

路妍,魏冉冉,叶俊丽,等.2种砧木对‘早红’脐橙生长和果实品质的影响[J].华中农业大学学报,2025,44(2):243-250.
DOI:10.13300/j.cnki.hnlkxb.2025.02.024

2种砧木对‘早红’脐橙生长和果实品质的影响

路妍¹,魏冉冉¹,叶俊丽¹,柴利军¹,邓秀新¹,廖胜才²,谢宗周¹

1. 果蔬园艺作物种质创新与利用全国重点实验室/华中农业大学园艺林学学院,武汉430070;
2. 秭归县果茶发展中心,秭归443699

摘要 为比较不同砧木对‘早红’脐橙果实品质和树体生长的影响,对枳砧和红橘砧以及枳砧早红靠接红橘砧(枳+红橘)3种砧穗组合的成年树及五年生幼树进行了研究。结果显示,嫁接不同砧木‘早红’脐橙的光合作用及产物、树体长势、果实产量及品质均存在差异。在叶片可溶性糖含量、胞间CO₂浓度和气孔导度方面,枳砧>枳+红橘砧>红橘砧;在营养生长、树势及果实产量方面,株高、冠幅、枝梢长度、叶片大小及果实产量表现为红橘砧>枳+红橘砧>枳砧;在果实品质方面,枳砧在果实可溶性固形物含量和总酸含量上高于其他组合,其中枳砧的可溶性糖含量与其他组合存在显著性差异,而不同砧木的固酸比无显著差异。在果实单果质量上,红橘砧与枳+红橘砧均大于枳砧,且枳砧在不同年份间果实大小不稳定。以上结果表明,红橘砧的树势较强,果实产量、单果质量高,且固酸比不逊于枳砧,总体经济效益更佳,适宜在三峡库区推广使用。

关键词 柑橘;‘早红’脐橙;砧木评价;果实品质;树势差异

中图分类号 S666

文献标识码 A

文章编号 1000-2421(2025)02-0243-08

‘早红’脐橙是‘罗伯逊’脐橙和‘国庆1号’温州蜜柑的嫁接嵌合体。它具有橙的果皮和橘的果肉,口感细腻,化渣性好,成熟时囊瓣不明显^[1]。在柑橘栽培中,砧木选择对树体生长和果实品质均具有重要影响^[2-4],枳和红橘是三峡库区脐橙栽培常用的砧木。枳作为柑橘砧木具有果实品质优良、抗病性强和耐盐碱性好等优点,但也存在树势较弱、根系发育不良的缺点^[5-8]。红橘作为柑橘砧木具有树势强壮、根系发达和适应性广等优点,但其品质较一般,抗病性较弱^[9-10]。生产实践中还会选择2种砧木进行靠接,2种砧木共同支持接穗的生长发育,以增强树势、挽救病树、提早结果和延长结果期^[11]。‘早红’脐橙作为优良的早熟脐橙品种在三峡库区具有极高的种植效益,然而,其配套砧木问题一直未能有效解决,选择合适的砧木对其种植和推广具有重要意义。因此,本研究选择枳、红橘以及枳砧木与红橘砧木靠接3种组合,通过评估不同砧木对‘早红’脐橙树体生长和果实品质的影响,以期对‘早红’脐橙的砧木选择及种植推广提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验地点位于宜昌市秭归县梅家河家庭农场,山地果园,海拔425 m,土地pH 4.19,强酸性土壤,中间砧为纽荷尔脐橙,2013年改为嫁接‘早红’(*Citrus sinensis* Osbeck cv. ‘Zaohong’)脐橙,供试砧木为枳(*Poncirus trifoliata* Raf., Pt)、红橘(*C. reticulata* Blanco cv. Red tangerine, Rt)以及枳+红橘(Pt+Rt,以枳为基础,靠接红橘砧木),30年生树。在果园的同一位置每种组合选择3株(3个生物学重复),进行同等条件水肥和枝梢管理,记录2021、2022年各季度新梢长度与粗度,于2021年、2022年花后140 d开始进行品质测定,并采集健康叶片进行相关分析。

在华中农业大学柑橘育种中心基地,培育早红/枳、早红/红橘和早红/(枳+红橘)3种砧穗组合五年生幼树,测定树体叶片光合作用指标、叶片碳水化合物、叶绿素含量。

1.2 试验方法

1)树势的测定。株高利用皮尺测量根颈部到顶

收稿日期:2024-02-20

基金项目:湖北省重点研发计划项目(2021BBA238);长江勘测规划设计研究有限责任公司自主创新项目(CX2021Z52)

路妍,E-mail:1464429428@qq.com

通信作者:谢宗周,E-mail:xiezz@webmail.hzau.edu.cn

部之间的距离,冠幅用相互垂直东西和南北方向树冠直径的平均值表示,砧木茎粗采用厘米尺测量嫁接接口下方5 cm和上方5 cm处粗度,每个指标测量3次取平均值。在2021—2022年间,于每次新梢停长后,采用厘米尺与游标卡尺对10枝新梢的长度(枝梢基部到梢顶端)和基部粗度进行测量,并计算其平均值。

2)光合指标测定。利用便携式光合荧光含量测量系统(LI—6400XT,LI-COR,USA)在晴天上午测量五年生幼树叶面积光合速率,并从树体东西南北采摘健康成熟叶片,一部分利用叶面积仪(Yanxin-1241,北京雅欣理仪科技有限公司)测量叶片指标,余下带回实验室经液氮速冻,混样后存放于−80℃冰箱,用于测量叶片叶绿素、可溶性糖与淀粉含量。

3)果实品质测定。在花后140 d后每隔15 d进行1次果实品质测定,共测定6个发育时期。每棵树选取6个果,使用电子天平(精确到0.01 g)测量果实质量。使用游标卡尺(精确到0.01 mm)测量果实纵横径,计算果型指数。

使用CM-5色差仪(Konica Minolta, Japan),在果实赤道面随机选取6个点进行果皮色差值测定,样本进行3次重复试验。记录 L^* 值(亮度值), a^* 值(红绿

值)和 b^* 值(黄蓝值),用色差指数ICC(公式中记作 I_{cc})综合评估, $I_{cc}=1000\times a^*/(L^*\times b^*)$ 。使用PAL-1糖度计(爱拓,Japan)测定果实可溶性固形物,使用PAL-Easy ACID1酸度计(爱拓,Japan)测定可滴定酸,采用2,6-二氯靛酚法测定抗坏血酸含量。测定叶片内可溶性糖和淀粉等碳水化合物含量参照文献^[12]的方法进行。

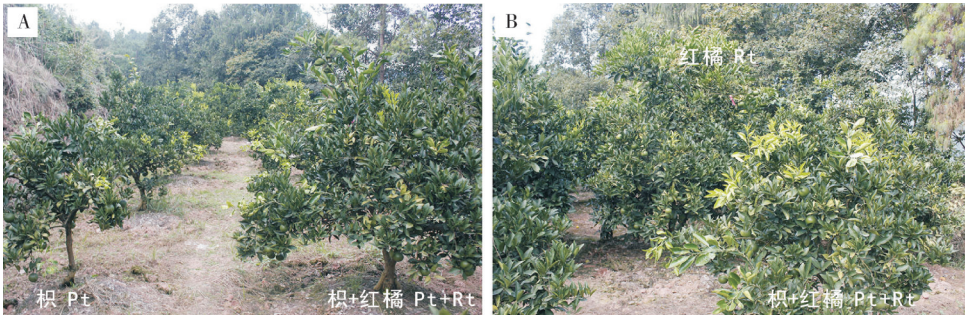
1.3 数据分析

利用Microsoft Office Excel 2018和Primer 5软件对所获得的数据进行处理和作图,并利用SPSS 24.0软件对数据进行方差分析,统计分析采用单因素ANOVA的LSD比较处理间的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 不同砧木对‘早红’脐橙树体生长的影响

在树体特征方面,秭归产区成年脐橙树,以红橘作砧(Rt)的树体最为高大,枳+红橘砧(Pt+Rt)次之,枳砧(Pt)最矮(图1)。进一步研究不同砧木‘早红’脐橙树体生长发育情况,结果显示,3种砧木中,红橘作砧的树体在株高、冠幅、砧木茎粗及坐果量方面表现最好,枳+红橘砧次之,枳砧树体最差,不同砧木间存在显著性差异(表1)。



A: 枳砧与枳+红橘砧树体外观对比图 Appearance comparison of the tree with *Poncirus trifoliata* as rootstock and *Poncirus trifoliata* + Red tangerine as rootstock; B: 红橘砧与枳+红橘砧树体外观对比图 Appearance comparison of the tree with Red tangerine as rootstock and *Poncirus trifoliata* + Red tangerine as rootstock.

图1 不同砧木‘早红’脐橙外观差异

Fig. 1 Appearance difference of ‘Zaohong’ navel orange under different stock combinations

表1 不同砧木‘早红’脐橙树体生长和坐果量情况

Table 1 Tree growth and fruit number of ‘Zaohong’ navel orange under different rootstock combinations

砧木 Rootstock	树高/m Height	冠幅/m Crown diameter	茎粗/cm Trunk thickness	坐果量/个 Fruit number	
				2021年	2022年
枳 Pt	1.39±0.16c	1.30±0.20c	5.61±1.67b	26±18b	40±28a
枳+红橘 Pt+Rt	1.83±0.07b	1.96±0.14b	8.92±1.96ab	63±7b	57±15a
红橘 Rt	2.92±0.12a	2.75±0.08a	13.4±1.75a	200±35a	81±10a

注:测量树体为30年生树。不同小写字母表示不同处理间差异显著($P<0.05$),下同。Note: Measured trees are 30 year old trees. Different lowercase letters indicate significant difference in different treatment ($P<0.05$), the same as below.

在新梢发生方面,不同年份间差别较小。不同类型砧木中红橘砧的春梢与秋梢长度最长,枳+红橘砧组合的春梢和秋梢长度相对较长,枳砧的春梢与秋梢长度最短(表 2)。此外,不同类型砧木中,仅红橘砧在 2021 年出现少量夏梢,其余年份及其他砧木未见夏梢的发生。

在叶片形态方面,叶面积、叶周长、叶长和叶宽均表现为红橘砧>枳+红橘砧>枳砧,其中红橘砧的叶面积比枳砧多 36.7%,比枳+红橘砧多 19.6%,红橘砧与其他砧木存在显著差异(表 3)。

表 2 不同砧木‘早红’脐橙新梢发生情况

Table 2 Occurrence of branches of ‘Zaohong’ navel orange under different rootstock combinations

年份 Year	砧木 Rootstock	春梢 Spring shoot		夏梢 Summer shoot		秋梢 Autumn shoot	
		长度/cm Length	粗度/mm Thickness	长度/cm Length	粗度/mm Thickness	长度/cm Length	粗度/mm Thickness
2021 年	枳 Pt	12.14±2.34b	1.4±0.27b	—	—	—	—
	枳+红橘 Pt+Rt	17.62±3.92a	2.1±0.58b	—	—	26.41±4.08	1.8±0.31
	红橘 Rt	22.07±6.4a	3.0±0.27a	34.69±6.27	2.7±0.05	30.12±9.23	2.0±0.63
2022 年	枳 Pt	9.91±2.02b	3.06±0.22a	—	—	14.15±3.64b	2.94±0.38ab
	枳+红橘 Pt+Rt	13.77±3.81a	2.77±0.59a	—	—	17.16±3.22a	3.39±0.68a
	红橘 Rt	15.12±5.15a	2.46±0.51a	—	—	18.53±6.13a	2.89±0.88b

注:测量树体为 30 年生树。Note:Measured trees are 30 year old trees.

表 3 不同砧木‘早红’脐橙叶片形态情况

Table 3 Leaf morphology difference of ‘Zaohong’ navel orange under different stock combinations

砧木 Rootstock	叶面积/mm ² Leaf area	叶周长/mm Leaf circumference	叶长/mm Leaf length	叶宽/mm Leaf width
枳 Pt	1 836.75±741.09b	176.82±19.06b	77.61±8.30b	35.44±5.47b
枳+红橘 Pt+Rt	2 099.53±592.13b	196.85±68.20ab	83.08±10.06b	37.76±6.34b
红橘 Rt	2 511.54±497.68a	205.18±27.09a	88.41±12.71a	42.35±6.88a

注:测量树体为 30 年生树。Note:Measured trees are 30 year old trees.

2.2 不同砧木对‘早红’脐橙果实外观品质的影响

随着果实的生长发育,果实逐渐膨大,在落花后 185~220 d,果实生长放缓,逐渐停止发育(图 2)。果实外观品质方面,2021 年花后 220 d 三种砧木的单果质量、果实纵径、横径之间无显著差异(图 3A—3C)。果实发育过程中,3 种砧木果实果型指数为 0.82~0.95,表明果实为扁椭圆形,且在发育过程中均匀膨大(图 3D)。2022 年,红橘砧和枳+红橘砧的单果重、果实纵径和横径在各个发育时期均显著高于枳砧(图 3E—3G)。在花后 220 d,红橘砧与枳+红橘砧的单果质量较枳砧增加 25.7%与 18.5%,果实纵径较枳砧分别增加 6.5%与 8.7%,果实横径较枳砧分别增加 6.2%与 4.1%。不同类型砧木的果型指数在各个发育阶段保持在 0.90~0.95,与上一年果型指数接近,果实表现仍为扁椭圆形(图 3H)。2022 年与 2021 年相比,在花后 220 d 枳砧的单果质量、果实纵径和横径比 2021 年同时期枳砧分别缩减 12.8%、7.9% 和 14.1%,表明枳砧在不同年份间果实大小不稳定。

2.3 不同砧木对‘早红’脐橙果实内在品质的影响

果实可溶性固形物(TSS)含量方面,枳砧 2021

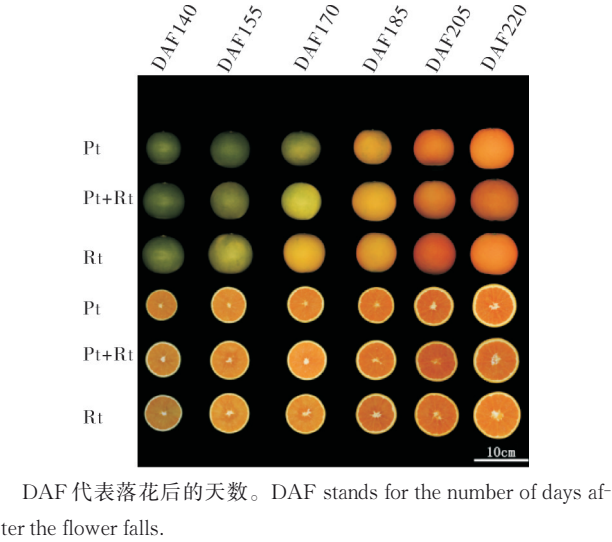
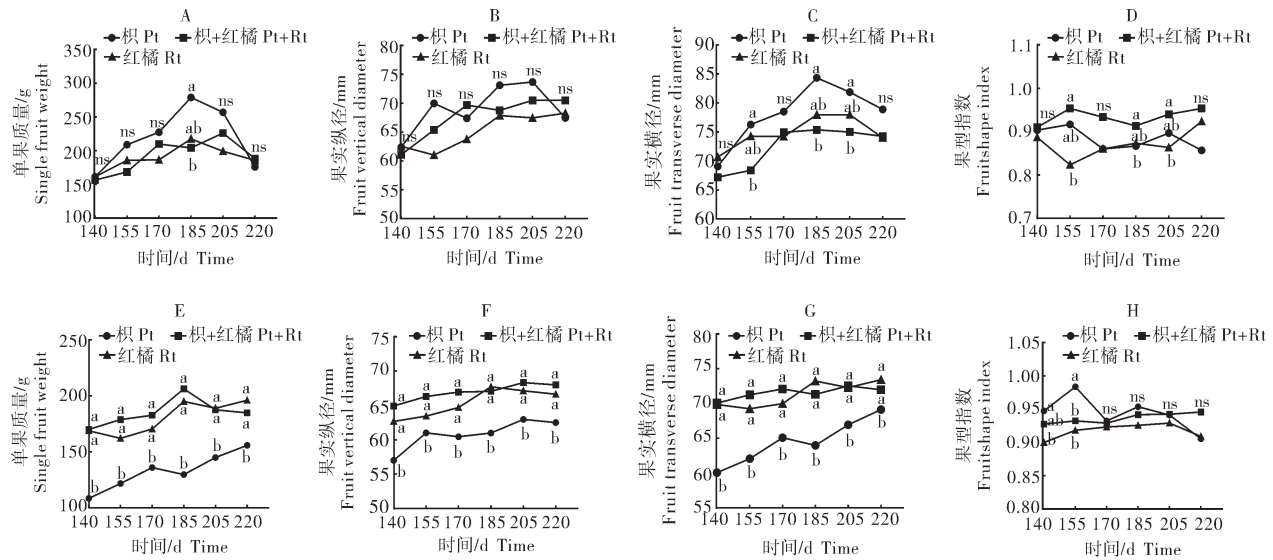


图 2 不同砧木对‘早红’脐橙果实色泽的影响

Fig. 2 Effect of different rootstock combinations on fruit color of ‘Zaohong’ navel orange

年与 2022 年花后 220 d 枳砧的 TSS 含量均显著高于其他砧木。2021 年花后 220 d 枳砧的 TSS 含量为 11.6%,高于枳+红橘砧的 9.1%与红橘砧的 9.7%(图 4A)。2022 年花后 220 d 枳砧的 TSS 为



A: 单果质量(2021年); B: 果实纵径(2021年); C: 果实横径(2021年); D: 果型指数(2021年); E: 单果质量(2022年); F: 果实纵径(2022年); G: 果实横径(2022年); H: 果型指数(2022年)。不同小写字母代表同一时期不同处理之间差异显著($P < 0.05$), ns表示没有显著差异, 下同。测量树体为30年生树。A: Single fruit weight (Year: 2021); B: Fruit vertical diameter (Year: 2021); C: Fruit transverse diameter (Year: 2021); D: Fruit shape index (Year: 2021); E: Single fruit weight (Year: 2022); F: Fruit vertical diameter (Year: 2022); G: Fruit transverse diameter (Year: 2022); H: Fruit shape index (Year: 2022). Different small letters indicate significant differences ($P < 0.05$) among treatments within each phenological stage, ns indicates no significant difference. The same as below. Measured trees are 30 year old trees.

图3 不同砧木对‘早红’脐橙果实大小的影响

Fig. 3 Effect of different rootstock combinations on fruit size of ‘Zaohong’ navel orange

13.8%, 高于红橘砧的13%和枳+红橘砧的11.93%(图4E), 表明枳砧显著提升果实可溶性固形物含量。

果实可滴定酸(TA)含量方面, 2021年与2022年花后220 d枳砧的果实可滴定酸(TA)含量高于其他砧木。2021年花后220 d枳砧的可滴定酸含量平均值为0.78%, 高于枳+红橘砧的0.62%与红橘砧的0.61%, 不同砧木间无显著性差异(图4B)。2022年花后220 d枳砧的TA含量为0.70%, 高于红橘砧的0.54%和枳+红橘砧的0.52%, 枳砧的TA含量与其他砧木存在显著性差异(图4F)。

果实维生素C含量方面, 2021年与2022年VC含量在花后155 d逐渐上升, 花后205~220 d三种砧木VC含量均开始下降(图4C和4G)。

果实固酸比方面, 3种砧木在果实发育过程中固酸比均呈上升趋势, 在各个发育时期3种砧木固酸比无显著差异。2021年和2022年在花后205~220 d固酸比达到最高, 2021年枳砧的固酸比值最高为20.27, 枳+红橘砧为16.83, 红橘砧为18.61(图4D)。2022年花后220 d三种砧木固酸比达到最高值, 红橘砧的固酸比数值最高(图4H)。

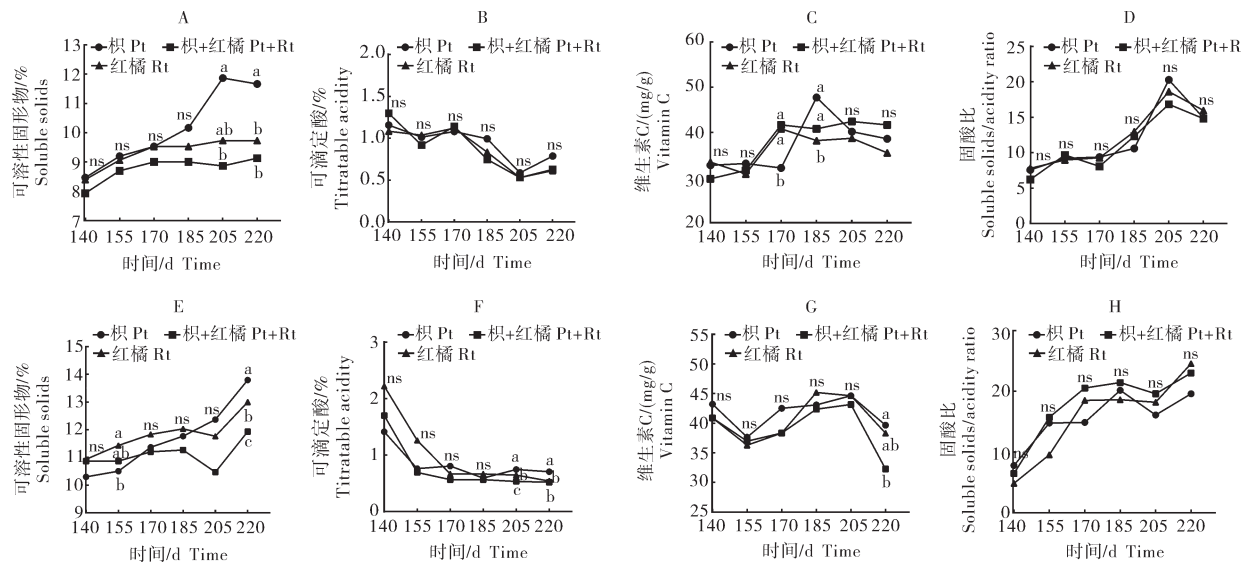
2.4 不同砧木对‘早红’脐橙叶片光合特性的影响

不同砧木会影响叶片的光合作用从而影响接穗

的生长, 因此, 本研究利用‘早红’脐橙不同组合五年生嫁接苗, 对不同砧木下‘早红’脐橙叶片的光合特性进行测定。结果显示, 不同砧木对‘早红’脐橙叶片的光合速率和蒸腾速率无明显影响, 但叶片的胞间 CO_2 浓度与气孔导度均为枳砧>红橘砧>枳+红橘砧, 且不同砧木间存在显著性差异, 表明枳砧对 CO_2 拥有更好的捕获能力(图5)。

叶绿素是参与光合作用的关键色素之一, 叶片内叶绿素含量高低可以反映其光合能力的强弱和对光能的捕获效率。本研究中红橘砧的总叶绿素含量、叶绿素a含量、叶绿素b含量分别为1.92、0.81、1.11 mg/g, 均小于其他砧木, 但彼此间差异不显著, 由此可见不同砧木对叶片叶绿素含量影响不明显(图6)。

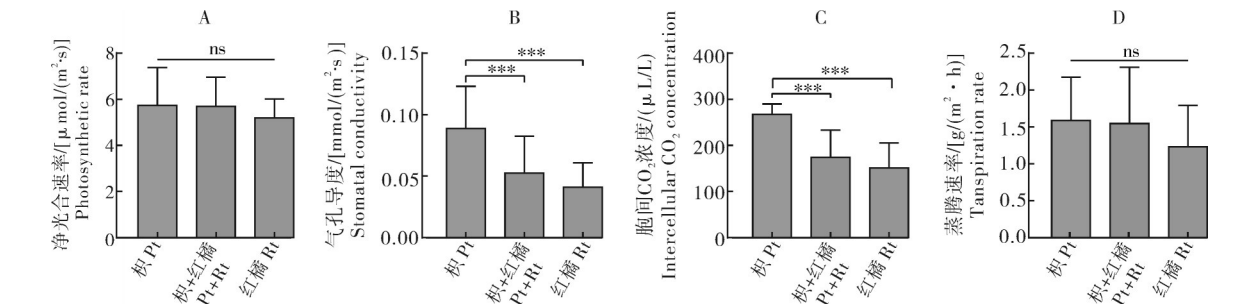
碳水化合物由植物光合作用产出, 它们在植物体内进行储存和运输, 供给植物生长和代谢所需的能量和碳源。高碳水化合物含量通常意味着植物具有较高的光合能力和碳固定能力。3种不同砧木叶片中可溶性糖(图7A)和淀粉含量(图7B)的测定结果显示, 利用枳作为砧木的叶片中可溶性糖含量为1.67%, 高于红橘砧木的0.57%, 枳+红橘组合砧木的0.70%, 不同砧木间存在显著差异, 可能原因是乔化砧生长量大, 因而有更多能量消耗, 而枳砧作为矮



A:可溶性固形物(2021年);B:可滴定酸(2021年);C:维生素C(2021年);D:固酸比(2021年);E:可溶性固形物(2022年);F:可滴定酸(2022年);G:维生素C(2022年);H:固酸比(2022年)。测量树体为30年生树。A:Soluble solids(Year:2021);B:Titrateable acidity(Year:2021);C: Vitamin C (Year: 2021);D: Soluble solids/acidity ratio (Year: 2021);E: Soluble solids (Year: 2022);F: Titrateable acidity (Year: 2022);G: Vitamin C (Year: 2022);H: Soluble solids/acidity ratio (Year: 2022).Measured trees are 30 year old trees.

图4 不同砧木对‘早红’脐橙果实内在品质的影响

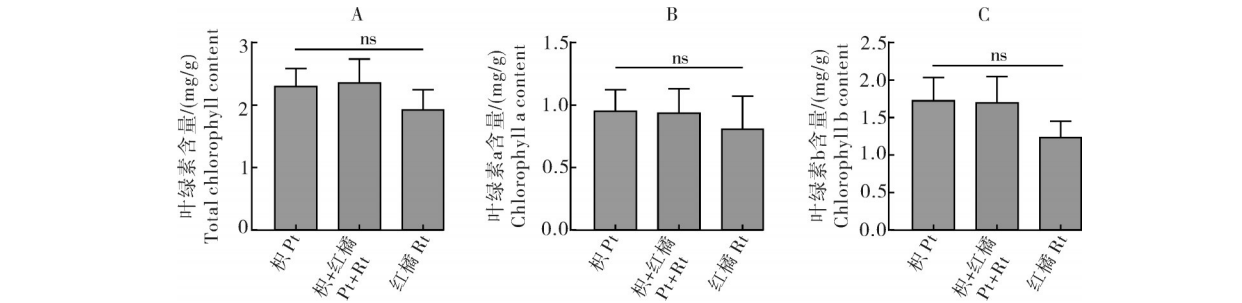
Fig. 4 Effect of different rootstocks on internal quality of ‘Zaohong’ navel orange



A:净光合速率Photosynthetic rate;B:气孔导度Stomatal conductivity;C:胞间CO₂浓度 Intercellular CO₂ concentration;D:蒸腾速率 Transpiration rate. 测量材料为五年生嫁接苗 Measurements were taken on five-year old grafted seedlings. ***表示不同砧木间差异显著($P<0.001$),ns表示没有显著差异,下同。*** indicates significant difference between different rootstocks ($P<0.001$),ns indicates no significant difference,the same as below.

图5 不同砧木对‘早红’脐橙叶片光合作用的影响

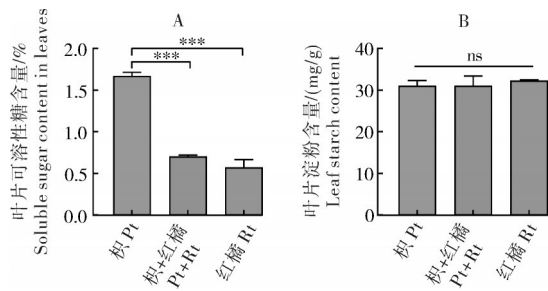
Fig. 5 Effects of different rootstocks combinations on photosynthesis of ‘Zaohong’ navel orange



A:叶绿素含量Total chlorophyll content;B:叶绿素a含量 Chlorophyll a content;C:叶绿素b含量 Chlorophyll b content. 测量材料为五年生嫁接苗 Measurements were taken on five-year old grafted seedlings.

图6 不同砧木对‘早红’脐橙叶片叶绿素含量的影响

Fig. 6 Effects of different rootstocks combinations on chlorophyll content of ‘Zaohong’ navel orange



A: 叶片可溶性糖 Soluble sugar content in leaves; B: 叶片淀粉含量 Leaf starch content. 测量材料为五年生嫁接苗 Measurements were taken on five-year old grafted seedlings.

图7 不同砧木对‘早红’脐橙叶片碳水化合物的影响

Fig. 7 Effects of different rootstocks combinations on carbohydrate in ‘Zaohong’ navel orange

化砧有较多的能量富余。但不同砧木间叶片淀粉含量无显著差异,淀粉含量为31.05~32.00 mg/g。

综上,‘早红’脐橙叶片的光合速率、蒸腾速率和叶绿素含量受不同砧木选择影响不大,但枳砧对叶片的胞间 CO_2 浓度、气孔导度和可溶性糖含量显著高于红橘砧和枳+红橘砧。

3 讨论

不同砧木可以影响接穗的营养生长和生殖生长^[13-14],本研究以‘早红’脐橙为研究对象,分析枳、红橘2种砧木,3种组合方式对树体生长发育和果实品质的影响。结果发现红橘砧表现出较高的树体高度、冠幅和树体粗度,枳+红橘砧次之,枳砧最低。前人在研究不同砧木对伦晚脐橙影响时也发现相同结果^[15]。但值得注意的是,2022年由于湖北地区干旱,不同砧木条件下均出现落果现象,导致坐果量降低,其中红橘砧最严重,红橘砧在2021年平均坐果量为200个,2022年为81个,同比降低59.5%,但由于红橘砧的树体坐果基数高于其他组合,当年坐果量仍最高。枳砧的坐果量在干旱条件下未受明显影响,表明枳砧具有较好的抗旱性,但2022年枳砧的果实大小显著低于其他组合。本试验中,成年红橘砧树体高大,树势较强,当年新发梢更长,生长旺盛,有良好的结果母枝,进而拥有可观的坐果量提升果园效益。新园区利用红橘砧作砧木种植‘早红’脐橙容易成园,从而减少前期建设成本。此外,秭归县作为柑橘的主产区之一,柑橘种植密度大,而裂皮病是柑橘产区常见的可引发树势衰弱的病症,主要通过嫁接等方式传播,枳及其杂种作砧木是裂皮病的主要传播对象^[16],而红橘砧对裂皮病抵抗力较强,适宜在秭归产区使用^[9]。

有研究发现矮化砧由于生长量小,从而有更多的碳水化合物富余,抑制光合作用使树体矮化^[15],本试验中枳砧叶片含有较高的可溶性糖含量,而枳砧作为我国常用的矮化砧木,其果实通常也含有更高的TSS^[17-18],这与本试验研究结果一致。推测枳作为矮化砧有更高的碳水化合物富余,在果实发育时可以转运到果实内部提高果实糖分。而红橘砧在果实糖分积累上比枳砧差,为弥补这一不足,可以延长红橘砧的采收时间,提高红橘砧果实内部TSS积累。前人研究发现纽荷尔脐橙嫁接在不同砧木上时,叶片的光合色素含量存在差异,但并不显著^[19]。该结果与本研究一致,不同砧木条件下总叶绿素含量与叶绿素a、b含量无明显差异,但红橘砧的各项指标含量均少于其他2种砧木。

秭归县柑橘产区采用枳+红橘砧2种砧木共同支撑‘早红’脐橙的生长发育,目的为综合红橘砧优秀的树势与枳砧良好的果实品质,但在本研究中枳+红橘砧树势中庸,TSS含量低于其他砧木,并没有达到预期“1+1大于2”的效果。前人研究不同砧木对伦晚脐橙的果实品质时发现,靠接砧木能够显著提高伦晚脐橙的果实品质,这一结果与本研究不同^[15],表明不同接穗品种以及砧木靠接组合得到的效果有所差异,不同砧木靠接效果仍需更完善的评价体系。

本研究中枳砧胞间 CO_2 浓度与气孔导度高于红橘砧与枳+红橘砧,与前人研究结果一致^[20],气孔的开张程度,代表吸收 CO_2 气体的能力强弱,本研究中枳砧的气孔导度较高,进而拥有更高的胞间 CO_2 浓度,但不同的砧穗组合间光合速率没有显著性差异,表明除胞间 CO_2 浓度外,还存在其他影响光合速率的因素减小了差异的产生,如光合作用需要的Mn、Fe等元素,有待进一步研究。

综合以上结果,枳砧在果实可溶性固形物含量方面表现出显著优势,但果实小、产量低,枳+红橘砧树势中庸,在3种砧木组合间果实品质优势不明显,红橘砧在整体生长、产量方面表现出较好的特性。经综合比较,‘早红’脐橙嫁接在红橘砧上有助于增强树势,提高果实产量,适宜在‘早红’脐橙种植区推广使用。

参考文献 References

- [1] 宋文化,谭勇,廖胜才,等.红肉型早熟脐橙品种“早红”选育初报[J].中国南方果树,2009,38(4):11-12.SONG W H, TAN Y, LIAO S C, et al. Preliminary report on the breeding

- of red early navel orange “Zaohong” [J]. South China fruits, 2009, 38(4): 11-12 (in Chinese).
- [2] LANA G, MODICA G, LAS CASAS G, et al. Molecular insights into the effects of rootstocks on maturation of blood oranges [J/OL]. Horticulturae, 2021, 7(11): 468 [2024-02-20]. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7110468>.
- [3] LADO J, GAMBETTA G, ZACARIAS L. Key determinants of citrus fruit quality: metabolites and main changes during maturation [J]. Scientia horticulturae, 2018, 233: 238-248.
- [4] 刘梦梦. ‘砂糖橘’嫁接植株生长特性及果实品质研究 [D]. 广州: 华南农业大学, 2018. LIU M M. Study on growth characteristics and fruit quality of grafted plants of ‘sugar orange’ [D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2018 (in Chinese with English abstract).
- [5] 王敏, 杨蕾, 洪林, 等. 砧木和覆膜对爱媛28果实营养品质的影响 [J]. 南方农业学报, 2022, 53(10): 2971-2979. WANG M, YANG L, HONG L, et al. Effects of rootstock and film mulching on nutritional quality of Ehime 28 fruits [J]. Journal of southern agriculture, 2022, 53(10): 2971-2979 (in Chinese with English abstract).
- [6] 王蓉, 张露瑶, 谭丰全, 等. 5种砧木对“华农本地早”桔和“国庆1号”温州蜜柑营养生长及果实品质的影响 [J]. 中国南方果树, 2019, 48(6): 12-16. WANG R, ZHANG L Y, TAN F Q, et al. Effects of five rootstocks on plant growth and fruit quality of ‘Guoqing No.1’ satsuma and ‘Huanong bendizao’ tangerine [J]. South China fruits, 2019, 48(6): 12-16 (in Chinese with English abstract).
- [7] VIDALAKIS G, PAGLIACCIA D, BASH J A, et al. *Citrus dwarfing viroid*: effects on tree size and scion performance specific to *Poncirus trifoliata* rootstock for high-density planting [J]. Annals of applied biology, 2011, 158(2): 204-217.
- [8] 张社南, 贺申魁, 梅正敏, 等. 软枝香橙等砧木对金柑生长结果与果实品质的影响 [J]. 中国南方果树, 2023, 52(4): 6-10. ZHANG S N, HE S K, MEI Z M, et al. Effect of soft branch *Citrus junos* rootstock on growth and fruit quality of kumquat [J]. South China fruits, 2023, 52(4): 6-10 (in Chinese with English abstract).
- [9] 周开兵, 夏仁学. 中国柑橘砧木选择研究进展与展望 [J]. 中国农学通报, 2005, 21(1): 213-218. ZHOU K B, XIA R X. The proceedings and tendencies in the study on the choice of rootstocks for *Citrus* in China [J]. Chinese agricultural science bulletin, 2005, 21(1): 213-218 (in Chinese with English abstract).
- [10] 欧毅, 毛启才, 曹照春, 等. 不同砧木锦橙叶片过氧化物酶活性与植株生长结果的关系 [J]. 云南农业大学学报, 1994, 9(1): 23-27. OU Y, MAO Q C, CAO Z C, et al. Studies on the relationship between peroxidase activity in leaves of “Jinchen” Orange grafted on different rootstocks and its growth and fruit-setting [J]. Journal of Yunnan Agricultural University, 1994, 9(1): 23-27 (in Chinese).
- [11] DU W, HUSSAIN S B, JIN L F, et al. Characteristics of boron distribution in the ‘Newhall’ navel orange plant with two root systems [J]. Plant physiology and biochemistry, 2021, 167: 42-48.
- [12] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2000. LI H S. Principles and techniques of plant physiological biochemical experiment [M]. Beijing: Higher Education Press, 2000 (in Chinese).
- [13] 郭丽英, 吉前华, 郭雁君, 等. 不同砧木对红江橙植株生长、果实品质及光合特性的影响 [J]. 山西农业科学, 2023, 51(7): 735-741. GUO L Y, JI Q H, GUO Y J, et al. Effects of different rootstocks on plant growth, fruit quality, and photosynthetic characteristics of Hongjiang orange [J]. Journal of Shanxi agricultural sciences, 2023, 51(7): 735-741 (in Chinese with English abstract).
- [14] 徐志龙, 苏士莹, 伊华林. 不同砧木对金柑树体和果实品质的影响 [J]. 华中农业大学学报, 2014, 33(5): 32-35. XU Z L, SU S Y, YI H L. Effects of different rootstocks on tree growth and fruit quality of kumquat [J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2014, 33(5): 32-35 (in Chinese with English abstract).
- [15] 宋放, 覃伟, 匡蓓, 等. 不同砧木靠接组合对伦晚脐橙树体营养、生长发育及果实品质的影响 [J]. 华中农业大学学报, 2022, 41(5): 116-121. SONG F, QIN W, KUANG B, et al. Effects of approach-grafting rootstock combinations on nutrition, growth and development, and fruit quality of Lane Late navel orange [J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2022, 41(5): 116-121 (in Chinese with English abstract).
- [16] 胡位荣, 万蜀渊. 柑桔砧木愈伤组织离体接种对于裂皮病的抗性研究 [J]. 嘉应大学学报, 1995, 13(1): 118-124. HU W R, WAN S Y. *In vitro* inoculation on callus of citrus rootstocks as a measure for testing resistance to exocortis disease [J]. Journal of Jiaying University, 1995, 13(1): 118-124 (in Chinese with English abstract).
- [17] 李有芳, 张超博, 陈焱, 等. 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. LI Y F, ZHANG C B, CHEN Y, et al. Comparison of the growth and fruit bearing of Jinqiu shatangju tangelo on different rootstocks [J]. South China fruits, 2019, 48(4): 4-9 (in Chinese with English abstract).
- [18] 刘振, 洪励伟, 李娟, 等. 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, et al. Effects of different rootstocks on fruit quality of ‘Shatangju’ mandarin [J]. Guangdong agricultural sciences, 2016, 43(8): 39-44 (in Chinese with English abstract).
- [19] 杨惠栋, 彭震宇, 彭良志, 等. 不同砧木对纽荷尔脐橙嫁接苗生长和生理指标的影响 [J]. 江西农业大学学报, 2023, 45(3): 575-583. YANG H D, PENG Z Y, PENG L Z, et al. Effect of growth and physiological indexes of navel orange budlings grafted on seven *Citrus rootstock* cultivars [J]. Acta agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2023, 45(3): 575-583

(in Chinese with English abstract).

- [20] 何满. 不同砧木对“爱媛28号”橘橙幼树生长发育的影响 [D]. 重庆: 西南大学, 2023. HE M. Effects of different root-

stocks on the growth and development of “Ehime No.28” orange young tree [D]. Chongqing: Southwest University, 2023 (in Chinese with English abstract).

Effects of two rootstocks on growth and fruit quality of ‘Zaohong’ navel oranges

LU Yan¹, WEI Ranran¹, YE Junli¹, CHAI Lijun¹, DENG Xiuxin¹, LIAO Shengcai², XIE Zongzhou¹

1. National Key Laboratory for Germplasm Innovation & Utilization of Horticultural Crops/
College of Horticulture & Forestry, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;
2. Zigui County Fruit Tea Development Center, Zigui 443699, China

Abstract ‘Zaohong’ navel orange [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck + *C. unshiu* Marc.] is a grafted chimera of ‘Robertson’ navel orange [*C. sinensis* (L.) Osbeck] and ‘Guoqing 1’ satsuma mandarin [*C. unshiu* Marc.]. The ‘Zaohong’ navel orange has the peels of a navel orange and the flesh of a tangerine. It has a good flavor that has made it a favorite in recent years. The effects of different rootstocks on the growth of tree and fruit quality of ‘Zaohong’ navel orange were evaluated to provide a scientific basis for growers of ‘Zaohong’ navel orange species to select the optimal combinations of rootstock. The ‘Zaohong’ navel orange was used to study the effects of three different combinations of rootstock including *C. reticulata* Blanco cv. Red tangerine (Rt), *Poncirus trifoliata* Raf. (Pt), and originally *Poncirus trifoliata* and then red tangerine (Pt+Rt) on the growth and the fruit quality of the oranges. The results showed that there were differences in photosynthesis and its products, the growth of tree, fruit yield and quality of ‘Zaohong’ navel oranges grafted on different rootstocks. The content of soluble sugar in leaves, the concentration of intercellular CO₂ and the stomatal conductivity were in the decreasing order of Pt>Pt+Rt>Rt. The growth of tree and fruit yield, plant height, crown diameter, shoot length, leaf size and fruit yield were in the decreasing order of Rt>Pt+Rt>Rt. The fruit quality including the content of soluble solids and total acid in Pt was higher than that in the other two combinations. There was no significant difference in the solids-acid ratio of the different combinations of rootstocks. The fruit weight of Rt and Pt+Rt was larger than that of Pt. The fruit size of Pt was unstable among different years. It is indicated that Rt has stronger growth of tree, higher yield of fruit and weight of single fruit, with acid fixation ratio not inferior to that of Pt. Rt has better economic benefits and is suitable for promotion and use in the Three Gorges Reservoir area.

Keywords *Citrus*; ‘Zaohong’ navel oranges; evaluation of rootstocks; fruit quality; differences in growth of tree

(责任编辑: 葛晓霞)