大影响,主干形处理和开心形处理的产量和单果质量均显著大于圆头形处理.2021—2022 年度,主干形处理和开心形处理的产量相比圆头形处理分别增加了 45.5%, 31.0%, 差异均显著,且以主干形处理相对最高;主干形处理和开心形处理的单果质量相比圆头形处理分别增加了 26.9%, 16.0%, 差异均显著,且以主干形处理相对最高.2022—2023 年度,不同树形产量和单果质量从大到小依次为主干形、开心形、圆头形,且三者间差异均显著。

#### 2.3.2 塔罗科血橙不同树形果实品质

##### 1) 果实外观品质

从表 4 可知,不同树形对塔罗科血橙果面着色有不同程度的影响.与圆头形处理相比,2021—2022 年度主干形处理和开心形处理的果面亮度(L)分别提高了 20.7%, 26.5%, 红色度(a)分别提高了 9.6%, 9.0%, 果面黄色度(b)则分别比圆头形处理降低了 8.7%, 11.7%, 果面着色度(a/b)分别提高了 20.2%, 21.4%, 且差异均显著.2022—2023 年度各树形处理的果面色差指数变化规律与 2021—2022 年度的类似。

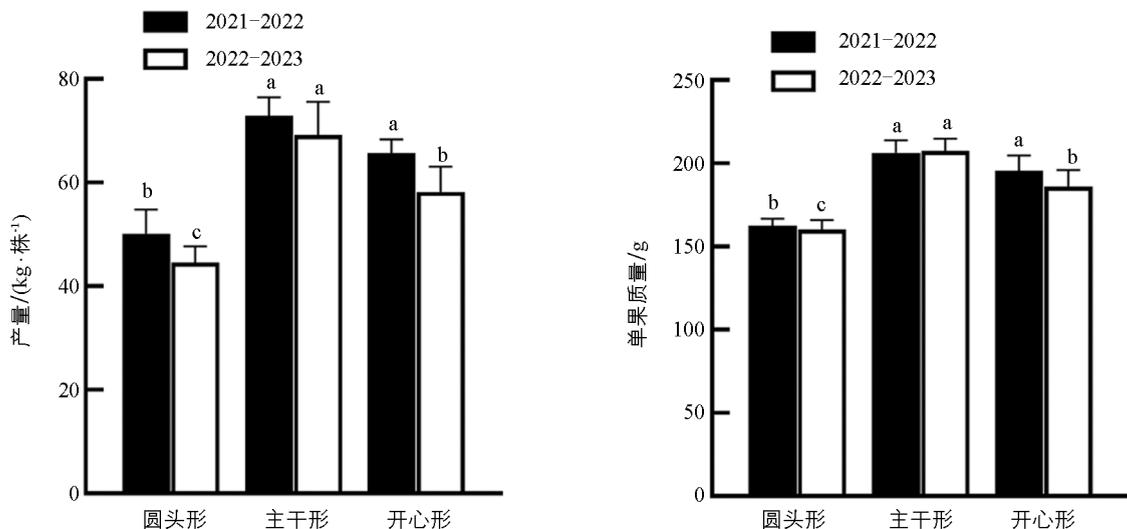


图 4 不同树形处理对塔罗科血橙产量和单果质量的影响

表 4 不同树形处理对塔罗科血橙果面色差指数的影响

年份	处理	L	a	b	a/b
2021-2022	圆头形	-20.27±0.49b	27.77±0.66b	31.18±0.51a	0.89±0.03b
	主干形	-16.07±1.17a	30.43±0.69a	28.46±2.06b	1.07±0.12a
	开心形	-14.89±1.83a	30.28±1.43a	27.91±2.60b	1.08±0.20a
2022-2023	圆头形	-20.08±1.93b	22.82±1.41b	35.63±1.39a	0.64±0.04b
	主干形	-18.34±1.13a	26.60±0.42a	32.58±1.00b	0.82±0.04a
	开心形	-18.19±1.17a	25.83±0.78a	32.30±1.40b	0.80±0.05a

注: 不同树形、同列数据后小写字母不同表示差异显著 ( $p < 0.05$ )。

## 2) 果实内在品质

试验结果可以看出, 两年试验主干形处理和开心形处理的塔罗科血橙果实内在品质指标相比圆头形处理均有不同程度的提升。与圆头形处理相比, 2021-2022 年度主干形处理和开心形处理的可溶性固形物分别提高了 5.4%, 6.8%, 固酸比分别提高了 9.3%, 15.0%, 维生素 C 分别提高了 4.1%, 6.2%, 花色苷分别提高了 12.4%, 29.8%, 且差异均显著; 此外, 主干形处理和开心形处理降低了可滴定酸含量, 但与圆头形处理差异不显著。2022-2023 年度各树形处理的可溶性固形物和花色苷含量从高到低依次为开心形、主干形、圆头形, 固酸比和维生素 C 含量从高到低依次为主干形、开心形、圆头形, 且主干形处理和开心形处理与圆头形处理差异均达显著水平(表 5)。

表 5 不同树形处理对塔罗科血橙果实内在品质的影响

年份	处理	可溶性固形物 (TSS)/%	可滴定酸 (TA)/%	TSS/TA	维生素 C/ (mg · L <sup>-1</sup> )	花色苷/ (mg · L <sup>-1</sup> )
2021-2022	圆头形	9.80±0.17b	0.84±0.03a	11.67±0.32b	59.95±1.65b	5.47±0.26c
	主干形	10.33±0.25a	0.81±0.03a	12.75±1.04a	62.43±3.79a	6.15±0.26b
	开心形	10.47±0.35a	0.78±0.11a	13.42±0.86a	63.65±3.12a	7.10±0.20a
2022-2023	圆头形	12.32±0.32b	0.95±0.02a	13.03±0.33b	44.50±0.50b	5.76±0.10b
	主干形	12.90±0.17a	0.82±0.04b	15.73±0.56a	48.33±0.58a	6.80±0.38a
	开心形	13.05±0.35a	0.84±0.06b	15.54±0.79a	47.00±1.00a	6.92±0.59a

注: 不同树形、同列数据后小写字母不同表示差异显著 ( $p < 0.05$ )。

## 3 讨论

### 3.1 不同树形对塔罗科血橙冠层特性的影响

柑橘树形的选择受品种、树龄、树势、结果习性以及当地气候土壤等多方面因素的影响,不合理的树形导致树冠郁闭、降低树体光合效率、影响枝梢抽生和果实产量品质<sup>[16]</sup>。因此,科学合理选择适宜的树形,能为其冠层创造良好的通风透光条件,改善树体光合效率,提升果实产量和品质。有效叶面积指数是评价植物冠层叶片密度和通风透光性的重要指标,采用冠层分析仪测定,与传统意义上累计所得的叶面积指数相比,其测得的叶面积指数考虑了叶片间互相遮蔽的影响,树冠上位叶主要接受直射和散射辐射,而冠层底部接受直接辐射部分比较少,主要接受间接辐射即散射辐射影响,因此,散射辐射透过系数是果树通风透光性的重要判断依据<sup>[17-18]</sup>。本试验中,3种树形树冠的叶面积指数呈先上升再下降的趋势,而散射辐射透过系数的变化则与之相反,这可能与数据采集时树体夏、秋梢的抽生及夏梢疏除有关。枝梢的疏除会减少树冠内叶片的数量,降低叶面积指数,提高冠层内的透光性;夏、秋梢的陆续抽发则会增加冠层内叶片的数量,使得叶面积指数上升,但过多的叶片会互相遮蔽从而降低树冠内有效受光面积,减少对光能的截获。这与牛茹萱等<sup>[19]</sup>对桃树不同树形的冠层光合特征的研究结果相似。直接辐射透过系数反映了血橙树冠从高到低、从内到外的光能截获能力,主干形和开心形的直接辐射透过系数较圆头形有明显提高,开心形在 $8^{\circ}$ 、 $23^{\circ}$ 两环与同期圆头形差异达显著水平,主干形则在 $38^{\circ}$ 、 $53^{\circ}$ 和 $68^{\circ}$ 三环与同期圆头形差异达显著水平,由此说明,主干形和开心形树冠的整体透光能力更高,尤其在树冠中下部能获得更好的光照条件,有利于光合同化产物向果实的运输,进而提高产量和果实品质<sup>[20-21]</sup>。

### 3.2 不同树形对塔罗科血橙快速叶绿素荧光的影响

快速叶绿素荧光参数能直观地反映植株的内在变化,几乎所有光合作用过程的变化均可通过叶绿素荧光反映出来,在植物外观形态尚未显示出任何变化时,叶绿素荧光已发生了显著的变化<sup>[22]</sup>。通过分析 JIP-test 参数,可了解血橙当初级醌受体( $Q_A$ )处在可还原态时,血橙叶片单位 PSII 反应中心和单位横截面积的活性变化情况<sup>[23]</sup>。本试验结果表明,主干形和开心形塔罗科血橙春、秋梢的 PSII 原初最大光能转换效率( $F_v/F_m$ )均显著高于圆头形,说明主干形和开心形树形能提高叶片整体光能吸收利用能力。本试验还发现,圆头形的单位反应中心耗散掉的能量( $DI_o/RC$ )显著高于主干形和开心形,说明主干形和开心形可以有效减少叶片 PSII 反应中心因散热对光能的消耗,提高了树体叶片吸收的光能用于电子传递的比率,进而提高叶片光能转化效率,这与赵瑾<sup>[24]</sup>的研究结果一致。本试验中,开心形和主干形的单位受光面积吸收的量子效率( $ABS/CS_o$ )要显著高于圆头形,说明主干形和开心形均能有效增加叶片单位面积内反应中心的数量并增强其活性,提高电子传递链中的能量。而在重庆三峡库区的秋冬季寡日照天气明显偏多,光照减弱,植物吸收的光能及用于还原  $Q_A$  的能力降低,进而通过降低单位面积的热耗散能量( $DI_o/CS_o$ )来缓解环境变化对光合作用的影响<sup>[25]</sup>。本试验中,3种树形秋梢的单位受光面积吸收的量子效率( $ABS/CS_o$ )均有所下降,且主干形和开心形量子效率( $ABS/CS_o$ )均显著高于圆头形,而圆头形的热耗散能量( $DI_o/CS_o$ )却显著高于主干形和开心形,由此说明,主干形和开心形在秋季有更强的光合作用能力,这对转色期和成熟期果实上色和糖分的积累更有利。通过分析血橙的叶片光合性能指数,可以反映其光系统反应中心效率,进而反映叶片的整体功能<sup>[26]</sup>。本试验结果表明,主干形和开心形的  $PI_{abs}$  和  $PI_{total}$  显著高于圆头形,这与成果等<sup>[27]</sup>的研究结果一致,说明合理的树形可提高光合结构性能,可为叶片进行光合作用提供有利的条件,从而更有利于叶片高效率合成树体所需的营养物质。

### 3.3 不同树形对塔罗科血橙果实产量和品质的影响

果树优质丰产需要合理的树体结构,以获得充足的光能与营养保障,因此,果树栽培都十分强调树

形培育和树体结构的优化,通过树形培育,改善冠层通风透光状况,增加树冠内光能截获,提高树体冠层内部和中下部叶片的光合效率,减少过多骨架结构组织对养分的消耗,促进树体营养积累向果实的运转,从而提高产量和果品质量<sup>[10]</sup>。本试验结果表明,主干形树形的产量和单果质量相对最高,可能与主干形树形结构的整体透光性好且具有相对合理数量的结果枝组有关,与 Cronje 等<sup>[28]</sup>的试验结果一致。塔罗科血橙果面红色深浅主要受外果皮中花色苷含量的影响,充足的光照与适当的低温是花色苷形成的必要条件<sup>[29]</sup>,本试验的主干形和开心形的果面红色度、着色度相对较好,即果面更红更鲜艳,相对具有更高的商品价值。本试验中,主干形和开心形塔罗科血橙的果实内在品质如可溶性固形物、可滴定酸、固酸比、维生素 C 和花色苷含量均显著高于圆头形,这可能与主干形和开心形树冠拥有良好通风透光条件,树冠中下部均能获得更多的直接光能辐射,且其叶片光合性能明显优于圆头形有关,这与李荣飞等<sup>[30]</sup>的研究结果相似。综上可知,主干形和开心形树形对血橙产量和品质的改善效果明显,且主干形树形对增产的效果相对最佳。

## 4 结论

主干形和开心形树形均能有效改善塔罗科血橙冠层特性,增强树冠整体光合效率,提升产量和果实品质。综合分析研究结果,重庆库区塔罗科血橙最适宜选择主干形树形进行培养,其果实产量和品质相对最优。

## 参考文献:

- [1] 郭文武,叶俊丽,邓秀新. 新中国果树科学研究 70 年——柑橘 [J]. 果树学报, 2019, 36(10): 1264-1272.
- [2] 中华人民共和国国家统计局工业统计司. 2014 中国工业统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2015.
- [3] 陈泉,何锦辉,汪小伟,等. 塔罗科血橙新系早结丰产稳产整形修剪新技术 [J]. 安徽农业科学, 2020, 48(14): 27-28, 31.
- [4] 杨江波,张绩,李俊杰,等. 三峡重庆库区施氮水平对塔罗科血橙树体养分、产量品质及土壤理化性质的影响 [J]. 中国农业科学, 2019, 52(5): 893-908.
- [5] 何锦辉,陈泉,汪小伟,等. 塔罗科血橙新系控旺长促花技术研究 [J]. 安徽农业科学, 2020, 48(17): 53-55, 82.
- [6] 冉辛拓,宋海舟,高志货,等. 梨不同树形对光效能及产量品质的影响 [J]. 园艺学报, 2012, 39(5): 957-962.
- [7] LAMPINEN B D, TOMBESI S, METCALF S G, et al. Spur Behaviour in Almond Trees: Relationships between Previous Year Spur Leaf Area, Fruit Bearing and Mortality [J]. Tree Physiology, 2011, 31(7): 700-706.
- [8] 王建新,牛自勉,李志强,等. 乔砧富士苹果不同冠形相对光照强度的差异及对果实品质的影响 [J]. 果树学报, 2011, 28(1): 8-14.
- [9] 蔚露,牛自勉,林碌,等. 小冠开心形和细型主干形‘玉露香’梨光能截获与光合作用差异 [J]. 园艺学报, 2020, 47(1): 11-22.
- [10] 胡德玉. 柑橘树冠层营养和果实品质的空间分布及郁闭植株改造的生理响应研究 [D]. 重庆: 西南大学, 2016.
- [11] 李学柱. 柑桔的整形修剪 [M]. 重庆: 重庆出版社, 1990.
- [12] STRASSER R J. Analysis of the Chlorophyll a Fluorescence Transient [M]. Berlin: Springer, 2004.
- [13] 李鹏民,高辉远, STRASSER R J. 快速叶绿素荧光诱导动力学分析在光合作用研究中的应用 [J]. 植物生理与分子生物学学报, 2005, 31(6): 559-566.
- [14] 胡德玉,刘雪峰,何绍兰,等. 郁闭柑橘园整形改造对植株冠层生理特性、产量和果实品质的影响 [J]. 中国农业科学, 2017, 50(9): 1734-1746.
- [15] 喻最新,王日葵,王晶,等. 草酸处理对塔罗科血橙采后花色苷积累和糖酸含量的影响 [J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(8): 63-70.

- [16] KRAJEWSKI A, SCHUMANN A, EBERT T, et al. Management of Citrus Tree Canopies for Fresh-Fruit Production [J]. EDIS, 2021, 2021(1): 110-119.
- [17] 张继祥, 魏钦平, 张静, 等. 利用冠层分析仪测算苹果园叶面积指数及其可靠性分析 [J]. 园艺学报, 2010, 37(2): 185-192.
- [18] HATFIELD J L, ALLEN R G. Evapotranspiration Estimates under Deficient Water Supplies [J]. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 1996, 122(5): 301-308.
- [19] 牛茹萱, 赵秀梅, 王晨冰, 等. 桃不同树形的冠层特征及对果实产量、品质的影响 [J]. 果树学报, 2019, 36(12): 1667-1674.
- [20] 申广荣, 王人潮, 李云梅, 等. 水稻群丛结构和辐射传输分析 [J]. 作物学报, 2001, 27(6): 769-775.
- [21] 马志航. 龙眼郁闭树改造及综合管理研究 [D]. 南宁: 广西大学, 2014.
- [22] 贾浩, 郝建博, 曹洪波, 等. 遮荫对‘保佳红’桃树叶片快速叶绿素荧光诱导动力学曲线的影响 [J]. 西北植物学报, 2015, 35(9): 1861-1867.
- [23] 余倩倩. 柑橘皮渣有机肥对柑橘生长、品质产量及土壤理化性质的影响 [D]. 重庆: 西南大学, 2017.
- [24] 赵瑾. 鲜黄梨 3 种不同树形树冠结构特征与光照分布的研究 [D]. 雅安: 四川农业大学, 2010.
- [25] 胡德玉, 刘雪峰, 王克健, 等. 郁闭柑橘园改造对植株光化学反应参数及果实品质的影响 [J]. 果树学报, 2017, 34(5): 552-566.
- [26] TSIMILLI-MICHAEL M, STRASSER R J. In Vivo Assessment of Stress Impact on Plant's Vitality: Applications in Detecting and Evaluating the Beneficial Role of Mycorrhization on Host Plants [M] // Mycorrhiza. Berlin, Heidelberg: Springer, 2008: 679-703.
- [27] 成果, 陈立业, 王军, 等. 2 种整形方式对‘赤霞珠’葡萄光合特性及果实品质的影响 [J]. 果树学报, 2015, 32(2): 215-224.
- [28] CRONJE R, HUMAN C, RATLAPANE I. Pruning Strategies for Young ‘Nadorcott’ Mandarin Trees Planted in High Density Orchards in South Africa [J]. International Journal of Fruit Science, 2021, 21(1): 921-931.
- [29] 魏永赞, 胡福初, 郑雪文, 等. 光照对荔枝果实着色和花色素苷生物合成影响的分子机制研究 [J]. 园艺学报, 2017, 44(7): 1363-1370.
- [30] 李荣飞, 张抗萍, 何桥, 等. 树形对龙安柚叶片生理状况及果实品质的影响 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2017, 39(7): 36-43.

责任编辑 王新娟