

石莹,曾译可,陈思怡,等.机械修剪疏果提升椪柑果实品质的作用及机制[J].华中农业大学学报,2022,41(5):68-76.
DOI:10.13300/j.cnki.hnlkxb.2022.05.009

主持人语:柑橘是世界也是我国第一大水果,对发展我国农业农村经济和实现乡村振兴具有重要的意义。我国柑橘产业在过去二十年取得了辉煌的成绩,无论是在体量上还是质量上都有了较大提升,据统计,目前我国柑橘产量占全球的28%。随着城镇化的快速发展,我国柑橘产业也面临着严峻的挑战,如农村劳动力不足导致果园栽培管理不到位,品质有所下滑;过量施用化肥、除草剂等造成土壤板结、活力下降。这对我们科技工作者提出了新的产业问题和要求。鉴于此,本期专栏以“柑橘优质栽培基础理论与技术创新”为题,面向国内柑橘领域科研工作者征稿,共采纳研究论文9篇,涉及橘园轻简化栽培管理模式、机械修剪、土壤生物途径调节、养分供应平衡等内容,以期对柑橘优质轻简化栽培提供理论和技术支撑,推动新时期我国柑橘产业转型升级。

机械修剪疏果提升椪柑果实品质的作用及机制

石莹^{1,4},曾译可¹,陈思怡²,李国敬²,黄先彪²,
李善军³,李春龙¹,谢宗周¹,刘继红¹

1. 华中农业大学园艺植物生物学教育部重点实验室,武汉 430070; 2. 湖北省当阳市特产技术推广中心,当阳 444100; 3. 华中农业大学工学院,武汉 430070; 4. 湖南省邵阳市农业科学院,邵阳 422002

摘要 为提升椪柑果实品质,以‘鄂柑1号’椪柑为材料,探究机械修剪疏果对果实品质的影响并基于糖酸代谢相关基因表达解析其作用机制。结果显示:机械修剪疏果显著加快了疏果进程,极大地节约了疏果用工;机械修剪疏果显著增大了果实横径、纵径、单果质量和果皮硬度,显著提高成熟期大果比例至57%;机械修剪疏果还加快了果实转色,显著提高果实可溶性固形物含量至11.57%,降低了可滴定酸含量;通过气相色谱法发现机械修剪疏果显著提高果实的蔗糖含量至52.10 mg/g;实时荧光定量PCR分析发现机械修剪疏果的果实中蔗糖合成相关基因和柠檬酸降解相关基因表达量显著上调。研究结果表明,机械修剪可以作为一种省力化的疏果方式,通过促进蔗糖合成基因和柠檬酸降解基因表达来提升椪柑果实的品质。

关键词 椪柑;机械修剪;疏果;果实品质;糖酸代谢

中图分类号 S666.105⁺.1 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2022)05-0068-09

柑橘是我国南方最重要的经济作物,柑橘果实不仅可以鲜食,还是重要的药用和食品工业原料,在国际农产品贸易中具有不可忽视的地位。随着消费水平的提高,生产优质大果成为栽培过程中的重要目标,而常规管理的果园一般花量大、树体养分消耗多,通过人为调节进行高效的花果管理才能连年优质稳产。美国早在20世纪70年代开始研究柑橘的

化学疏花疏果^[1],我国生产实践中主要采用人工疏果。张长梅^[2]认为中国柑橘产业独特的竞争优势就是生产成本低,但随着农村劳动力外流和老龄化加剧,柑橘生产普遍出现用工成本上升、果园管理不到位等现象^[3],人工疏果不再适应当前劳动力短缺的现状^[4]。我国农业生产逐渐开始进入以机械生产为主的时代表^[5],王刘坤等^[6]建议我国柑橘产业要结合当地

收稿日期:2022-02-22

基金项目:国家重点研发计划项目(2019YFD1001402);湖北省重点研发计划项目(2020BBA036;2022BBA0073);湖北省农业创新行动计划项目

石莹,E-mail:2269878819@qq.com

通信作者:刘继红,E-mail:liujihong@mail.hzau.edu.cn

的经济发展情况加大果园机械化技术的研发和推广力度,率先在劳动密集环节实现突破,提高生产效率。柑橘机械修剪在国外应用较多,利用整株几何修剪机、单枝修剪机^[7]对树体枝梢进行整理,从而调控树体高度、促进内膛进光。

湖北省是我国主要的柑橘优势产区之一,椪柑因其易剥皮、果肉脆等特点成为重要发展的宽皮橘类型。但受经济发展状况、产业布局合理性以及地理条件的限制,我国柑橘面积和产量连续增加的同时生产效率没有得到相应提升^[6]。椪柑产业发展遇到的瓶颈问题是坐果量大导致果实小和品质参差不齐,因此,增加大果比例和提升果实品质是促进椪柑产业发展的重要手段。然而,利用机械修剪进行柑橘疏果尚无报道,机械修剪能否实现疏果和提质、对产量和果实品质的影响有待验证,修剪方案也有待进一步优化和提升。鉴于此,本研究以‘鄂柑1号’椪柑植株为试材,利用华中农业大学工学院研发的背负式修剪机进行机械修剪疏果,探究机械修剪疏果处理后果实品质的变化,并基于糖酸代谢基因表达分析初步揭示其作用机制。

1 材料与方法

1.1 植物材料和处理

供试植物为湖北省当阳市半月镇龙台村凤凰山18年生‘鄂柑1号’椪柑(砧木为枳(*Poncirus trifoliata*)),树势中庸,树冠高度2.5 m,株距2.5 m,行距4.5 m,果园进行常规肥水管理和病虫害防治。

椪柑第2次生理落果结束后,2020年7月19日(开花后88 d)进行机械修剪疏果。试验设2个处理(每个处理各选3行树):处理1(机械修剪疏果,简称为MT)以行间方向与树冠滴水线的切点为起点,使用背负式修剪机将该切点往树干方向50 cm内的所有枝条与果实一同疏除;处理2不疏果,作为对照(CK)。修剪后,每个处理随机选3棵树,每棵树随机选择15个果实进行挂牌标记,每15 d测量1次果实横径和纵径;10月7日开始每15 d采样1次,在每棵植株同一高度上的4个方向各随机采1个果实,采样当天带回实验室测定生理指标,并分别取下囊瓣和果皮用液氮速冻后置于-80℃超低温冰箱备用。12月25日果实采收后对2个处理的果实分别称质量、计算产量并统计采果数,所有时期取样完成后分析可溶性糖和有机酸含量,并分析糖酸代谢相关基因的表达水平。

1.2 测定项目与方法

1)果实大小及产量测定、外观品质分析。使用电子游标卡尺(精确到0.01 mm)测量果实横纵径;使用电子天平(精确到0.01 g)测定单果质量;使用电子测厚规测量果皮厚度;使用色彩色差仪(*cm-5,美能达,Japan)测量果面色泽参数 L^* 、 a^* 和 b^* ;使用质构仪(*TA. XT. Plus, Stable micro systems, UK)测定硬度;使用机械分选线分级,对2个处理的所有果实称质量、计算产量,并统计采果数。

2)可溶性固形物、可滴定酸、可溶性糖和有机酸含量分析。可溶性固形物使用PAL-1手持折光测糖仪(Atago, Japan)测定;可滴定酸使用GMK-835F水果酸度计(G-WON, South Korea)测定。采用气相色谱法^[8]测定可溶性糖和有机酸含量,使用安捷伦GC-7890B气相色谱仪,HP-5色谱柱(5%-Phenyl-methyl polysiloxane. 30 m×320 μm×0.25 μm),检测器温度300℃,载气(N₂)流量45 mL/min,燃气(H₂)流量40 mL/min,空气流量450 mL/min。

3)总RNA提取及荧光定量PCR。用PLANT pure通用植物总RNA快速提取试剂盒(Aidlab公司)提取椪柑果肉总RNA。用HiScript III RT SuperMix for qPCR(+gDNA wiper)去除基因组DNA后合成cDNA,实时荧光定量PCR采用ChamQ Universal SYBR qPCR Master Mix(ABI, USA)检测基因表达量,方法参照说明书。采用QuantStudio 7 Flex system(Applied Biosystems, 美国)荧光定量分析仪进行反应,基因的相对表达量采用 $2^{-\Delta\Delta CT}$ 方法^[9]计算。本研究用到的引物信息见表1。

1.3 数据处理

采用Microsoft Excel 2016和SPSS进行数据分析,采用LSD进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 机械修剪疏果对果实外观品质的影响

花后88 d(7月19日)进行机械修剪疏果,疏果当天CK的果实横径、果实纵径与MT处理组没有显著差异,处理15 d后MT显著高于CK(图1A、B),机械修剪疏果显著增大了果实的横径和纵径。机械修剪疏果80 d时(花后168 d)开始采样测定单果质量和果实品质,CK的单果质量平均值为93.62 g,而MT的单果质量平均值达到了109.34 g,极显著高于CK,花后247 d果实采收时MT的平均单果质量相对CK提高了25.04%(图1D)。果实硬度在成熟过程中逐渐降低,MT的硬度高于CK且自花后168 d开始差异

表1 基因表达分析用的引物及序列

Table 1 List of primers used for expression analyses of the genes in this study

基因 Gene	序列 Sequence(5'-3')		序列 ID 或文献 Sequence ID or reference
	正向引物 Forward primer	反向引物 Reverse primer	
SS1	ACCAGTAGTTCATGCCACCG	GCGAAAAGGACCACCTGTA	orange1.1t02742.2
SS2	GTTGAAAGGCACTGACACGC	CCAATGGAGGGGTTTGTCT	Cs6g21370.1
SS3	CTTCAACGGGTTCTCTGCT	TCCCACAGGTGTTTTCGGT	Cs2g03070.1
SS4	AGCGTGTGGTAATGCTGGAA	TGCCTTAGCCAGCAATCCTT	Cs2g03790.1
SPS1	TCTCCACCGTTCCTGGGTTA	ACGACGTTTCGCCATTCTCT	Cs4g05380.1
SPS2	TTCATGGCTGAGCACTGT	CGTTTTTGTGCGCTTCCAGG	Cs4g05380.1
SPS3	CGCATTGGCATCTTACCCG	CCTGTTCCCGCTCCAATCT	orange1.1t03668.1
SPS4	ATATGTGCTGGCGCATTTGG	CGGCATCATTACGACCTTGC	Cs5g19060.1
Aco1	TGAGAGATTTAGTATTGATCT	AACTCTCACATTTTACAACCG	[10]
Aco2	GGCAATGATGAAGTGATGGCT	GTTGGAACATGGACCGTCTTT	[10]
Aco3	TCCTCCATTAGTTGTTGCT	CATGTCAGGTAAGACGCTAG	[10]
ACL α 1	GATACTGTTGGAGACTTGGG	GCTCTCTTACGACCATCAGG	[11]
ACL α 2	TACAGTGGAGCACCCAACGA	CCTTCAGGGCTTGGATTATG	[11]
ACL β	GAGGAGATAACAGACAAAA	AACAAAGAGCCCATTCAGAT	[11]
NADP-IDH1	GAAAATTGGGGATTGGGATT	CAACAGAGGTGCAGCTCAAA	[12]
NADP-IDH2	CAGCGGACATGTGAACAATC	CCGTCCATTTC AACGATAGG	[12]
NADP-IDH3	TACCGGGTTCATCAGAAAGG	AGGCTGCTTCCAGTTTCTCA	[12]
Actin	CCGACCGTATGAGCAAGGAAA	TTCTGTGGACAATGGATGGA	

极显著(图1E),机械修剪疏果显著提高了果实硬度。

在果皮着色方面,机械修剪疏果对果实的果皮色泽参数 L^* 值没有显著影响(图2A);花后206 d时MT的平均果皮色泽参数 a^* 值超过了CK且在220 d时表现出显著差异,机械修剪疏果加快了果实的转色过程(图2B);果皮色泽参数 b^* 值(黄蓝值)的变化情况与 L^* 相似,二者之间没有显著差异(图2C);而在色泽饱和度方面,MT的CCI(citrus color index)显著低于CK直到花后206 d,机械修剪疏果延缓了果实CCI的增加但不影响最后的着色(图2D)。

2.2 机械修剪疏果对果实内在品质的影响

椪柑果实可溶性固形物(total soluble solids, TSS)持续积累,花后191 d MT的TSS含量快速增加,花后206 d开始显著高于CK,花后220 d达到了11.57%,极显著高于CK的10.33%,二者之间保持显著差异直至采收(图3A)。可滴定酸(titratable acids, TA)持续下降,CK从2.19%降至0.6%,MT从2.01%降至0.56%且各时期的平均值低于CK,花后206 d差异显著(图3B)。机械修剪疏果显著提高了椪柑果实的可溶性固形物含量,也一定程度上降低了可滴定酸含量。

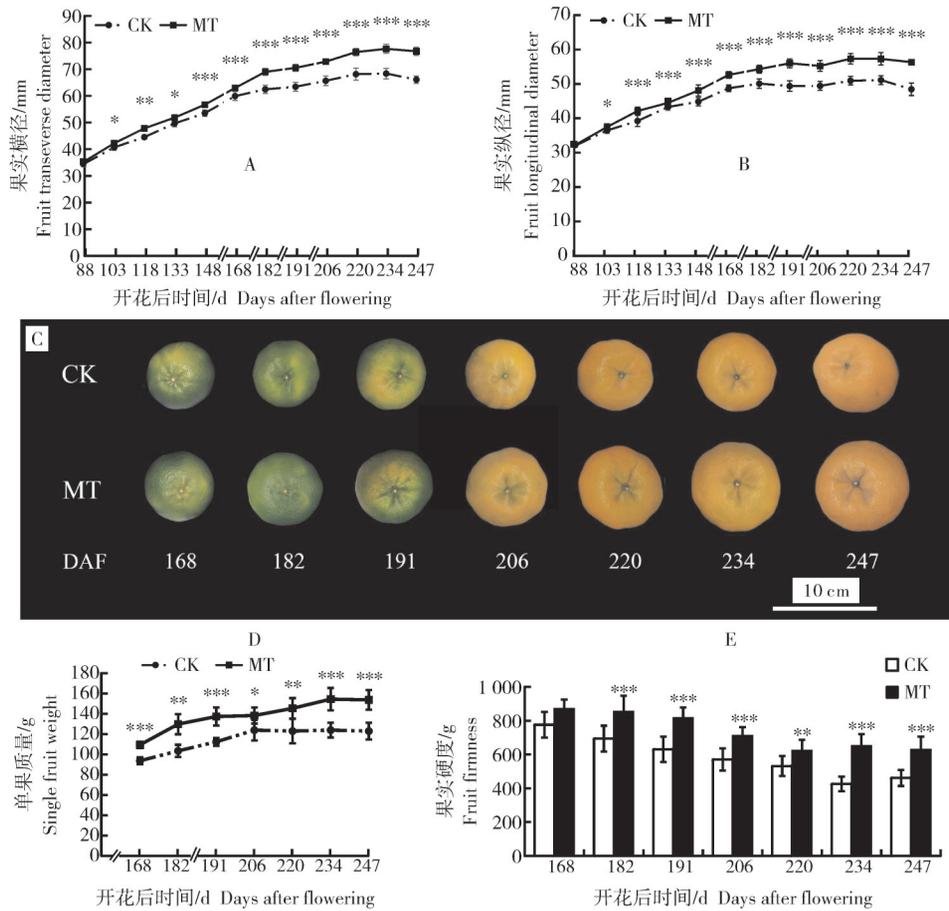
花后206 d时MT的蔗糖含量达到了50.63 mg/g,

显著高于CK的39.62 mg/g,机械修剪疏果显著提高了椪柑果实的蔗糖含量(图4A);果糖的积累趋势与葡萄糖相似,没有受到机械修剪疏果的影响(图4B、C);柠檬酸和奎宁酸的含量持续降低,机械修剪疏果显著加快了柠檬酸和奎宁酸降解的速度(图4D、F);花后168 d至花后247 d苹果酸的含量稍有增加,花后206 d开始MT的苹果酸含量显著高于CK(图4E),机械修剪疏果提高了苹果酸含量。

12月25日(花后247 d)采收果实,统计分析果实大小,发现机械修剪疏果处理组(MT)没有果径<55 mm的果实;55~60 mm占比2.81%,为CK的6.59%;60~65 mm占比12.39%,单株68个,为CK的20.88%;65~70 mm占比28.49%,单株156个,为CK的65.50%;70~75 mm大果占比34.14%,单株187个,为CK的1.82倍;>75 mm果实占比22.17%,单株122个,为CK的2.87倍。测定12月25日采收果实的果皮厚度发现,MT的平均果皮厚度为3.54 mm,与CK的平均果皮厚度3.30 mm没有显著差异,机械修剪疏果在不影响果皮厚度的情况下显著提升了大果比例(表2)。

2.3 机械修剪疏果对糖酸代谢相关基因表达水平的影响

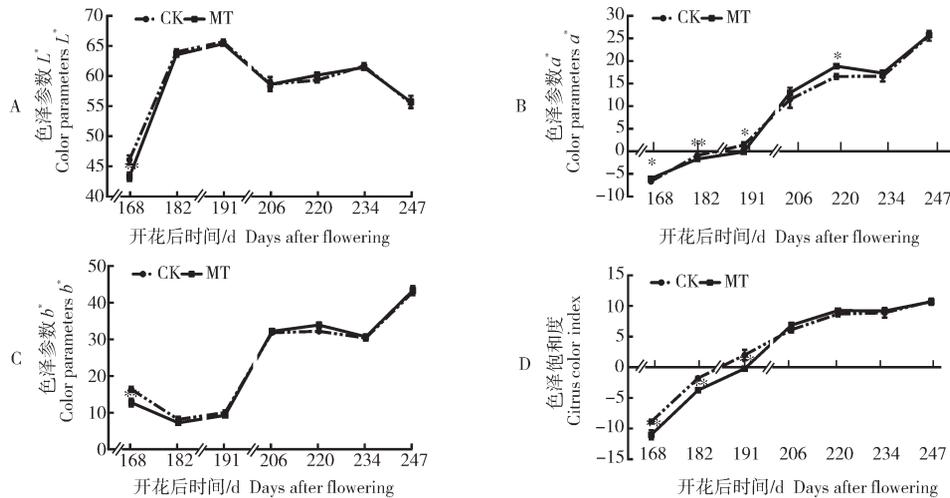
果实品质分析结果表明机械修剪疏果提高了椪柑果实的蔗糖含量和可溶性固形物含量,降低了柠



MT 表示机械修剪疏果,CK 表示对照,不疏果。MT 和 CK 间的差异显著性用“*”($P<0.05$)、“**”($P<0.01$)和“***”($P<0.001$)表示,下同。A:果实横径;B:果实纵径;C:2个处理不同时期果实大小;D:单果质量;E:果实硬度。MT stands for mechanical pruning-mediated fruit thinning,CK stands for control group. The difference between mechanical pruning-mediated fruit thinning and CK was made by “*”($P<0.05$)、“**”($P<0.05$) and “***” ($P<0.001$), The same as below. A: Transverse diameter of fruit; B: Longitudinal diameter of fruit; C: The Ponkan fruits sampled at different developmental stages; D: Single fruit weight; E: Fruit firmness.

图 1 机械修剪疏果对椪柑果实外观品质的影响

Fig.1 Effects of mechanical pruning-mediated fruit thinning on external quality of Ponkan fruits



A~D 分别为色泽参数 L^* (A)、 a^* (B)、 b^* (C) 和果实色泽指数 (D)。A-D: Color parameters L^* (A), a^* (B), b^* (C) and citrus color index (D).

图 2 机械修剪疏果对椪柑果面色泽的影响

Fig.2 Effect of mechanical pruning-mediated fruit thinning on the color parameters of Ponkan fruit

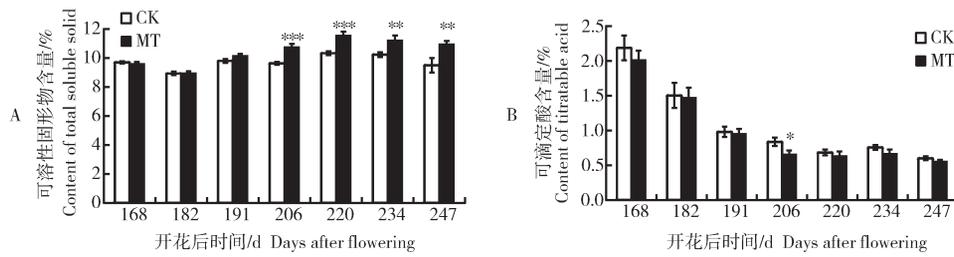
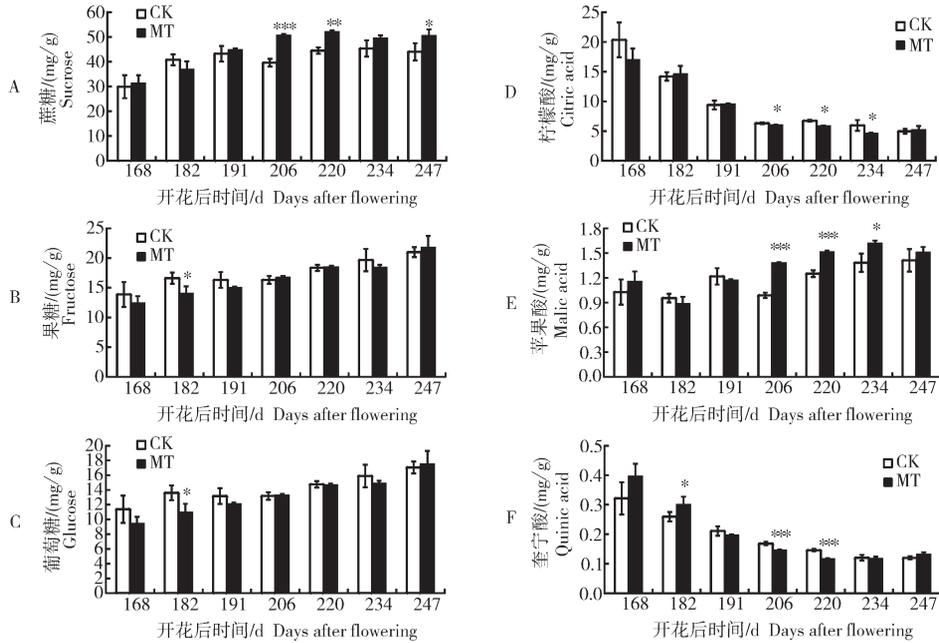


图3 机械修剪疏果对椪柑果实可溶性固形物(A)和可滴定酸(B)的影响

Fig.3 Effects of mechanical pruning-mediated fruit thinning on TSS (A) and TA (B)



A:蔗糖; B:果糖; C:葡萄糖; D:柠檬酸; E:苹果酸; F:奎宁酸。A:Sucrose; B:Fructose; C:Glucose; D:Citric acid; E:Malic acid; F:Quinic acid.

图4 机械修剪疏果对椪柑果实可溶性糖和有机酸含量的影响

Fig.4 Effects of mechanical pruning-mediated fruit thinning on soluble sugars and organic acids of Ponkan fruit

表2 机械修剪疏果对椪柑果实大小及产量的影响

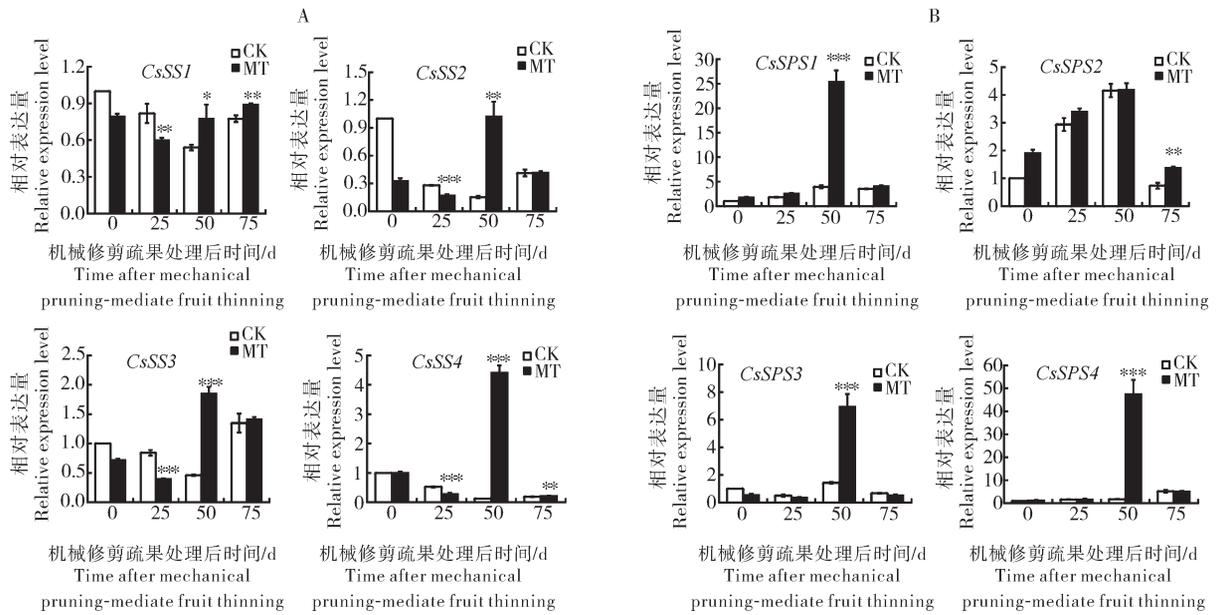
Table 2 The effect of mechanical pruning-mediated fruit thinning on the size and yield of Ponkan fruit

处理 Treatment	果实横径分布/% Fruit transverse diameter distribution						横径均值/mm Mean diameter	单果质量/g Single fruit weight	单株产量/kg Yield per plant	果皮厚度/mm Peel thickness
	<55 mm	55~60 mm	61~65 mm	66~70 mm	71~75 mm	>75 mm				
CK	4.53	23.56	33	24.18	10.44	4.29	66.10±1.38	122.88±8.27	102.53	3.30±0.19
MT	0	2.81	12.39	28.49	34.14	22.17	76.74±1.54**	153.65±9.70**	72.23	3.53±0.11

柠檬酸含量和可滴定酸含量。因此,我们首先验证MT和CK果实中蔗糖代谢相关基因的表达水平。机械修剪疏果处理25 d时CsSSs在CK中的表达水平显著高于MT,但此后机械修剪疏果果实中CsSSs的相对表达量快速升高,且在处理50 d后显著高于CK,其中CsSS4增加程度最高,高出同一时期CK果实中表达水平的35倍(图5 A);CsSPSs的表达水平变化情况与CsSSs相似(图5 B)。蔗糖合成相关基因的表达情况与MT果实中蔗糖含量显著高于CK果实的

结果相符,且MT和CK果实之间蔗糖含量表现出显著差异的时期为花后206 d,而MT果实中蔗糖合成相关基因显著上调的时间为花后191 d至花后220 d期间,二者之间的变化时间也一致,表明机械修剪疏果可能通过上调CsSSs和CsSPSs,尤其是CsSS4、CsSPS1、CsSPS3和CsSPS4的表达提高了椪柑果实的蔗糖含量。

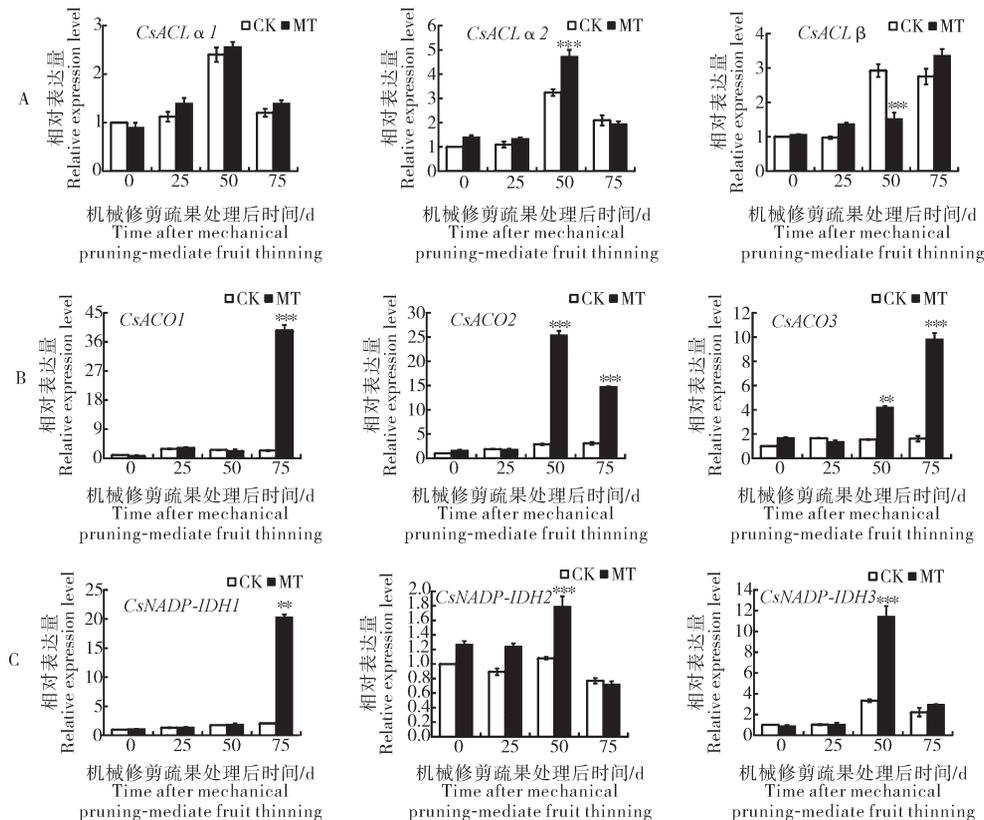
同样,我们验证了MT和CK果实中柠檬酸代谢相关基因的表达水平。柠檬酸降解相关基因中,机



A: *CsSSs* (蔗糖合成酶基因) 的表达分析; B: *CsSPSs* (蔗糖磷酸合成酶基因) 的表达分析。A: Expression levels of *CsSSs* (sucrose synthase gene); B: Expression levels of *CsSPSs* (sucrose phosphate synthase gene).

图5 机械修剪疏果对柑果实蔗糖代谢相关基因表达的影响

Fig.5 Effects of mechanical pruning-mediated fruit thinning on expression of genes associated with sucrose metabolism



A为 *CsACLs* (ATP-柠檬酸裂解酶基因) 的表达分析; B为 *CsACOs* (顺乌头酸酶基因) 的表达分析; C为 *CsNADP-IDHs* (异柠檬酸脱氢酶基因) 的表达分析。A. Expression levels of *CsACLs* (ATP-citrate lyase gene); B. Expression levels of *CsACOs* (Aconitase gene); C. Expression levels of *CsNADP-IDHs* (Isocitrate dehydrogenase gene).

图6 机械修剪疏果对柑果实柠檬酸代谢相关基因表达水平的影响

Fig.6 Effects of mechanical pruning-mediated fruit thinning on expression levels of citric acid metabolism related genes

械修剪疏果处理 50 d 后 *CsACL α 2* 的表达水平在 MT 中显著升高而 *CsACL β* 的表达水平显著降低(图 6 A);处理 75 d 后, *CsACO1* 在 MT 中的相对表达量极显著高于 CK, *CsACO2* 和 *CsACO3* 的表达水平在机械修剪疏果处理 50 d 后极显著高于 CK(图 6 B);机械修剪疏果 50 d 后 *CsNADP-IDH2/3* 在 MT 中的表达水平快速升高显著高于 CK, *CsNADP-IDH1* 处理 75 d 后在 MT 果实中也显著高于 CK(图 6 C)。机械修剪显著上调了椪柑果实中柠檬酸降解相关基因的表达水平,上调时间大多为机械修剪疏果后 50 d 或者 75 d,这与 MT 果实中柠檬酸含量显著低于 CK 的结果相符,进一步证明了机械修剪疏果可能通过上调柠檬酸降解相关基因 *CsACOs* 和 *CsNADP-IDHs*,尤其是 *CsACO1*、*CsACO2* 和 *CsACO3* 以及 *CsNADP-IDH1* 和 *CsNADP-IDH3* 的表达来降低椪柑果实中柠檬酸的含量。

3 讨论

本研究中机械修剪疏果处理显著提高了椪柑大果的分布频率和平均横径、纵径以及单果质量。可见机械疏花疏果、化学疏花疏果^[13]、人工疏果^[14]均能减小无效的养分消耗,降低果实之间的营养竞争,从而提高大果比例、提升果实品质,并改善树体的营养状况。前人研究发现,果实增大的同时果皮一般也相应增厚^[15],而本研究中 MT 果实的果皮厚度相较 CK 没有显著差异,表现出优良的品质。

此外,机械修剪疏果还显著提高了果皮硬度,在蓝莓^[16]、苹果^[17]、温室油桃^[18]中也得到了同样的结果,果实硬度对运输距离、货架期和经济效益有非常大的影响。通常认为果实组织中维持较高的钙水平可以保持果实的硬度,我们推测机械修剪疏果可能通过减小养分竞争来维持较高的钙水平,从而提高果实硬度、提升果实在贮藏和销售过程中的表现。在果皮色泽方面,机械修剪疏果加快了椪柑果实的着色,与邓永辉等^[14]在云南早熟柑橘上的研究结论一致,我们推测果面着色的加快与机械修剪疏果减少了养分竞争、改善了树体光照、增加了果实的光合作用有关。此外,田梦瑶等^[19]研究发现外源蔗糖处理可以通过维持相对较高的花色苷合成代谢相关酶的活性来促进桃果皮花色苷的合成,因此我们推测果皮着色的加快还可能受到蔗糖含量增加的影响。

本研究中机械修剪疏果提升了椪柑果实的内在

品质,显著提高了 TSS 含量、促进了蔗糖的积累。果实糖分运输和积累是一项复杂的过程。柑橘果实进入成熟期后糖分迅速积累^[20],机械修剪疏果通过减小养分竞争、改善树体光照增加了叶片光合产物向果实中的分配量;机械修剪疏果能够增强果实本身的光合作用,减少果皮对光合产物的竞争,直接或间接促进了汁囊中糖的积累;陈俊伟^[21]提出蔗糖的运输具有携带信号的功能,植物通过对不同糖水平的响应来调节相关基因表达,从而将各种外部的环境因子(光、其他养分、生物及非生物胁迫)和内在的发育进程整合在一起,我们发现 MT 果实中蔗糖合成相关基因 *CsSS2*、*CsSS3* 和 *CsSS4* 以及 *CsSPS1*、*CsSPS3* 和 *CsSPS4* 的表达水平显著上调。另外,糖对源库关系也起调控作用,蔗糖含量的增加意味着更高的糖分积累基础。

柑橘果实中的柠檬酸主要在汁胞细胞的线粒体中直接合成^[22],其含量受温度、水分、营养元素、光照等环境因素或栽培措施的影响^[23],如增强光照可促进柠檬酸的降解、水分胁迫可显著提高果实柠檬酸含量^[24]。我们推测机械修剪疏果改善了光照条件,从而上调柠檬酸降解相关基因 *CsACLs*、*CsACOs* 和 *CsNADP-IDHs* 的表达水平,以此加快柠檬酸的降解,但果实感应环境信号、转录因子参与代谢途径调控的具体机制还有待进一步研究。

本研究中,机械修剪疏果可以显著提高椪柑的果实品质,但更重要的是在疏果效率和经济效益方面的提升。传统的手工疏果效率约为 2 棵/h,而机械修剪疏果处理效率可达 16 棵/h,本研究供试果园 700 株椪柑若全部采用手工疏果需要 350 h,而机械修剪疏果只需 43.75 h,大大提升了疏果效率、节省了人工。总体来看,机械修剪疏果能够在省时省力的前提下显著提升椪柑的果实品质、改善树体营养状况,增加果农的收益,可以在产区进行进一步的试验和推广。

参考文献 References

- [1] GUARDIOLA J L, GARCIA-LUIS A. Increasing fruit size in citrus: thinning and stimulation of fruit growth [J]. *Plant growth regulation*, 2000, 31(1): 121-132.
- [2] 张长梅. 关于入世后我国水果出口竞争力的思考 [J]. *国际贸易问题*, 2002(6): 7-11. ZHANG C M. How competitive are China's fruit exports after WTO? [J]. *International trade journal*, 2002

- (6):7-11 (in Chinese).
- [3] 张美良,廖云勇,刘永忠,等.吉安地区柑橘轻简化建园技术要点[J].安徽农学通报,2020,26(24):80-81.ZHANG M L, LIAO Y Y, LIU Y Z, et al. Key points of technology of simplify the construction of citrus orchard in Ji'an area [J]. Anhui agricultural science bulletin, 2020, 26(24):80-81 (in Chinese).
- [4] 邓菲,高志强.柑橘种植类家庭农场运行模式——以浙江台州为例[J].农业工程,2015,5(3):150-152,155.DENG F, GAO Z Q. Running mode of family farms for citrus planting: take Taizhou City, Zhejiang Province for example [J]. Agricultural engineering, 2015, 5(3):150-152, 155 (in Chinese with English abstract).
- [5] 常有宏,吕晓兰,蔺经,等.我国果园机械化现状与发展思路[J].中国农机化学报,2013,34(6):21-26.CHANG Y H, LÜ X L, LIN J, et al. Present state and thinking about development of orchard mechanization in China [J]. Journal of Chinese agricultural mechanization, 2013, 34(6):21-26 (in Chinese with English abstract).
- [6] 王刘坤,祁春节.中国柑橘主产区的区域比较优势及其影响因素研究——基于省级面板数据的实证分析[J].中国农业资源与区划,2018,39(11):121-128.WANG L K, QI C J. Research on the comparative advantage and its influencing factors of in Chinese citrus main producing region: empirical analysis based on inter-provincial panel data [J]. Chinese journal of agricultural resources and regional planning, 2018, 39(11):121-128 (in Chinese with English abstract).
- [7] 洪添胜,杨洲,宋淑然,等.柑橘生产机械化研究[J].农业机械学报,2010,41(12):105-110.HONG T S, YANG Z, SONG S R, et al. Mechanization of citrus production [J]. Transactions of CSAM, 2010, 41(12):105-110 (in Chinese with English abstract).
- [8] 曾祥国.不同种类和产区柑橘糖酸含量及组成研究[D].武汉:华中农业大学,2005.ZENG X G. Studies on contents and composition of sugar and acid in citrus from different species and production areas [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2005 (in Chinese with English abstract).
- [9] LIVAK K J, SCHMITTGEN T D. Analysis of relative gene expression data using real-time quantitative PCR and the $2^{-\Delta\Delta CT}$ method [J]. Methods, 2001, 25(4):402-408.
- [10] TEROL J, SOLER G, TALON M, et al. The aconitate hydratase family from citrus [J/OL]. BMC plant biology, 2010, 10(1):222 [2022-02-22]. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-10-222>.
- [11] HU X M, SHI C Y, LIU X, et al. Genome-wide identification of citrus ATP-citrate lyase genes and their transcript analysis in fruits reveals their possible role in citrate utilization [J]. Molecular genetics and genomics, 2015, 290(1):29-38.
- [12] GUO L X, SHI C Y, LIU X, et al. Citrate accumulation-related gene expression and/or enzyme activity analysis combined with metabolomics provide a novel insight for an orange mutant [J/OL]. Scientific reports, 2016, 6(1):29343 [2022-02-22]. <https://doi.org/10.1038/srep29343>.
- [13] KURLUS R, RUTKOWSKI K, LYSIAK G. Improving of cherry fruit quality and bearing regularity by chemical thinning with fertilizer [J/OL]. Agronomy, 2020, 10(9):1281 [2022-02-22]. <https://doi.org/10.3390/agronomy10091281>.
- [14] 邓永辉,李琦,刘宏斌,等.疏果位置对云南早熟柑橘果实品质及树体养分的影响[J].贵州农业科学,2020,48(5):102-105.DENG Y H, LI Q, LIU H B, et al. Effects of fruit thinning position on fruit quality and tree nutrients of early-maturing citrus in Yunnan [J]. Guizhou agricultural sciences, 2020, 48(5):102-105 (in Chinese with English abstract).
- [15] 邱芳颖.纽荷尔脐橙果实品质和植株营养对挂果量响应研究[D].重庆:西南大学,2021.QIU F Y. Study on fruit quality and plant nutrition of Newhall navel orange in response to fruit bearing number [D]. Chongqing: Southwest University, 2021 (in Chinese with English abstract).
- [16] 杨婉怡,欧若含,黎媛,等.疏果和套袋对蓝莓果实品质的影响[J].安徽农业科学,2021,49(5):62-64.YANG W Y, OU R H, LI Y, et al. Effects of fruit thinning and bagging on blueberry fruit quality [J]. Journal of Anhui agricultural sciences, 2021, 49(5):62-64 (in Chinese with English abstract).
- [17] 王来平,杨鲁光,王景波,等.嘎拉、富士苹果化学疏花疏果试验[J].落叶果树,2018,50(2):21-23.WANG L P, YANG L G, WANG J B, et al. The chemical of flowers and fruits thinning test in 'Gala' and 'Fuji' apple [J]. Deciduous fruits, 2018, 50(2):21-23 (in Chinese with English abstract).
- [18] 韩立群,马凯,许士东,等.疏果对日光温室油桃生物学指标及果实品质的影响[J].新疆农业科学,2017,54(6):1036-1040.HAN L Q, MA K, XU S D, et al. Effects of fruit thinning on nectarine biological indicators and fruit quality in greenhouses [J]. Xinjiang agricultural sciences, 2017, 54(6):1036-1040 (in Chinese with English abstract).
- [19] 田梦瑶,周宏胜,唐婷婷,等.外源蔗糖处理对采后桃果皮色泽形成的影响[J].食品科学,2022,43(1):177-183.TIAN M Y, ZHOU H S, TANG T T, et al. Effects of exogenous sucrose treatment on the coloration of postharvest peach peel [J]. Food science, 2022, 43(1):177-183 (in Chinese with English abstract).
- [20] 赵智中.柑橘果实糖积累的生理基础研究[D].杭州:浙江大学,2001.ZHAO Z Z. Studies on physiological mechanism of sugar accumulation in citrus fruit [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2001 (in Chinese with English abstract).
- [21] 陈俊伟.柑橘果实糖运输与积累的生理机制研究[D].杭州:浙江大学,2002.CHEN J W. Studies on physiological mechanism of sugar transport and accumulation in satsuma mandarin fruit [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2002 (in Chinese with English abstract).
- [22] 石彩云.柑橘柠檬酸积累相关的质子泵基因挖掘与关键基因的

- 功能分析[D]. 武汉: 华中农业大学, 2019. SHI C Y. Mining of the proton pump genes related to the citrus citric acid accumulation and function analysis of the key gene[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2019(in Chinese with English abstract).
- [23] 林琼. 柠檬酸代谢及转运相关基因对柑橘果实酸度的调控机制[D]. 杭州: 浙江大学, 2015. LIN Q. Regulation of citrus fruit acidity by genes related to citrate metabolism and transportation[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2015 (in Chinese with English abstract).
- [24] 肖玉明, 卢晓鹏, 黄成能, 等. 水分胁迫对温州蜜柑果实品质及柠檬酸代谢相关基因表达的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2014, 40(3): 281-287. XIAO Y M, LU X P, HUANG C N, et al. Effects of water stress on the fruit quality of citrate and the expression of genes related to metabolism of citric acid[J]. Journal of Hunan Agricultural University (natural sciences edition), 2014, 40(3): 281-287 (in Chinese with English abstract).

Effects and mechanisms of mechanical pruning-mediated fruit thinning on improving quality of Ponkan fruit

SHI Ying^{1,4}, ZENG Yike¹, CHEN Siyi², LI Guojing², HUANG Xianbiao²,
LI Shanjun³, LI Chunlong¹, XIE Zongzhou¹, LIU Jihong¹

1. *Key Laboratory of Horticultural Plant Biology, Ministry of Education, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;*

2. *Dangyang Extension Centre of Technology for Specialty Products, Hubei Province, Dangyang 444100, China;*

3. *College of Engineering, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;*

4. *Shaoyang Academy of Agricultural Sciences, Hunan Province, Shaoyang 422002, China*

Abstract ‘Egan No.1’ Ponkan was used to study the effects of mechanical pruning-mediated fruit thinning on improving fruit quality to find a labor-saving way for thinning fruit in a more efficient manner. At the same time, the expression patterns of genes associated with sucrose and citric acid metabolism were analyzed. The results showed that the fruit thinning speed and efficiency were substantially accelerated by mechanical pruning, leading to significant labor-saving. In addition, mechanical pruning-mediated fruit thinning significantly increased the transverse diameters, longitudinal diameters, single fruit weight and fruit firmness of the Ponkan fruit. Meanwhile, the proportion of large-sized fruit at the stage of ripening was significantly increased to 57%. Mechanical pruning-mediated fruit thinning accelerated the color change of fruit peel, significantly increased total soluble solids to 11.57% and reduced the content of titratable acids. The content of sucrose was significantly increased to 52.10 mg/g. The result of quantitative real-time PCR showed that genes involved in the synthesis of sucrose and the degradation of citric acid were significantly up-regulated in the fruits collected from the thinned trees in comparison with the unthinned trees. Mechanical pruning-mediated fruit thinning can be used as a labor-saving fruit thinning method to improve the quality of Ponkan fruit by up-regulating genes associated with the synthesis of sucrose and the degradation of citric acid.

Keywords Ponkan; mechanical pruning; fruit thinning; fruit quality; the metabolism of sucrose and citric acid

(责任编辑: 张志钰)