

## 不同砧木对砂糖橘生长势、光合作用和碳水化合物含量的影响

李娟<sup>1</sup>, 贺世雄<sup>2,4\*</sup>, 涂攀峰<sup>1</sup>, 潘建君<sup>3</sup>, 高美玲<sup>3</sup>, 吴韞里<sup>2</sup>, 陈杰忠<sup>2\*\*</sup>,  
徐海权<sup>3</sup>, 姚青<sup>2</sup>

1. 仲恺农业工程学院园艺园林学院, 广东广州 510225; 2. 华南农业大学园艺学院, 广东广州 510642; 3. 广州市从化区农业技术推广中心, 广东广州 510920; 4. 广安市农业农村局果树技术指导站, 四川广安 638000

**摘要:** 本研究探索不同砧木对砂糖橘的生长、光合性能和碳水化合物含量的影响, 从而筛选出适合砂糖橘栽培的最适砧木。测定嫁接在 2 年生宜昌橙、枳壳、砂糖橘、香橙和粗柠檬砧上的砂糖橘的生长势、叶绿素含量、光合性能[净光合速率 (net photosynthesis,  $P_n$ )、蒸腾速率 (transpiration rate,  $T_r$ )、气孔导度 (stomatal conductance,  $G_s$ )、胞间  $CO_2$  浓度 (intercellular  $CO_2$  concentration,  $C_i$ )]和碳水化合物含量等。结果表明: 以宜昌橙为砧木的嫁接亲和性最差, 砧穗粗度比值为 2.08, 嫁接苗生长势最弱, 而以粗柠檬和香橙为砧木的砂糖橘生长势最强; 不同砧木砂糖橘叶片中总叶绿素含量由高到低依次为: 枳壳砧>粗柠檬砧>香橙砧>本砧>宜昌橙砧, 其中, 除了枳壳砧和粗柠檬砧的砂糖橘叶片中总叶绿素含量之间无显著差异外, 其余砧穗组合之间均差异显著; 香橙砧的  $P_n$  和  $G_s$  均显著大于宜昌橙砧; 香橙砧和粗柠檬砧砂糖橘叶片中的可溶性总糖、还原糖和蔗糖均显著高于宜昌橙砧。由此可知, 宜昌橙砧砂糖橘光合效率较低, 树体生长势较弱, 而嫁接在香橙砧上的砂糖橘则树势健壮、光合性能较强, 可推荐为砂糖橘的优良备选砧木, 进一步研究其品质、产量、抗病性和抗逆性能等。

**关键词:** 砧木; 砂糖橘; 生长势; 光合作用; 碳水化合物

中图分类号: S666 文献标识码: A

## Effects of Rootstocks on Tree Growth, Photosynthesis and Carbohydrate Content of ‘Shatangju’ Tangerine

LI Juan<sup>1</sup>, HE Shixiong<sup>2,4\*</sup>, TU Panfeng<sup>1</sup>, PAN Jianjun<sup>3</sup>, GAO Meiling<sup>3</sup>, WU Yunli<sup>2</sup>, CHEN Jiezhong<sup>2\*\*</sup>,  
XU Haiquan<sup>3</sup>, YAO Qing<sup>2</sup>

1. Department of Horticulture, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou, Guangdong 510225, China; 2. College of Horticulture, South China Agricultural University, Guangzhou, Guangdong 510642, China; 3. Conghua Agricultural Technology Extension Center of Guangzhou, Guangzhou, Guangdong 510920, China; 4. Fruit Production Guiding Station, Guang'an Agriculture and Rural Affairs, Guang'an, Sichuan 638000, China

**Abstract:** The object of this study was to investigate the growth, photosynthesis and carbohydrate of ‘Shatangju’ mandarin grafted on various rootstocks. The tree vigor, net photosynthesis ( $P_n$ ), transpiration rate ( $T_r$ ), stomatal conductance ( $G_s$ ), intercellular  $CO_2$  concentration ( $C_i$ ), leaf chlorophyll, carbohydrates of ‘Shatangju’ mandarin budded on Ichang papeda (*Citrus ichangensis* Swingle), Trifoliate orange [*P. trifoliata* (L.) Raf.], ‘Shatangju’ mandarin (*C. reticulata* Blanco cv. Shatangju), Fragrant orange (*C. junos* Sieb.ex Tanaka), Rough lemon (*C. jambhiri* Lush) were evaluated. The scion height, trunk cross-section area (TCSA), leaf area and shoot length of ‘Shatangju’ on Fragrant orange and Rough lemon were significantly bigger than that on the Ichang papeda. The lowest affinity was found with Ichang papeda, which showed the highest rootstock/scion ratio (2.08). Total leaf chlorophyll content range from 0.85 mg/g FW to 1.40

收稿日期 2022-04-22; 修回日期 2022-06-18

基金项目 广州市民生科技攻关计划项目 (No. 201803020008); 广东省科技计划项目 (No. 2018B020202009); 广东省柑橘芒果产业技术体系项目 (No. 2023KJ108)。

作者简介 李娟 (1982—), 女, 博士, 教授, 研究方向: 果树栽培与生理; \*同等贡献作者: 贺世雄 (1991—), 男, 硕士, 研究方向: 果树栽培与生理。\*\*通信作者 (Corresponding author): 陈杰忠 (CHEN Jiezhong), E-mail: cjzlx@scau.edu.cn。

mg/g FW, significantly higher leaf chlorophyll content was found in trees grafted on Rough lemon and Trifoliate orange than other grafting combinations. Trees on Fragrant orange had the highest net photosynthesis ( $P_n$ ), transpiration rate ( $T_r$ ), stomatal conductance ( $G_s$ ), while Ichang papeda induced the lowest photosynthesis rates. As the production of  $CO_2$  photosynthesis, high photosynthesis efficiency led to higher carbohydrate (total soluble sugar, sucrose, reduced sugar content) in 'Shangtangju' leaves budded onto Fragrant orange and Rough lemon rootstocks compared to trees on the Ichang papeda. The data confirmed that the low affinity of Ichang papeda rootstock and 'Shatangju' mandarin scion combination caused the lower photosynthesis efficiency and tree vegetative growth. The Fragrant orange rootstock could be a suitable candidate for the 'Shangtangju' mandarin production in citriculture.

**Keywords:** rootstock; 'Shatangju' mandarin; growth; photosynthesis; carbohydrate

**DOI:** 10.3969/j.issn.1000-2561.2023.09.009

砧木是果树嫁接的基础,对接穗的树体营养、生长活力、抗逆性和果实品质具有显著影响<sup>[1-3]</sup>。现代柑橘产业,几乎所有的柑橘品种都是嫁接在砧木上进行生产,因此选择合适的砧木对于提高柑橘产量和品质具有重要意义。砂糖橘(*Citrus reticulata* Blanco cv Shangtangju)又名“十月橘”,原产于广东省四会市,是广东省柑橘主栽品种之一<sup>[4]</sup>。具有化渣程度高、种子少、果皮薄、含糖量高等优点,成为消费者喜爱的柑橘品种<sup>[5-6]</sup>。砂糖橘的生长在很大程度上会受到砧木的影响,LIU等<sup>[7]</sup>研究表明红黎檬砧能够显著增加砂糖橘果实大小,刘振等<sup>[8]</sup>报道枳砧能显著提高砂糖橘的可溶性糖和固酸比;LIU等<sup>[9]</sup>研究发现粗柠檬砧和红黎檬砧砂糖橘嫁接苗中具有较高的生长素和赤霉素含量,从而导致这2种砧木能够显著促进砂糖橘的树体生长。目前生产上砂糖橘砧木的使用比较混乱,不同砧木砂糖橘生长势差异很大,生产的果实品质也良莠不齐,这与砂糖橘产业的迅速发展趋势形成了严重的矛盾。因此,研究和筛选出最适宜砂糖橘的砧木成为生产上急需解决的问题。本研究以5种柑橘实生苗作为砧木,分别嫁接砂糖橘,并观察它们在生长势、嫁接亲和性、光合特性及叶片糖含量的差异,从而筛选出适合砂糖橘生产的优良砧木。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

供试材料有宜昌橙(*Citrus ichangensis* Swingle)、砂糖橘(*C. reticulata* Blanco cv. Shatangju)、枳壳[*P. trifoliata* (L.) Raf.]、香橙(*C. junos* Sieb.ex Tanaka)、粗柠檬(*C. jambhiri* Lush)。各砧木种子由中国农业科学院柑橘研究所提供,经催芽处理后,每品种各选取100粒均匀一致的种子于2014年11月28日播种于15 cm×40 cm的

育苗盆中。2015年11月29日从每个品种实生苗中挑选生长势一致的幼苗,移栽于直径10 cm×高20 cm的塑料盆中,每个品种20株。2016年11月选取芽体饱满、无病毒的砂糖橘接穗以单芽切接方式嫁接在前述砧木实生苗上,嫁接后实施统一的水肥管理。2017年6月,将不同砧穗组合的嫁接苗移植于直径50 cm×高45 cm的植树袋中,每个品种10株,试验土壤均统一配置(果园土:塘泥:草炭土=2:1:1),移植后实施统一的水肥管理。

### 1.2 方法

1.2.1 嫁接苗生长势测定 实验植株嫁接后于2017年10月中旬,用卷尺测定株高,用游标卡尺分别测定嫁接口上下5 cm处接穗和砧木的直径( $D$ ),计算出砧穗比。用LI-3100型单叶面积仪测定单叶的叶面积。主干横截面积根据已测量直径计算得到,计算公式为:主干横截面积( $S$ )= $\pi(D/2)^2$ 。

1.2.2 嫁接苗光合特性测定 2017年10月22日在9:30—11:30选取不同砧木嫁接树各5株,用TARGAS-1型便携式光合仪(PP-System公司)对每株枝梢中部成熟叶片进行光合测定。测定指标包括净光合速率[ $P_n$ ,  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ]、蒸腾速率[ $T_r$ ,  $\text{mmol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ]、气孔导度[ $G_s$ ,  $\text{mmol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ]、胞间 $CO_2$ 浓度( $C_i$ ,  $\mu\text{mol}/\text{mol}$ )等指标。

1.2.3 叶绿素含量测定 参考李玲<sup>[10]</sup>的方法(略加改动),称取0.3 g样品,加少量石英砂和碳酸钙粉及5 mL纯丙酮,研磨匀浆,再加80%丙酮5 mL,在暗处静置5~10 min,充分提取色素,然后将提取液倒入25 mL的棕色容量瓶中,最后用乙醇定容至25 mL。以95%乙醇为空白,分别测定665、649 nm处的吸光度。

1.2.4 叶片糖含量测定 参考张志良等<sup>[11]</sup>的方法,将叶片磨碎后称取0.1 g样品倒入10 mL刻

度离心管内, 加入 5 mL 80%乙醇, 置于 80 °C 水浴中不断搅拌 40 min, 8000×g 离心 5 min, 收集上清液, 其残渣加 5 mL 80%乙醇重复提取 1 次, 8000×g 离心 5 min, 合并上清液。上清液加 10 mg 活性炭, 于 80 °C 水浴条件下脱色 30 min, 80%乙醇定容至 25 mL, 过滤后取滤液测定。用蒽酮法测定叶片中总糖的含量, 用 3,5-二硝基水杨酸 (DNS) 法测定还原糖含量。

### 1.3 数据处理

数据采用 SPSS 18.0 软件进行单因素方差分析、相关性分析, 用 OriginPro 8.5 软件作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同砧木对砂糖橘嫁接苗形态指标的影响

嫁接 10 个月后不同砧穗组合的嫁接苗在生长势上表现出显著差异。从表 1 可知, 以粗柠檬和香橙为砧木的砂糖橘接穗高度较高, 分别为

104.09、95.49 cm, 以枳壳和宜昌橙为砧的砂糖橘接穗高度较低, 分别为 62.70、37.62 cm; 粗柠檬、香橙的砧木粗度较大, 而砂糖橘和宜昌橙的砧木粗度较小; 以粗柠檬和香橙为砧的砂糖橘接穗粗度较大, 而以宜昌橙和砂糖橘为砧的砂糖橘接穗粗度较小; 通过计算它们的砧木粗度与接穗粗度的比值, 发现不同砧穗组合的砧穗比值从大到小依次为: 宜昌橙/砂糖橘>砂糖橘/砂糖橘>香橙/砂糖橘>枳壳/砂糖橘>粗柠檬/砂糖橘, 对应的比值为 2.08、1.75、1.61、1.58、1.57; 通过计算它们的主干横截面积 (TCSA), 可知以粗柠檬和香橙为砧木的嫁接苗的主干横截面积显著大于以宜昌橙为砧木的; 单叶叶面积以粗柠檬、香橙砧的较大, 为 49.88、34.45 cm<sup>2</sup>, 以宜昌橙砧的较小, 分别为 15.67 cm<sup>2</sup>; 新梢长度以粗柠檬、香橙砧的较大, 以枳壳、宜昌橙为砧的较小, 依次分别为 37.37、33.38、16.19、11.01 cm。

表 1 不同砧木对砂糖橘植株生长指标的影响

Tab. 1 Effects of different rootstocks on growth indexes of 'Shatangju' plants

砧木 Rootstock	接穗高度 Scion height /cm	砧木粗度 Rootstock diameter /mm	接穗粗度 Scion diameter /mm	砧穗比值 Rootstock /Scion	主干横截面积 TCSA /mm <sup>2</sup>	叶面积 Leaf area /cm <sup>2</sup>	新梢长度 New shoot length /cm
宜昌橙	37.62±4.03 <sup>d</sup>	12.71±0.72 <sup>b</sup>	6.24±0.51 <sup>c</sup>	2.08±0.10 <sup>a</sup>	32.44±5.30 <sup>d</sup>	15.67±0.69 <sup>d</sup>	11.01±0.58 <sup>c</sup>
枳壳	62.70±3.54 <sup>c</sup>	14.80±0.59 <sup>b</sup>	9.42±0.44 <sup>b</sup>	1.58±0.03 <sup>ab</sup>	71.06±6.35 <sup>bc</sup>	24.71±0.45 <sup>c</sup>	16.19±1.23 <sup>bc</sup>
香橙	95.49±7.58 <sup>ab</sup>	17.75±0.96 <sup>a</sup>	11.30±0.56 <sup>ab</sup>	1.61±0.10 <sup>b</sup>	102.49±8.95 <sup>ab</sup>	34.45±1.98 <sup>b</sup>	33.38±2.94 <sup>a</sup>
粗柠檬	104.09±6.01 <sup>a</sup>	19.51±0.61 <sup>a</sup>	12.70±0.70 <sup>a</sup>	1.57±0.08 <sup>b</sup>	130.17±13.03 <sup>a</sup>	49.88±0.58 <sup>a</sup>	37.37±2.36 <sup>a</sup>
砂糖橘	79.60±5.11 <sup>bc</sup>	12.71±0.57 <sup>b</sup>	7.33±0.36 <sup>c</sup>	1.75±0.05 <sup>b</sup>	43.09±4.19 <sup>cd</sup>	33.82±3.35 <sup>b</sup>	18.63±0.35 <sup>b</sup>

注: 同列不同小写字母表示不同砧木间差异显著 ( $P<0.05$ )。

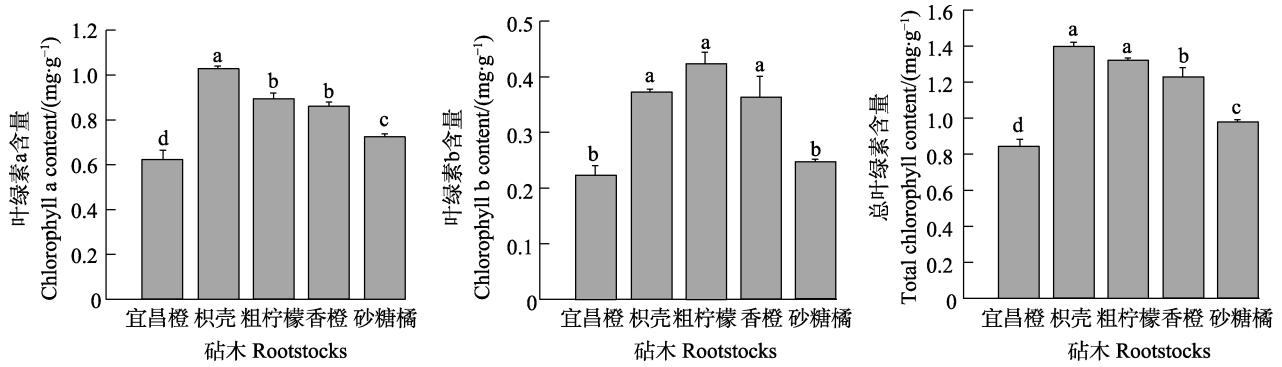
Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference among different rootstocks ( $P<0.05$ ).

### 2.2 不同砧木对砂糖橘嫁接苗叶片叶绿素含量的影响

由图 1 可知, 不同砧木砂糖橘叶片中叶绿素含量具有显著差异。其中以枳壳为砧的砂糖橘叶片中叶绿素 a 含量最高, 为 1.03 mg/g, 粗柠檬砧和香橙砧次之, 而以宜昌橙为砧的砂糖橘叶片中的叶绿素 a 含量最低, 最低值为 0.62 mg/g; 不同砧木砂糖橘叶片中叶绿素 b 含量以粗柠檬砧、枳壳砧和香橙砧的较高, 分别为 0.42、0.37、0.36 mg/g, 以本砧和宜昌橙砧的砂糖橘叶片中的叶绿素较低, 分别为 0.25、0.22 mg/g; 不同砧木砂糖橘叶片中总叶绿素含量从高到低依次为: 枳壳砧>粗柠檬砧>香橙砧>本砧>宜昌橙砧, 其中除了枳壳砧和粗柠檬砧的砂糖橘叶片中总叶绿素含量之间无显著差异外, 其余砧穗组合之间均呈显著差异。

### 2.3 砧木对砂糖橘嫁接苗光合特性的影响

由图 2 可知, 不同砧穗组合在净光合速率上表现出显著差异, 其叶净光合速率依次为: 香橙/砂糖橘>粗柠檬/砂糖橘>枳壳/砂糖橘>砂糖橘/砂糖橘>宜昌橙/砂糖橘, 其值分别为 7.55、6.60、5.97、4.72、4.16  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ; 以宜昌橙和砂糖橘为砧的嫁接苗叶片胞间 CO<sub>2</sub> 浓度较高, 其余砧木处理之间无显著差异; 香橙砧和本砧的砂糖橘在叶片气孔导度和蒸腾速率上显著高于其他砧木的, 而其他砧木间无显著差异。相关性分析 (表 2) 表明,  $T_r$ 、 $P_n$ 、 $G_s$ 、 $C_i$  任意二者之间均呈显著正相关, 其中  $T_r$  与  $G_s$  的相关性最高 ( $r=0.956^{**}$ )。  $T_r$ 、 $P_n$ 、 $G_s$ 、 $C_i$  均与生长势 (VPD) 呈显著负相关。此外, 砂糖橘植株光合生理指标和生长势指标之间存在密切关系。  $P_n$  与砂糖橘接穗高度呈显

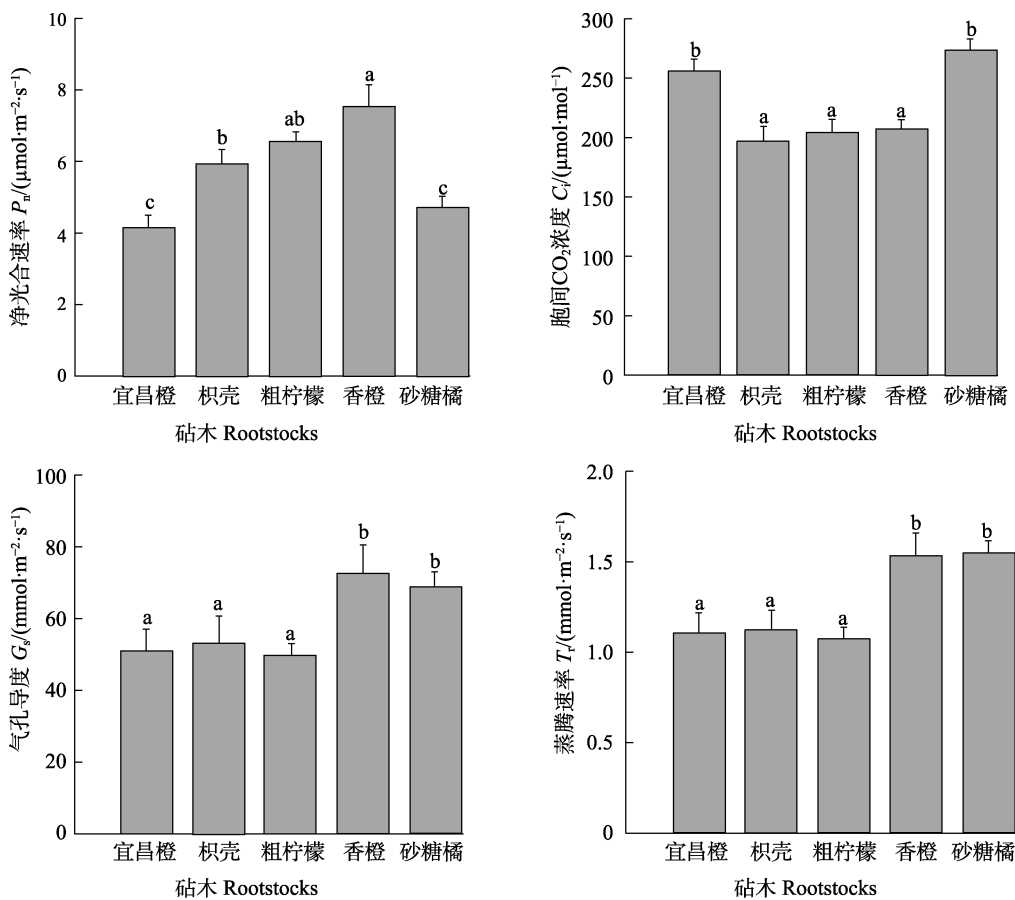


不同小写字母表示不同砧木间差异显著 ( $P < 0.05$ )。

Different lowercase letters indicate significant difference among different rootstocks ( $P < 0.05$ ).

图 1 不同砧木对砂糖橘叶片叶绿素含量的影响

Fig. 1 Effects of different rootstocks on leaf chlorophyll content of 'Shatangju' plants



不同小写字母表示不同砧木间差异显著 ( $P < 0.05$ )。

Different lowercase letters indicate significant difference among different rootstocks ( $P < 0.05$ ).

图 2 不同砧木对砂糖橘光合特性的影响

Fig. 2 Effects of different rootstocks on photosynthetic characteristics of 'Shatangju' plants

著正相关 ( $r=0.364^{**}$ ), 而  $T_r$ 、 $P_n$ 、 $G_s$  与嫁接苗的砧穗比率呈显著负相关。

### 2.4 不同砧木对砂糖橘嫁接苗叶片可溶性糖含量的影响

砧木对砂糖橘叶片中糖含量也具有一定影响, 由图 3 可知, 以香橙、砂糖橘和粗柠檬为

砧的砂糖橘叶片中的可溶性总糖含量显著高于以枳壳和宜昌橙为砧的; 不同砧木的砂糖橘叶片中还原糖含量以粗柠檬砧和香橙砧较高, 而以本砧、枳壳砧和宜昌橙砧较低, 其中以宜昌橙为砧的砂糖橘叶片还原糖含量显著低于其他砧木, 为 2.30%; 粗柠檬砧砂糖橘叶片中的蔗糖含量显著高于其他

砧木, 为 3.37%, 而宜昌橙砧的砂糖橘叶片中的蔗糖含量显著低于其他砧木, 为 2.18%, 其他处理之间并无显著差异。

表 2 砂糖橘植株叶片光合生理指标和生长势指标之间的相关性分析

Tab. 2 Correlation between photosynthetic physiological indexes and growth indexes of 'Shatangju' tangerine

指标 Index	$T_r$	$P_n$	$G_s$	$C_i$	VPD
$T_r$	1				
$P_n$	0.522**	1			
$G_s$	0.956**	0.580**	1		
$C_i$	0.534**	0.333**	0.541**	1	
VPD	-0.366**	-0.433**	-0.605**	-0.302*	1
接穗高度	0.137	0.364**	0.109	-0.229	-0.032
砧穗比率	-0.335**	-0.495**	-0.343**	0.062	0.177

注: \*表示显著相关 ( $P<0.05$ ); \*\*表示极显著相关 ( $P<0.01$ )。

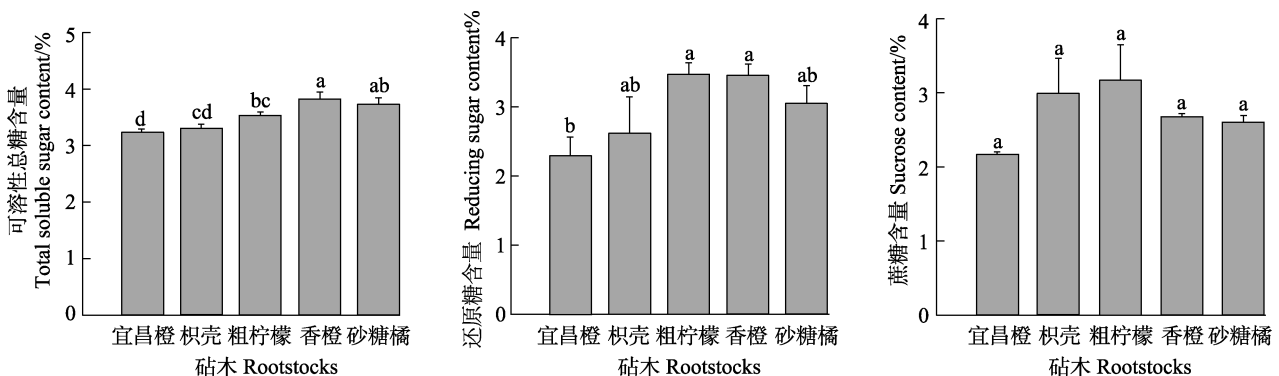
Note: \* indicates significant correlation ( $P<0.05$ ); \*\* indicates extremely significant correlation ( $P<0.01$ ).

### 3 讨论

砧木对果树嫁接品种的生长势具有显著影响。BASILE 等<sup>[12]</sup>研究了不同砧木对桃树的枝条生长量及水势的影响, 结果表明 K-146-43 砧能显著降低桃的枝条生长。GEORGIU<sup>[13]</sup>研究了 11 种砧木对柑橘的树势、产量、果实品质等的影响, 发现砧木对主干横截面积、树冠直径和树冠体积有显著的影响。GIREESH 等<sup>[14]</sup>研究了 8 种不同砧木对于阿方索芒果树体生长和产量的影响, 发现主干横截面积 (TSCA) 与树冠横截面积有着显著的正相关, CANTIN 等<sup>[15]</sup>在甜樱桃上也得到了类似的结果。DUBEY 等<sup>[16]</sup>研究了不同砧木对柠檬

的树势、产量等的影响, 结果表明砧木对接穗的生长具有显著的影响, 嫁接在粗柠檬上的株高最大, 树冠体积最大。本研究中, 粗柠檬和香橙砧的砂糖橘生长最旺, 嫁接 10 个月后其生长指标显著高于其他砧穗组合的, 表现出乔化特性; 枳壳和宜昌橙砧生长势最弱, 表现出矮化特性。砧穗比值作为判断不同砧穗组合嫁接亲和性的重要指标, 其值越接近 1, 表明砧穗嫁接亲和性越好, 反之嫁接亲和性差<sup>[17]</sup>。BASSAL<sup>[18]</sup>研究了不同砧木对 'Marisol' 克里曼丁红橘的嫁接亲和性的影响, 结果表明酸橙砧与 'Marisol' 克里曼丁红橘的亲性和最好, 而施文格枳柚砧与 'Marisol' 克里曼丁红橘的嫁接亲和性最差。本研究结果表明, 宜昌橙/砂糖橘砧穗组合的砧穗比率 ( $2.08\pm 0.10$ ) 显著高于其他砧穗组合, 可能导致宜昌橙/砂糖橘砧穗组合的亲性和最差。

许多研究表明乔化砧上的果树比矮化砧上的果树具有更高的净光合效率。GONCALVES 等<sup>[19]</sup>研究了不同砧穗组合对于甜樱桃的生理指标的影响, 结果表明嫁接在乔化砧上的樱桃比嫁接在矮化砧上的的樱桃具有更高的  $P_n$ 、 $G_s$ 、 $C_i$ 。葡萄<sup>[20]</sup>、苹果<sup>[21]</sup>、葡萄柚<sup>[22]</sup>等果树上也得到了类似的结果。本研究中, 香橙砧的  $P_n$ 、 $G_s$ 、 $T_r$  较高, 而宜昌橙砧和枳壳砧的较低, 香橙砧的柑橘表现出更优的光合特性。相关性分析表明, 不同砧木砂糖橘的  $P_n$ 、 $G_s$ 、 $C_i$ 、 $T_r$  和嫁接植株生长势 (VPD) 均呈显著正相关, 而与 VPD 和砧穗比率呈显著负相关。嫁接不亲和导致地下部向地上部水分供应受阻, 造成地上部水分严重匮乏, 从而严重影响了接穗的光合性能。SOLARI 等<sup>[23]</sup>研究了嫁接在



不同小写字母表示不同砧木间差异显著 ( $P<0.05$ )。

Different lowercase letters indicate significant difference among different rootstocks ( $P<0.05$ ).

图 3 不同砧木对砂糖橘叶片糖含量的影响

Fig. 3 Effects of different rootstocks on leaf sugar content of 'Shatangju' plants

不同砧木上的桃树的营养生长和叶片气体交换与水势的关系,结果表明枝条生长速率,叶片气孔导度,叶片呼吸速率,叶片净光合效率与水势呈正相关,这与本研究的结论一致。

植物光合作用的主要产物是碳水化合物,例如可溶性糖,或转化而成的蔗糖与贮藏态的淀粉。植物光合作用的强弱对植物体中碳水化合物含量有着显著的影响。JOVER 等<sup>[24]</sup>研究了砧木对纽荷尔脐橙的光合性能和碳水化合物分布的影响,结果表明乔化砧的高光合性能导致叶片至根部中光合同化物转运较高,使乔化砧的根系中积累了较高的蔗糖和淀粉。本研究中,高光合性能的香橙砧和粗柠檬砧的砂糖橘嫁接苗叶片中的可溶性总糖含量、还原糖含量和蔗糖含量均显著高于低光合性能宜昌橙砧的,与前人的研究结果一致。

生产上应用较为广泛的砂糖橘砧木为枳壳,其优势表现在矮化、果小、丰产,但是较短的盛果期、结果期年限制约了其进一步应用。李有芳等<sup>[25]</sup>研究表明广西和云南地区香橙砧砂糖橘的树冠体积、单果质量、单株产量显著大于枳壳砧砂糖橘。本研究中,不同砧木对砂糖橘的生长势和光合效率影响有显著差异,宜昌橙砧砂糖橘光合效率较低,树体生长势较弱,而嫁接在香橙砧上的砂糖橘具有健壮的树势和较强的光合性能,可推荐为砂糖橘的优良备选砧木进一步研究其品质、产量、抗病虫性和抗逆性能等。

## 参考文献

- [1] 陈哲. '井岗红糯'荔枝嫁接亲和性及其机理研究[D]. 广州: 华南农业大学, 2016.  
CHEN Z. 'Jingganghongnuo' litchi grafting affinity and its mechanism[D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2016. (in Chinese)
- [2] 胡利明, 夏仁学, 周开兵, 黄仁华, 王明元, 谭美莲. 不同砧木对温州蜜柑光合特性的影响[J]. 园艺学报, 2006(5): 937-941.  
HU L M, XIA R X, ZHOU K B, HUANG R H, WANG M Y, TAN M L. Effects of different rootstocks on photosynthetic characteristics of *Satsuma mandarin*[J]. Horticultural Journal, 2006(5): 937-941. (in Chinese)
- [3] 朱世平, 陈娇, 马岩岩, 闫树堂, 钟广炎. 柑橘砧木评价及应用研究进展[J]. 园艺学报, 2013, 40(9): 1669-1678.  
ZHU S P, CHEN J, MA Y Y, YAN S T, ZHONG G Y. Advances in evaluation and application of citrus rootstocks[J]. Acta Horticultural Sinica, 2013, 40(9): 1669-1678. (in Chinese)
- [4] 覃艳. 柑橘砧木的根系特征及对砂糖橘幼树生长的影响[D]. 广州: 仲恺农业工程学院, 2016.  
QIN Y. Root characteristics of citrus rootstocks and their effects on the growth of Shatangju saplings[D]. Guangzhou: Zhongkai University of Agricultural Engineering, 2016. (in Chinese)
- [5] 庞学群, 陈燕妮, 黄雪梅, 汪跃华, 胡位荣, 张昭其. 冷害导致砂糖橘果实品质劣变[J]. 园艺学报, 2008(4): 509-514.  
PANG X Q, CHEN Y N, HUANG X M, WANG Y H, HU W R, ZHANG Z Q. Cold damage leads to fruit quality deterioration of Shatangju[J]. Horticultural Journal, 2008(4): 509-514. (in Chinese)
- [6] 王兆兵, 李惠珍, 林俊华, 田建秀, 吴振先. 砂糖橘果实大小对其品质及贮藏性影响的研究[J]. 保鲜与加工, 2012, 12(1): 6-11.  
WANG Z B, LI H Z, LIN J H, TIAN J X, WU Z X. Study on the effect of fruit size on the quality and storage of sugar orange[J]. Preservation and Processing, 2012, 12(1): 6-11. (in Chinese)
- [7] LIU X Y, LI J, HUANG M, CHEN J Z. Mechanisms for the influence of citrus rootstocks on fruit size[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2015, 63(10): 2618-2627.
- [8] 刘振, 洪励伟, 李娟, 陈杰忠, 罗小燕, 覃燕. 不同柑橘砧木对砂糖橘果实品质的影响[J]. 广东农业科学, 2016, 43(8): 39-44.  
LIU Z, HONG L W, LI J, CHEN J Z, LUO X Y, QIN Y. Effects of different citrus rootstocks on fruit quality of Shatangju[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2016, 43(8): 39-44. (in Chinese)
- [9] LIU X Y, LI J, LIU M M, YAO Q, CHEN J Z. Transcriptome profiling to understand the effect of *Citrus* rootstocks on the growth of 'Shatangju' mandarin[J]. PLoS One, 2017, 12(1): e0169897.
- [10] 李玲. 植物生理学模块实验指导[M]. 北京: 科学出版社, 2009.  
LI L. Experimental instruction of plant physiology module [M]. Beijing: Science Press, 2009. (in Chinese)
- [11] 张志良, 瞿伟菁. 植物生理学实验指导[M]. 第3版, 北京: 高等教育出版社, 2003.  
ZHANG Z L, QU W J. Experimental instruction of plant physiology[M]. 3rd, Beijing: Higher Education Press, 2003. (in Chinese)
- [12] BASILE B, MARSAL J, DEJONG T M. Daily shoot extension growth of peach trees growing on rootstocks that reduce scion growth is related to daily dynamics of stem water potential[J]. Tree Physiology, 2003, 23(10): 695.
- [13] GEORGIU A. Performance of 'Nova' mandarin on eleven rootstocks in Cyprus[J]. Scientia Horticulturae, 2000, 84(1/2):

- 115-126.
- [14] GIREESH T, VARGHESE Y A, WOESTE K E, MERCYKUTTY V C, MARATTUKALAM J G. Effect of monoclonal and assorted seedling rootstocks on long term growth and yield of *Hevea* clones[J]. *Silvae Genetica*, 2017, 61(1): 52-57.
- [15] CANTÍN C M, PINOCHET J, GOGORCENA Y, MORENO M. Growth, yield and fruit quality of 'Van' and 'Stark Hardy Giant' sweet cherry cultivars as influenced by grafting on different rootstocks[J]. *Scientia Horticulturae*, 2010, 123(3): 329-335.
- [16] DUBEY A K, SHARMA R M. Effect of rootstocks on tree growth, yield, quality and leaf mineral composition of lemon [*Citrus limon* (L.) Burm.][J]. *Scientia Horticulturae*, 2016, 200: 131-136.
- [17] BISIO L, VIGNALE B, CARRAU F. Evaluation of nine rootstocks for *Owari satsoma* mandarin in Uruguay[C]// Proceedings of the International Society of Citriculture. IX Congress. Orlando, Florida, 2000: 479-481.
- [18] BASSAL M A. Growth, yield and fruit quality of 'Marisol' clementine grown on four rootstocks in Egypt[J]. *Scientia Horticulturae*, 2009, 119(2): 132-137.
- [19] GONCALVES B, MOUTINHO-PEREIRA J, SANTOS A, SILVA A P, BACELAR E, CORREIA C, ROSA E. Scion-rootstock interaction affects the physiology and fruit quality of sweet cherry[J]. *Tree Physiology*, 2006, 26(1): 93-104.
- [20] PATAKAS A, KOFIDIS G, BOSABALIDIS A M. The relationships between CO<sub>2</sub>, transfer mesophyll resistance and photosynthetic efficiency in grapevine cultivars[J]. *Scientia Horticulturae*, 2003, 97(3/4): 255-263.
- [21] FALLAHI E, CHUN I J, NEILSEN G H, COLT W M. Effects of three rootstocks on photosynthesis, leaf mineral nutrition, and vegetative growth of 'BC-2 Fuji' apple trees[J]. *Journal of Plant Nutrition*, 2001, 24(6): 827-834.
- [22] ÇIMEN B, YEŞİLOĞLU T, INCESU M, YILMAZ B. Effects of nine rootstocks on fruit yield and photosynthesis of 'Star Ruby' grapefruit[J]. *Acta Horticulture*, 2016(1130): 445-450.
- [23] SOLARI L I, JOHNSON S, DEJONG T M. Relationship of water status to vegetative growth and leaf gas exchange of peach (*Prunus persica*) trees on different rootstocks[J]. *Tree Physiology*, 2006, 26(10): 1333-1341.
- [24] JOVER S, MARTINEZ-ALCANTARA B, RODRIGUEZ-GAMIR J, LEGAZ F, PRIMO-MILLO E, FORNER J, FORNER-GINERM A. Influence of rootstocks on photosynthesis in navel orange leaves: effects on growth, yield, and carbohydrate distribution[J]. *Crop Science*, 2012, 52(52): 13.
- [25] 李有芳, 张超博, 陈焱, 黄梓洋, 凌丽俐, 曹立, 何义仲, 彭良志. 不同砧木金秋砂糖桔生长结果比较[J]. *中国南方果树*, 2019, 48(4): 4-9, 13.
- LI Y F, ZHANG C B, CHEN Y, HUANG Z Y, LING L L, CAO L, HE Y Z, PENG L Z. Comparison of growth results of different rootstocks[J]. *Southern China Fruit Trees*, 2019, 48(4): 4-9, 13. (in Chinese)