

贺晨菲, 宿福园, 庞在虎, 等. 湖北地区设施栽培对‘鸡尾’葡萄柚果实品质的影响[J]. 华中农业大学学报, 2024, 43(1): 124-132.  
DOI: 10.13300/j.cnki.hnlkxb.2024.01.014

## 湖北地区设施栽培对‘鸡尾’葡萄柚果实品质的影响

贺晨菲<sup>1,2</sup>, 宿福园<sup>2</sup>, 庞在虎<sup>3</sup>, 方林川<sup>2</sup>, 裴欣<sup>2</sup>, 王燕<sup>2</sup>, 李长林<sup>2</sup>, 刘继红<sup>1</sup>

1. 果蔬园艺作物种质创新与利用全国重点实验室, 武汉 430070;

2. 武汉市农科院林业果树研究所, 武汉 430075; 3. 武汉霄垚农业科技发展有限公司, 武汉 430208

**摘要** 为提升湖北地区‘鸡尾’葡萄柚品质, 以‘鸡尾’葡萄柚为材料, 研究设施栽培和露天栽培(CK)模式下果实品质的差异。结果显示: 设施栽培下‘鸡尾’葡萄柚果实单果质量、横纵径、果形指数大于CK, 果皮硬度在果实发育过程中差异不显著, 花后 227 d 设施栽培和露天栽培果皮硬度出现显著性差异; 设施栽培可显著提高果实可溶性固形物含量至 10.43%, 可滴定酸、Vc 含量高于露天栽培; 通过 GC-MS 测定发现, 设施栽培可提升果实蔗糖含量至 49.63 mg/g; 实时荧光定量 PCR 分析发现设施栽培可能通过上调 C<sub>s</sub>SPS2、C<sub>s</sub>SUS2 和 C<sub>s</sub>SUS4 的表达水平来提高果实中蔗糖的含量。结果表明设施栽培可以提高‘鸡尾’葡萄柚的果实品质。

**关键词** ‘鸡尾’葡萄柚; 设施栽培; 果实品质; 糖酸

**中图分类号** S666.3 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2024)01-0124-09

‘鸡尾’葡萄柚(*Citrus paradisi* Macf.)由暹罗甜柚(Siamese Sweet pummelo)和弗鲁亚橘(*Frua mandarin*)杂交而来<sup>[1]</sup>, 在南方多有种植, 尤以上海崇明<sup>[2]</sup>、浙江衢州<sup>[3]</sup>种植的‘鸡尾’葡萄柚量多质佳, ‘鸡尾’葡萄柚口味清甜、汁水充足、回味微苦、口感丰富, 富含咖啡酸、阿魏酸、绿原酸等活性成分<sup>[4]</sup>, 并具有一定的经济价值。果树设施栽培技术可以改变果树种植环境的温度、湿度和光照等, 可最大限度地保障树体的生长环境<sup>[5]</sup>使果实品质得到一定程度的提高<sup>[6]</sup>。设施栽培可以减轻柑橘生长发育过程中气候因素造成的不良影响, 对提高果实品质具有重要意义<sup>[7]</sup>。前人研究表明, 设施栽培可以提高温州蜜柑<sup>[8]</sup>、‘红美人’<sup>[9]</sup>、水蜜桃<sup>[10]</sup>、杨梅<sup>[11]</sup>、‘桂热粒 71 号’<sup>[12]</sup>和冬枣<sup>[13]</sup>的可溶性固形物含量, 也可改善柑橘果实外观<sup>[14]</sup>。湖北地处华中地区, 气候条件不同于浙江一带, ‘鸡尾’葡萄柚成熟时期为 12 月中下旬, 能否在武汉安全越冬, 成为制约武汉市‘鸡尾’葡萄柚种植的重要因素。本研究以‘鸡尾’葡萄柚为试验材料, 以露天栽培为对照, 比较设施栽培和露天栽培模式下的‘鸡尾’葡萄柚品质差异, 旨在为湖北省高品质种植‘鸡尾’葡萄柚提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料及处理

试验材料种植在武汉市江夏区金口街雷岭村, 土壤类型为红壤, pH 值为 6.26。处理 1: 设施栽培(protected cultivation, PC): 大棚高 3 m, 跨度 4 m, 单层薄膜; 处理 2: 选择设施栽培旁边露天栽培的‘鸡尾’葡萄柚作为对照(CK), 采用同等管理措施。选取 6 株长势一致、5 年生的‘鸡尾’葡萄柚为试验材料, 分别于花后 203、214、227、240、256 d 从每株树随机挑选 9 个大小一致、生长良好的果实作为样品。

### 1.2 果实品质测定

采用电子天平称果实质量。用游标卡尺测量横、纵径并计算果形指数。将每个处理的 9 个果实各取一半榨汁过滤混合后, 用 PAL-1 手持折光测糖仪(Atago, Japan)测定可溶性固形物含量; 可滴定酸含量测定: 吸取 0.306 mL 果汁稀释于 30 mL 蒸馏水中混匀后滴入 GMK-835F 水果酸度计(G-WON, South Korea)进行测定。维生素 C(Vc)含量的测定采用 2,6-二氯酚靛酚滴定法<sup>[15]</sup>。可溶性糖及有机酸含量参照 Xu 等<sup>[16]</sup>的方法, 采用 GC-MS 法进行测定, 略有改动。使用质构仪(\*TA. XT. Plus, Stable mi-

收稿日期: 2022-12-09

基金项目: 湖北省重点研发专项(2022BBA0073); 湖北省特色水果创新行动计划项目

贺晨菲, E-mail: 1403923568@qq.com

通信作者: 刘继红, E-mail: liujihong@mail.hzau.edu.cn; 李长林, E-mail: 273326115@qq.com

cro systems,英国)测定果皮硬度。使用色彩色差仪(型号:cm-5,美能达,日本)测定‘鸡尾’葡萄柚果皮色泽参数 $L^*$ 、 $a^*$ 和 $b^*$ 。果实色泽饱和度由CCI(citrus color index)表示,由 $L^*$ 、 $a^*$ 和 $b^*$ 计算而来,CCI的数值越大果皮色泽饱和度越高, $I_{CC}=1000 \times a^* \times (L^* \times b^*)^{-1}$ [17]。

### 1.3 基因表达分析

‘鸡尾’葡萄柚果肉总RNA使用PLANT pure通用植物总RNA快速提取试剂盒(Aidlab,北京)提取。用HiScript III RT SuperMix for qPCR(+gDNA wiper)合成cDNA后,之后用Nanodrop 1000紫外分光光度计(Thermo Scientific)测定其浓度,并将质量浓度

调到200 ng/ $\mu$ L后保存于-20℃。采用ChamQ Universal SYBR qPCR Master Mix(ABI,美国)配制实时荧光定量PCR反应体系,用QuantStudio 7 Flex system(Applied Biosystems,美国)进行PCR反应。采用 $2^{-\Delta\Delta C_t}$ 方法[18]计算基因相对表达量,每个样品设3次生物学重复,相关基因的引物信息见表1。

### 1.4 温度湿度测定

采用高低水银温度计记录1 d中最高、最低气温。

### 1.5 数据处理

采用Microsoft Excel、SPSS进行数据分析,采用Origin进行作图,采用LSD法进行差异显著性分析。

表 1 定量分析所用引物

Table 1 List of primers for quantitative real-time PCR

基因名称 Gene name	引物序列 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	
SUS1	GGATTTATGAAAGGTACACCTGGAA	GGGTCTCACGCCTCTCAAGT	Cs5g33470.1
SUS2	TAGCTGGGGTTTATGGCTTCTG	GACGGACTTTGCCAGATCAC	Cs9g03980.1
SUS3	TTGAACAAGGGGCAGAAACT	TGACTGCTGGCTCTGACATT	Cs6g15930.1
SUS4	CAAACAAAGTGCTGAACATGGGA	CAGGTTGCTGGGATTCAACTG	Cs5g16700.1
SUS5	TGCTGAAAGACCGCAACAAG	TCCTATCACACCCACTACG	Cs4g06850.1
SUS6	GAGTGGAGTGTATGGCTTCTG	TCTGAACCTGCTTGCATACA	Cs4g06900.1
SPS1	GCGACAAAAACGAAGGTGGTA	AACATACTCCGCCTCCTCAA	Cs7g05690.1
SPS2	TATTGGATGCGGGAAGTGGC	TTCACGAGTATTCCTTGTGCT	Cs4g05380.1
SPS3	AGAGGCAGCTCAGAGAATGG	TCCCCTTTTCTCCCTCAGAC	Cs5g19060.1
SPS4	GCTTAGGCTCTCTGTGGATGG	GCCTCAACATGGGATACTTGC	orange1.1t03668.1
PEPC1	TGGATCCAGGGGACTCCAT	TTTGATCCTTCGACGGTGGG	orange1.1g002089m
PEPC2	GGCATGCAAAACACTGGTTA	CATGTTTATTACGGCTTGGA	orange1.1g002112m
PEPC3	GAACAATGACGGACACAACG	TGGACTCGCTTCCAACCTCT	orange1.1g001537m
CS1	GGTGCCCCAATATTAACAA	AGAGCTCGGTCCCATATCAA	orange1.1g012107m
CS2	ACTGGTGTATGGATGCGACA	TCTTCGTCTTGTGGCATTG	orange1.1g010304m
Aco1	TGAGAGATTTAGTATTGATCT	AACTCTCACATTTTACAACCG	[19]
Aco2	GGCAATGATGAAGTGATGGCT	GTTGGAACATGGACCGTCTTT	[19]
Aco3	TCCTCCATTAGTTGTTGCT	CATGTCAGGTAAGACGCTAG	[19]
GAD1	TTGTCTGGAGGACAAAGATG	ATGGGCAGTTTTCGTGGATA	Cs5g16440.1
GAD2	GAGGAGATAACAGAGACAAA	AACAAAGAGCCCATTCAGAT	orange1.1t01622.1
Actin	CCGACCGTATGAGCAAGGAAA	TTCTGTGGACAATGGATGGA	

## 2 结果与分析

### 2.1 设施栽培对果实外在品质的影响

在花后203~256 d,设施栽培(PC)果实的单果质量、横径、纵径均大于CK,果形指数无明显变化。随着果实成熟,两者果实的硬度逐渐降低,但PC的果实硬度下降更快,在花后227 d存在显著差异,直至花后256 d,CK的平均果皮硬度为2 167.38 mm,PC平均果皮硬度为1 464.54 mm,CK果实硬度显著

高于PC(表2)。

PC果实色泽参数 $L^*$ 在花后203、214和256 d均与CK有显著差异;色泽参数 $a^*$ 在上升的过程中只有花后203和256 d与CK有差异,其他时期CK高于PC但没有显著差异;色泽参数 $b^*$ 总体呈现出先上升再下降的趋势,果皮颜色在花后213~227 d由绿色转为黄色;色泽饱和度变化趋势与色泽参数 $a^*$ 趋势相同(表2),CK果实色泽饱和度在花后256 d优于PC(图1)。

表2 不同栽培模式下‘鸡尾’葡萄柚果实品质变化  
Table 2 Changes in fruit quality of ‘Cocktail’ grapefruit under different cultivation modes

指标 Index	处理 Treatment	开花后时间/d Time post anthesis				
		203	214	227	240	256
单果质量/g	CK	413.50±32.87	450.64±25.12	480.00±18.26	502.84±42.35	525.18±32.86
Single fruit weight	PC	440.10±23.58	467.14±32.09	497.78±20.96	528.13±43.03	557.84±39.14
横径/cm	CK	96.28±3.99	102.77±4.68	105.75±3.88	104.30±4.00	105.38±1.87
Fruit diameter	PC	99.60±3.81	101.66±3.13	105.86±2.63	105.97±3.97	108.33±5.03*
纵径/cm	CK	91.82±4.27	91.75±5.22	95.19±2.43	95.75±1.69	98.43±3.95
Fruit length	PC	92.30±3.27	92.76±5.06	97.00±3.02	99.13±1.29***	101.89±4.60
果形指数	CK	0.92±0.01	0.90±0.02	0.88±0.04	0.91±0.03	0.91±0.04
Fruit shape index	PC	0.89±0.01	0.92±0.04	0.89±0.04	0.93±0.06	0.91±0.04
果实硬度/(kg/cm <sup>2</sup> )	CK	2 392.00±244.24	2 503.92±297.93	2 280.60±398.85	2 050.48±218.57	2 167.38±319.20
Fruit hardness	PC	2 464.03±238.91	2 599.22±365.11	1 976.02±437.04*	1 851.23±322.14*	1 464.54±286.26***
亮度值L*	CK	55.55±0.96	58.71±0.50	63.34±0.87	69.50±2.11	63.92±0.98
The value of L*	PC	60.29±1.24*	53.90±1.51*	64.97±1.29	72.63±1.20	65.70±0.13*
红绿色度值a*	CK	-4.19±1.05	-0.49±0.80	8.9±0.90	16.09±1.54	17.07±0.72
The value of a*	PC	-1.56±0.2*	-1.62±0.92	8.35±0.71	16.08±0.32	14.07±0.72*
黄蓝色度值b*	CK	47.73±1.92	49.29±0.93	52.79±2.39	68.79±3.81	53.99±0.79
The value of b*	PC	41.96±1.39*	57.32±5.52	52.91±1.64	67.53±0.24	55.20±0.30
色泽饱和度	CK	-1.58±0.37	-0.18±0.28	2.66±0.21	3.38±0.44	4.95±0.31
Citrus color index	PC	-0.62±0.11*	-0.61±0.34	2.44±0.29	3.28±0.13	4.05±0.22*

注:表中数据为3次生物学重复的平均值±标准差。\*、\*\*、\*\*\*分别表示PC和CK处理在0.05、0.01、0.001水平上存在显著差异,下同。

Note: The data in the table are the average standard deviation of three biological repetitions. \*, \*\*, \*\*\* indicated significant difference at 0.05, 0.01 and 0.001 levels. The same as follows.

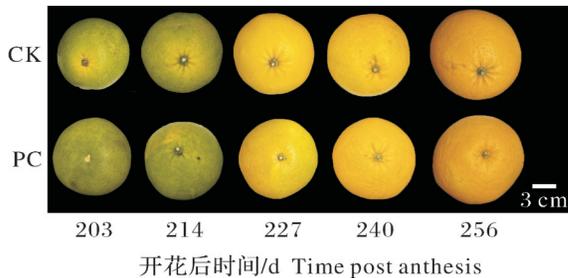


图1 不同栽培模式下果实外观变化

Fig.1 Changes of fruit appearance under different cultivation modes

## 2.2 设施栽培对果实内在品质的影响

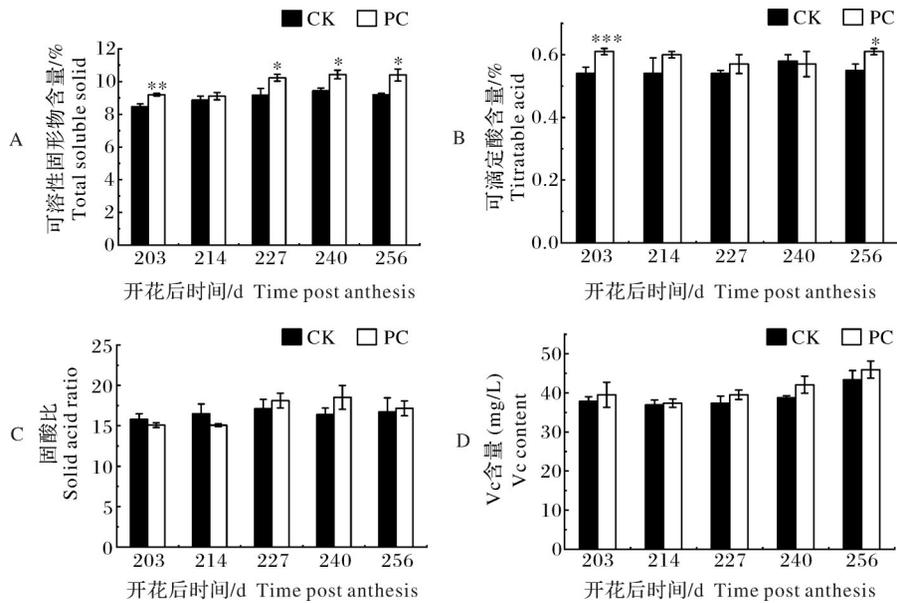
花后203~256 d, 2种栽培模式下果实的可溶性固形物持续上升, PC果实可溶性固形物在花后240 d达到最高, 有10.4%, CK为9.43%; 除花后214 d, 其他时段PC和CK的可溶性固形物存在显著差异(图2A)。花后203~256 d的PC可滴定酸含量均高于CK, 仅在花后203和256 d存在显著差异(图2B)。PC固酸比略高于CK(图2C)。PC的Vc含量由39.52 mg/L增加到45.96 mg/L, CK的Vc含量由

37.80 mg/L增加到43.38 mg/L, 各时段Vc含量均高于CK(图2D)。

## 2.3 设施栽培对果实可溶性糖及有机酸的影响

花后214~256 d, PC的蔗糖含量高于CK, 花后256 d PC和CK的蔗糖含量分别为49.63、40.35 mg/g(图3A)。同时, 果实中葡萄糖含量和果糖含量的变化趋势基本一致, 均为PC大于CK(图3B、C)。证明设施栽培有利于‘鸡尾’葡萄柚的蔗糖、葡萄糖、果糖的积累, 可提高‘鸡尾’葡萄柚果实可溶性糖含量。

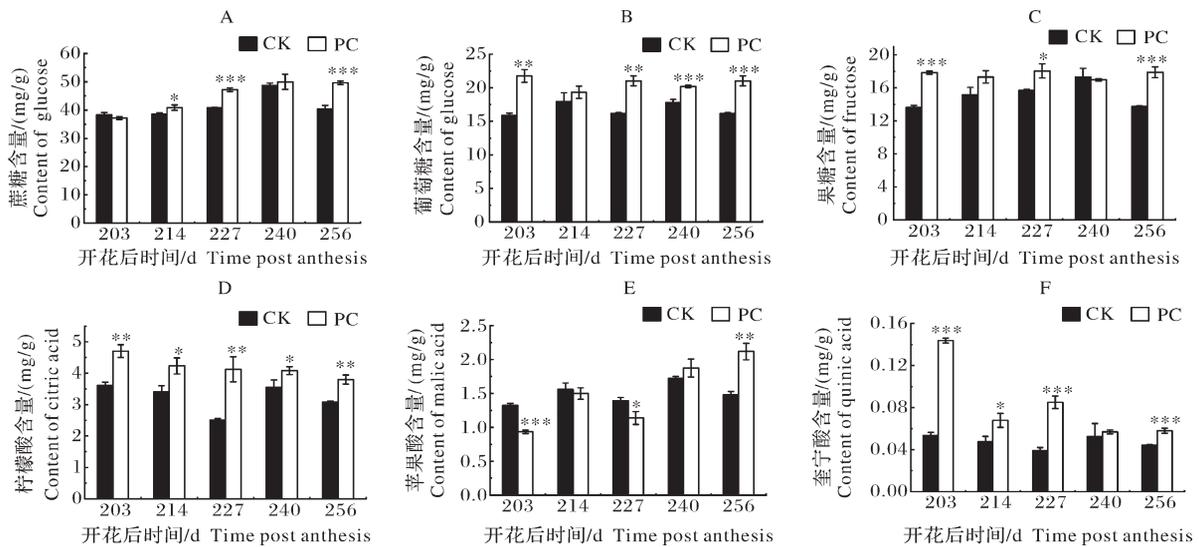
花后203~256 d, PC的柠檬酸、奎宁酸含量显著高于CK, CK果实柠檬酸含量由3.61 mg/g降至3.08 mg/g; PC果实柠檬酸含量由4.70 mg/g降至3.79 mg/g, CK果实柠檬酸下降速率为14.64%, 而PC果实为19.22%(图3D、F)。花后203~227 d PC的苹果酸含量小于CK, 但花后227~256 d时PC苹果酸含量急剧上升(图3E)。这表明设施栽培有利于‘鸡尾’葡萄柚的柠檬酸和奎宁酸的降解。



A: 可溶性固形物含量 Soluble solid content; B: 可滴定酸含量 Titratable acid content; C: 固酸比 Solid acid ratio; D: Vc 含量 Vc content.

图 2 不同栽培模式对‘鸡尾’葡萄柚果实品质的影响

Fig.2 Effects of different cultivation modes on fruit quality of ‘Cocktail’ grapefruit



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

图 3 不同栽培模式下‘鸡尾’葡萄柚果实可溶性糖及有机酸含量

Fig.3 Content of soluble sugars and organic acids in grapefruit under different cultivation modes

## 2.4 设施栽培对‘鸡尾’葡萄柚果实糖酸代谢相关基因表达的影响

1) 设施栽培和露天栽培条件下果实蔗糖代谢相关基因的表达分析。基因相对表达量结果显示,在花后 203~240 d 时, PC 果实的 *CsSPS1*、*CsSPS2* 和 *CsSPS3* 的相对表达量高于 CK, 其中 PC 与 CK 果实的 *CsSPS1* 相对表达量在花后 203~227 d 差异极显著; PC 果实的 *CsSPS2* 在整个发育过程均上调表达且与 CK 存在显著差异; 在花后 256 d, CK 的 *CsSPS1*、*CsSPS3* 和 *CsSPS4* 的相对表达量高于 PC

(图 4A)。PC 中 *CsSUS3*、*CsSUS5* 和 *CsSUS6* 的相对表达量整体上低于 CK, 并且 PC 与 CK 果实中 *CsSUS6* 的相对表达量存在显著差异。 *CsSUS1* 的表达趋势为先升后降, 在花后 214 d 表达水平达到峰值, 在前 3 个时段 PC 表达水平高于 CK, 在发育后期 PC 表达水平低于 CK 果实。除花后 203 d 外, 其余时期 PC 的 *CsSUS4* 表达水平均高于 CK, 并存在极显著差异 (图 4B)。表明设施栽培可能通过上调 *CsSPS2*、*CsSUS2* 和 *CsSUS4* 的表达水平来提高果实中蔗糖的含量。

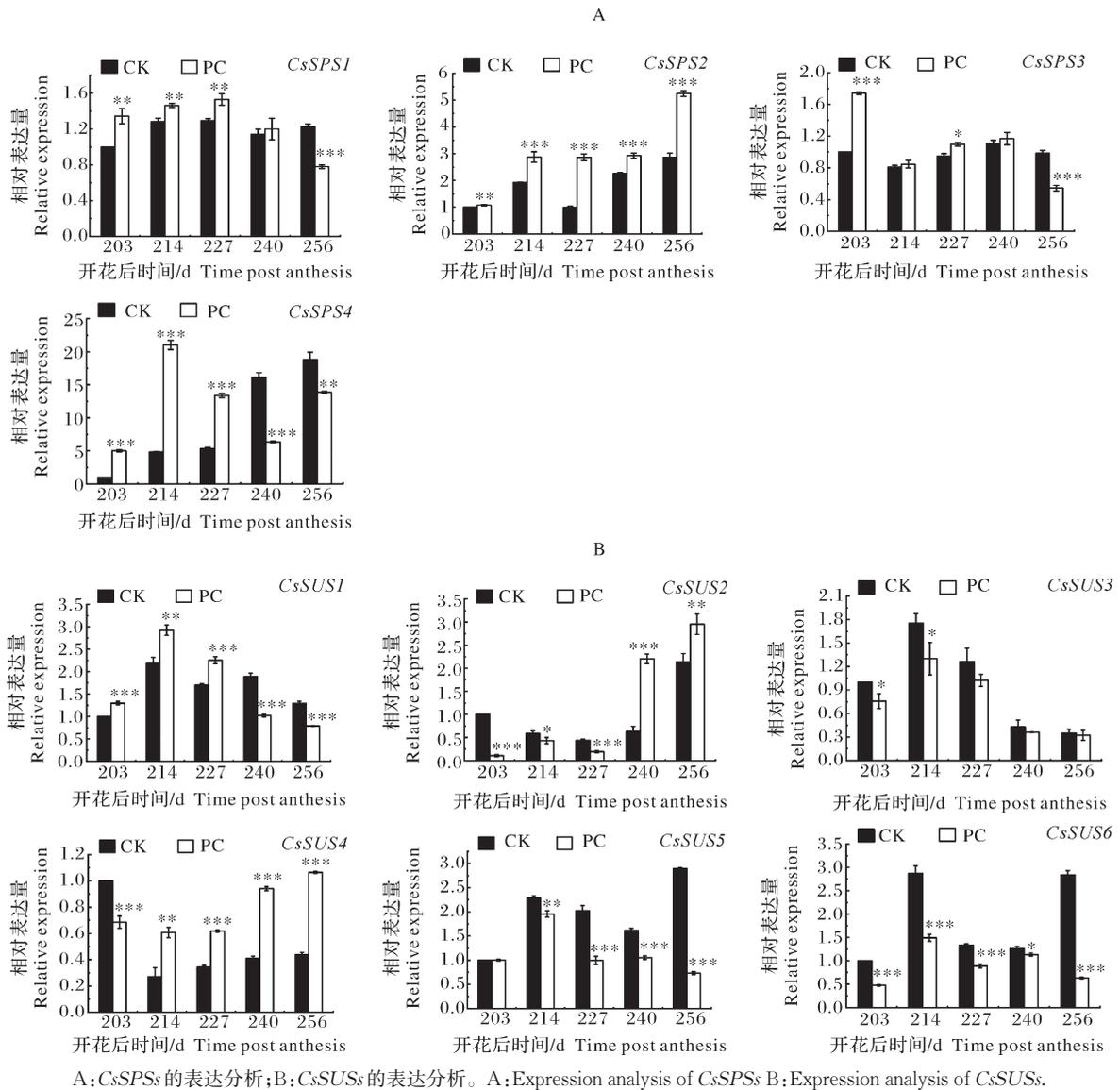


图4 不同栽培模式对‘鸡尾’葡萄柚果实蔗糖代谢相关基因的影响

Fig.4 Effects of different cultivation modes on genes related to sucrose metabolism in ‘Cocktail’ grapefruit fruit

2)设施栽培和露天栽培条件下柠檬酸合成基因的表达分析。在花后214~256 d, *CsCS1*和*CsCS2*表达趋势一致,CK中*CsCS1*在花后256 d的相对表达量是PC的2倍。花后214~256 d,PC中*CsPEPC1*的表达水平显著高于CK。花后203~227 d,PC中*CsPEPC2*和*CsPEPC3*的表达水平均显著高于CK(图5A)。PC中*CsACO1*相对表达量在花后214 d达到峰值并与CK具有显著差异。花后203~256 d,CK中*CsACO2*表达量高于PC;PC中*CsACO3*和*CsGAD1*的表达水平变化趋势一致。*CsGAD2*相对表达量整体呈下降趋势(图5B)。

## 2.5 设施栽培对温度的影响

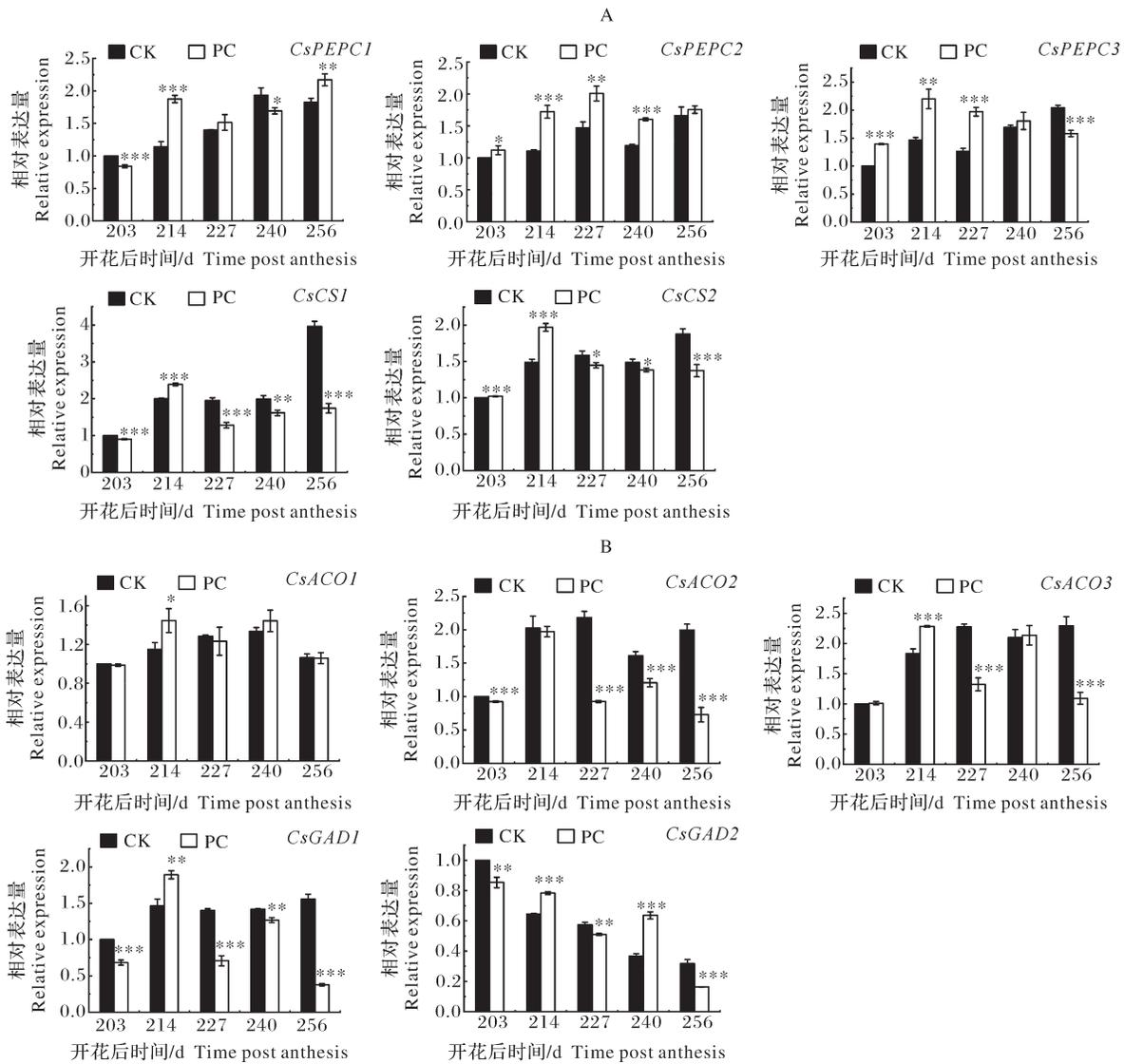
花后203~256 d,PC最高、最低温度始终高于

CK,花后203 d最高温度达到近30℃。花后227 d时CK最低温度已降到0℃以下,此时PC最高温度接近10℃;而PC最低温度在花后256 d才降到0℃以下(图6)。

## 3 讨论

近年来,‘鸡尾’葡萄柚凭借其独特的风味被大众所喜爱,本研究通过对设施栽培的‘鸡尾’葡萄柚进行果实品质分析,发现在设施栽培条件下其可溶性固形物、固酸比和Vc含量均高于露天,内在品质得到了一定的改善,这与钱皆兵等<sup>[14]</sup>和江琴<sup>[20]</sup>研究结果一致。

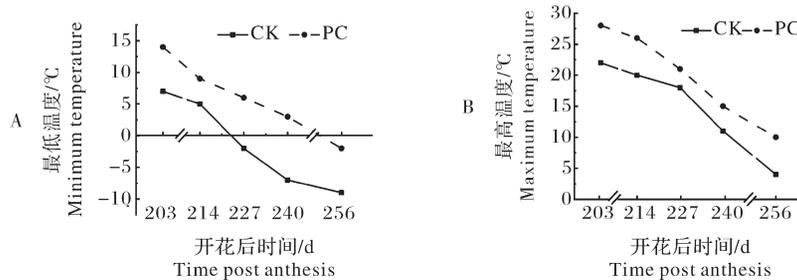
糖酸含量是影响柑橘果实品质的重要因素,随着‘鸡尾’葡萄柚果实的成熟,可溶性糖含量不断增



A: *CsPEPCs*、*CsCSs* 的相对表达量; B: *CsACOs*、*CsGADs* 的相对表达量。A: Relative expression of *CsCSs* and *CsPEPCs*; B: Relative expression of *CsACOs* and *CsGADs*.

图5 不同栽培模式下‘鸡尾’葡萄柚柠檬酸相关代谢基因表达水平的变化

Fig.5 Change of different cultivation patterns of citric acid-related metabolic genes expression of Cocktail grapefruit



A: 最低温度; B: 最高温度。A: Minimum temperature; B: Maximum temperature.

图6 设施栽培对温度的影响

Fig.6 Effect of protected cultivation on temperature

加,且蔗糖含量在可溶性糖中含量最高,柠檬酸含量在有机酸含量中最高,苹果酸在发育期间整体呈上升趋势,这与曾祥国<sup>[21]</sup>的研究结果一致。证实设施

栽培可以提高‘鸡尾’葡萄柚可溶性糖含量。

蔗糖磷酸合成酶及蔗糖合成酶主要控制柑橘果实中蔗糖的积累<sup>[22]</sup>并对柑橘糖组分调节有重要作用

用<sup>[23-24]</sup>。Komatsu等<sup>[25]</sup>对成熟期温州蜜柑果肉的研究发现*CitSPS1*和*CitSPS2*的转录水平较高。刘翔宇等<sup>[26]</sup>研究发现在沙糖橘成熟期间,*CitSUS2*的表达水平和蔗糖含量呈正相关。本研究结果表明,设施栽培可能通过调控*CsSPS2*、*CsSUS2*和*CsSUS4*的表达水平调控糖代谢来提升‘鸡尾’葡萄柚果实糖的含量。Vimolmangkang等<sup>[27]</sup>发现桃*SPS3*的表达量与蔗糖和总糖含量呈正相关且表达量最高。但本研究中*CsSPS4*的表达量最高,*CsSPS2*与蔗糖含量呈正相关,猜测可能由于研究所用果实材料不同所导致的差异。

有研究表明PEPC、CS活性和柠檬酸含量密切相关<sup>[28]</sup>,但也有研究表明CS活性与柠檬酸含量变化无关<sup>[29]</sup>。Liu等<sup>[30]</sup>对温州蜜柑转录组进行分析发现*CsGAD1*转录水平和GAD活性呈显著正相关。本研究发现,随着果实发育成熟,设施栽培内‘鸡尾’葡萄柚柠檬酸含量始终高于露天栽培,这与*CsPEPCs*表达量相一致,说明*CsPEPCs*表达对柠檬酸的调控有重要作用。除此之外,设施栽培可能通过下调*CsACO2*、*CsGAD1*的表达水平和上调*CsPEPCs*的表达水平来提高‘鸡尾’葡萄柚的柠檬酸含量,从而提高‘鸡尾’葡萄柚果实的风味。

此外,设施栽培会通过影响环境从而对果实产量和品质。设施栽培环境温度始终高于露天栽培,在露天栽培中最低温度降到0℃以下时,设施栽培环境温度仍能保持5℃左右,使果实延迟采摘。这与钟瑾等<sup>[8]</sup>研究结果一致。设施栽培环境通风透气性较差,其空气湿度往往高于露天栽培<sup>[31]</sup>,空气湿度低有利于促进酸的降解<sup>[32]</sup>。猜测是由于设施栽培相对于露天栽培会形成高湿的气候,且设施栽培的薄膜存在常年无人清洁的情况进而导致棚内光线的缺失,所以认为这是导致设施栽培内果实可滴定酸和柠檬酸高于露天栽培的原因之一。在之后的研究中会对设施栽培内湿度等环境因子进行更加全面的追踪,探索提高‘鸡尾’葡萄柚果实高品质的最佳栽培方式,为‘鸡尾’葡萄柚在湖北地区高品质种植提供理论基础依据。

## 参考文献References

[1] 柯甫志,徐建国,罗君琴,等.鸡尾葡萄柚的品种特性及栽培技术[J].浙江柑橘,2015,32(1):16-18.KE F Z, XU J G, LUO J Q, et al. Variety characteristics and cultivation techniques of chicken-tailed grapefruit[J].Zhejiang Ganju,2015,32(1):16-18 (in Chinese).

[2] 李晓丹,龚山明,杨俊杰,等.鸡尾葡萄柚在上海崇明地区的引种试验初报[J].上海农业科技,2018(5):79-80.LI X D, GONG S M, YANG J J, et al. Preliminary report on introduction experiment of chicken-tailed grapefruit in Chongming district, Shanghai[J].Shanghai agricultural science and technology,2018(5):79-80 (in Chinese).

[3] 刘春荣,王清渭,吴雪珍,等.鸡尾葡萄柚在浙江衢州的引种试验[J].浙江农业科学,2017,58(1):65-68.LIU C R, WANG Q W, WU X Z, et al. Introduction experiment of grapefruit with chicken tail in Quzhou, Zhejiang Province[J].Journal of Zhejiang agricultural sciences,2017,58(1):65-68 (in Chinese).

[4] 张桂伟,张秋云,江东,等.中国主栽葡萄柚果肉酚类物质组成及其抗氧化活性[J].中国农业科学,2015,48(9):1785-1794.ZHANG G W, ZHANG Q Y, JIANG D, et al. Phenolic composition and antioxidant activities of grapefruit varieties cultivated in China[J].Scientia agricultura sinica,2015,48(9):1785-1794 (in Chinese with English abstract).

[5] 邓云明.果树设施栽培的原理与技术要点[J].世界热带农业信息,2021(2):8-9.DENG Y M. Principles and technical points of protected cultivation of fruit trees[J].World tropical agriculture information,2021(2):8-9 (in Chinese).

[6] 张敬斐.柑橘优质高产栽培及管理技术探究[J].广东蚕业,2022,56(1):88-90.ZHANG J F. Research on high-quality and high-yield cultivation and management techniques of Citrus[J].Guangdong sericulture,2022,56(1):88-90 (in Chinese with English abstract).

[7] 王登亮,吴雪珍,刘春荣,等.柑橘大棚设施栽培研究进展[J].浙江柑橘,2019,36(3):2-6.WANG D L, WU X Z, LIU C R, et al. Research progress on greenhouse cultivation of Citrus[J].Zhejiang Ganju,2019,36(3):2-6 (in Chinese).

[8] 钟瑾.早熟温州蜜柑大棚延迟采收对果实品质及货架期的影响[D].南昌:江西农业大学,2016.ZHONG J. The effect of delayed harvest precocious Satsuma mandarine on fruit quality and shelf life in greenhouse[D].Nanchang: Jiangxi Agricultural University,2016 (in Chinese with English abstract).

[9] 唐志敏,蔡建国,唐小忠,等.酸橙砧“红美人”杂柑在湘南的引种表现及设施栽培技术[J].中国南方果树,2021,50(4):162-165.TANG Z M, CAI J G, TANG X Z, et al. Performance of Hongmeiren mandarin in southern Hunan and techniques for protected cultivation[J].South China fruits,2021,50(4):162-165 (in Chinese).

[10] 吴大军,孙奇男,陈妙金,等.采前避雨控水对水蜜桃果实品质和经济效益的影响[J].浙江农业科学,2021,62(4):725-727.WU D J, SUN Q N, CHEN M J, et al. Preharvest rain shelter cultivation influenced fruit quality and economic benefit of peach[J].Journal of Zhejiang agricultural sciences,2021,62(4):725-727 (in Chinese).

[11] 张琼.设施栽培对杨梅果实发育及品质形成影响的研究[D].杭州:浙江农林大学,2020.ZHANG C. Effects of facilities cul-

- tivation on fruit growth and quality formation of red bayberry (*Myrica rubra*) [D]. Hangzhou: Zhejiang A & F University, 2020 (in Chinese with English abstract).
- [12] 李日旺, 黄国弟, 陈永森, 等. 设施栽培对“桂热砧71号”果实生长发育和品质的影响研究[J]. 中国南方果树, 2022, 51(4): 49-52. LI R W, HUANG G D, CHEN Y S, et al. Effects of protected cultivation on fruit growth and quality of “Guire *Castanopsis* 71” [J]. South China fruits, 2022, 51(4): 49-52 (in Chinese).
- [13] 范盼盼. 不同栽培环境及其对冬枣生长结果和效益的影响[D]. 阿拉尔: 塔里木大学, 2021. FAN P P. Different cultivation environments and their effects on the growth, fruits and benefits of winter jujube [D]. Alar: Tarim University, 2021 (in Chinese with English abstract).
- [14] 钱皆兵, 郭延平, 陈子敏, 等. 柑橘设施栽培对土壤理化性质和果实品质的影响[J]. 浙江农业科学, 2007, 48(1): 28-29, 34. QIAN J B, GUO Y P, CHEN Z M, et al. Effects of protected cultivation of citrus on soil physical and chemical properties and fruit quality [J]. Journal of Zhejiang agricultural sciences, 2007, 48(1): 28-29, 34 (in Chinese).
- [15] 汤秀华, 韦媛荣, 张涛, 等. 不同材料果袋对‘南亚A’油梨果实品质的影响[J]. 经济林研究, 2019, 37(4): 67-74. TANG X H, WEI Y R, ZHANG T, et al. Effects of fruit bags made of different materials on fruit quality in ‘Nanya A’ avocado [J]. Non-wood forest research, 2019, 37(4): 67-74 (in Chinese with English abstract).
- [16] XU L H, XIAO L Y, XIAO X Q, et al. Analysis of soluble sugar content in minute quantities of rice tissues by GC-MS [J/OL]. Bio-protocol, 2021, 11(13): e4077 [2022-12-09]. <https://doi.org/10.21769/BioProtoc.4077>.
- [17] 曾译可, 石莹, 陈思怡, 等. 地面覆膜提升椪柑果实品质的效果和可能机制探究[J]. 园艺学报, 2022, 49(11): 2419-2430. ZENG Y K, SHI Y, CHEN S Y, et al. Effects of film mulching on improving fruit quality of ponkan and possible mechanisms [J]. Acta horticulturae sinica, 2022, 49(11): 2419-2430 (in Chinese with English abstract).
- [18] LIVAK K J, SCHMITTGEN T D. Analysis of relative gene expression data using real-time quantitative PCR and the  $2^{-\Delta\Delta C(T)}$  method [J]. Methods, 2001, 25(4): 402-408.
- [19] MANUEL C, MANUEL T, GUILLERMO S, et al. The aconitate hydratase family from *Citrus* [J/OL]. BMC Plant Biol, 2010, 222 [2022-12-09]. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-10-222>.
- [20] 江琴. 武汉地区设施栽培柑橘果实发育及其品质变化研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2009. JIANG Q. Study on fruit development and quality change of *Citrus* under protected cultivation in Wuhan area [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2009 (in Chinese with English abstract).
- [21] 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).
- [22] 易明亮, 肖洒, 刘德春, 等. 温州蜜柑完熟栽培期间果实糖酸变化及其相关基因表达分析[J]. 江西农业大学学报, 2022, 44(1): 35-44. YI M L, XIAO S, LIU D C, et al. Analysis on changes in sugar and organic acid and related gene expression in fruit of Satsuma mandarin during delayed harvest cultivation [J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2022, 44(1): 35-44 (in Chinese with English abstract).
- [23] 刘永忠, 李道高. 柑橘果实糖积累与蔗糖代谢酶活性的研究[J]. 园艺学报, 2003, 30(4): 457-459. LIU Y Z, LI D G. Sugar accumulation and changes of sucrose-metabolizing enzyme activities in *Citrus* fruit [J]. Acta horticulturae sinica, 2003, 30(4): 457-459 (in Chinese with English abstract).
- [24] 魏清江, 马张正, 勒思, 等. 柑橘磷酸蔗糖合酶基因 *CsSPS* 的鉴定和表达[J]. 园艺学报, 2020, 47(2): 334-344. WEI Q J, MA Z Z, LE S, et al. Identification and expression analysis of sucrose-phosphate synthase (*SPS*) genes in *Citrus* [J]. Acta horticulturae sinica, 2020, 47(2): 334-344 (in Chinese with English abstract).
- [25] KOMATSU A, TAKANOKURA Y, MORIGUCHI T, et al. Differential expression of three sucrose-phosphate synthase isoforms during sucrose accumulation in *Citrus* fruits (*Citrus unshiu* Marc.) [J]. Plant science, 1999, 140(2): 169-178.
- [26] 刘翔宇, 李娟, 黄敏, 等. 柑橘砧木对砂糖橘果实糖积累的影响[J]. 中国农业科学, 2015, 48(11): 2217-2228. LIU X Y, LI J, HUANG M, et al. Effect of citrus rootstock on sugar accumulation in shatang citrus [J]. China agricultural science, 2015, 48(11): 2217-2228 (in Chinese with English abstract).
- [27] VIMOLMANGKANG S, ZHENG H, PENG Q, et al. Assessment of sugar components and genes involved in the regulation of sucrose accumulation in peach fruit [J]. Journal of agricultural and food chemistry, 2016, 64(35): 6723-6729.
- [28] 文涛, 熊庆娥, 曾伟光, 等. 脐橙果实发育过程中有机酸合成代谢酶活性的变化[J]. 园艺学报, 2001, 28(2): 161-163. WEN T, XIONG Q E, ZENG W G, et al. Changes of organic acid anabolic enzyme activity during navel orange fruit development [J]. Journal of horticulture, 2001, 28(2): 161-163 (in Chinese with English abstract).
- [29] CANEL C, BAILEY-SERRES J N, ROOSE M L. Molecular characterization of the mitochondrial citrate synthase gene of an acidless pumelo (*Citrus maxima*) [J]. Plant Mol Biol, 1996, 31(1): 143-147.
- [30] LIU X, HU X M, JIN L F, et al. Identification and transcript analysis of two glutamate decarboxylase genes, *CsGAD1* and *CsGAD2*, reveal the strong relationship between *CsGAD1* and citrate utilization in citrus fruit [J]. Mol Biol Rep, 2014, 41

- (9):6253-6262.
- [31] 程冬玲,林性粹.园艺设施内的水分调控[J].西北园艺:果树,2001(1):21.CHENG D L, LIN X C. Water control in horticultural cultivation[J]. Northwest horticulture, 2001(1): 21 (in Chinese).
- [32] 胡春水,赵思东,邢伟一,等.“好地方”绿色食品柑橘品质影响因素及果实质量评价研究[J].江西农业大学学报,2000,22(1):70-74.HU C S, ZHAO S D, XING W Y, et al. Study on influencing factors and fruit quality evaluation of "Good Place" green food citrus[J]. Acta Agriculture Universitatis Jiangxiensis, 2000, 22(1): 70-74 (in Chinese with English abstract).

## Effects of facility cultivation on fruit quality of ‘Cocktail’ grapefruit in Hubei Province

HE Chenfei<sup>1,2</sup>, SU Fuyuan<sup>2</sup>, PANG Zaihu<sup>3</sup>, FANG Linchuan<sup>2</sup>,  
PEI Xian<sup>2</sup>, WANG Yan<sup>2</sup>, LI Changlin<sup>2</sup>, LIU Jihong<sup>1</sup>

1. *National Key Laboratory for Germplasm Innovation & Utilization of Horticultural Crops, Wuhan 430070, China;*
2. *Forestry and Fruit Tree Research Institute, Wuhan Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430075, China;*
3. *Wuhan Xiaoyao Agricultural Science and Technology Development Co., Ltd., Wuhan 430208, China*

**Abstract** The differences in fruit quality of ‘Cocktail’ grapefruit between the mode of facility cultivation and open cultivation (CK) were studied to improve the quality of ‘Cocktail’ grapefruit in Hubei Province. The results showed that the single fruit weight, transverse and longitudinal diameter and fruit shape index of facility cultivation were larger than those of CK. There was no significant difference in peel hardness during fruit development. There was a significant difference in peel hardness between facility cultivation and CK from 227 days after anthesis. Facility cultivation significantly increased the content of soluble solid in fruits to 10.43%. The content of titratable acid and Vc in facility cultivation was higher than that in CK. The results of GC-MS analysis showed that facility cultivation increased the content of sucrose in fruits to 49.63 mg/g. The results of real-time quantitative PCR analysis showed that facility cultivation increased the content of sucrose in fruits by upregulating the expression levels of *CsSPS2*, *CsSUS2* and *CsSUS4*. It is indicated that facility cultivation can improve the fruit quality of ‘Cocktail’ grapefruit.

**Keywords** ‘Cocktail’ grapefruit; facility cultivation; fruit quality; sugar and acid

(责任编辑:张志钰)