

江津甜橙3个变异品种的果实品质及酸组分分析

孙琦^{1,2}, 谢让金^{2,3}, 邓烈^{2,3}, 易时来^{2,3}, 郑永强^{2,3}, 吕强^{2,3}, 何绍兰^{2,3,*}

(1.西南大学园艺园林学院, 重庆 400715; 2.西南大学/中国农业科学院柑桔研究所, 重庆 400712;

3.国家柑桔工程技术研究中心, 重庆 400712)

摘要:以江津甜橙的优选品种锦橙及其低酸变异品种长叶橙和高酸大果芽变品种大果锦橙为试材, 测定果实膨大至成熟期的多项品质指标及其果汁中柠檬酸、奎宁酸和苹果酸含量的变化趋势。结果表明, 在果实发育过程中, 各品种果实大小于10月下旬基本定型, 可溶性固形物含量逐渐增加、可滴定酸含量逐渐下降。在所测酸组分中, 柠檬酸为主要有机酸; 在果实发育过程中, 柠檬酸含量逐渐降低, 苹果酸含量呈相反的变化趋势, 奎宁酸含量呈先下降后上升再下降的趋势, 最大值出现在11月中旬。在果实成熟阶段, 锦橙平均单果质量和柠檬酸含量介于长叶橙和大果锦橙之间, 可溶性固形物含量为最高; 长叶橙单果质量最小(155.27 g), 可滴定酸含量最低(0.55%), 其中柠檬酸组分为6.95 mg/g; 大果锦橙则相反, 单果质量达311.92 g, 可滴定酸含量为1.02%, 其中柠檬酸含量为11.72 mg/g。3个品种总体上呈酸度越高, 柠檬酸含量越高, 奎宁酸含量越低的趋势。

关键词:甜橙; 果实品质; 有机酸组分

Analysis of Fruit Quality and Acid Constituents of Three Bred Cultivars Selected from Jiangjin Sweet Orange

SUN Qi^{1,2}, XIE Rangjin^{2,3}, DENG Lie^{2,3}, YI Shilai^{2,3}, ZHENG Yongqiang^{2,3}, LÜ Qiang^{2,3}, HE Shaolan^{2,3,*}

(1. College of Horticulture and Landscape Architecture, Southwest University, Chongqing 400715, China;

2. Citrus Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Southwest University, Chongqing 400712, China;

3. National Engineering Technology Research Center for Citrus, Chongqing 400712, China)

Abstract: Three elite Jincheng varieties selected from Jiangjin sweet orange, including a low-acid (long-leaf), a normal-acid (Jincheng) and a high-acid (Daguo) cultivar, were used as materials to analyze the dynamic changes in fruit quality and organic acids including citric acid, quinic acid and malic acid in their juice after the expanding phase. Results showed that the size of fruit of three cultivars almost reached the maximum in late October and the total soluble solids (TSS) was gradually increased with a decrease in titratable acid (TA). Of three organic acids, citric acid was the most dominant. During fruit development, the content of citric acid gradually declined while malic acid showed the opposite trend; the content of quinic acid was greatly fluctuated as it was increased in the earlier stage and then decreased, and finally reached the maximum in the middle of November. At maturation, the fruit weight and the citric acid content of Jincheng were both in between 'Long-leaf' orange and 'Daguo' Jincheng orange, and its TSS content was highest. The fruit weight of Long-leaf was lowest (155.27 g), and the same was true for the TA (0.55%) and the citric acid content (6.95 mg/g); on the contrary, the fruit weight (311.92 g), TA (titratable acidity) (1.02%) and citric acid content (11.72 mg/g) of 'Daguo' Jincheng orange were highest among three cultivars. These data showed a tendency that the higher TA was, the higher citric acid content and the lower quinic acid content occurred.

Key words: sweet orange; fruit quality; organic acid components

中图分类号: S666.4

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2015)06-0124-06

doi:10.7506/spkx1002-6630-201506023

长江上中游的重庆沿江地区是我国橙汁加工产业重要基地, 但由于缺乏系统科学的评价, 目前可用于橙汁

加工的配套品种较少。锦橙(*Citrus sinensis* Linn. Osbeck cv. Jincheng)又名鹅蛋柑或S-26号, 1939年从重庆江津

收稿日期: 2014-08-13

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863计划)项目(2012AA101904);

重庆市121示范工程项目(cstc2014zktjccx B0070); 重庆市应用开发计划项目(cstc2013yykf B0005)

作者简介: 孙琦(1990—), 女, 硕士研究生, 研究方向为柑橘生理与分子生物学。E-mail: bluemh77@163.com

*通信作者: 何绍兰(1958—), 女, 副研究员, 学士, 研究方向为柑橘生理、栽培技术及信息化。E-mail: hesholan@cric.cn

的地方实生甜橙群体中选育而出^[1],是鲜食加工兼宜的优良品种,在三峡库区作为中熟汁用原料品种大量栽培。但不同市场对橙汁风味的需求不尽相同,我国及东南亚地区喜爱风味偏甜的产品,而西方国家市场则对果酸味较浓的橙汁产品更为青睐。为满足目标市场的不同需求,除大力发展锦橙等品种外,还需配套其他具有良好的不同加工性能的品种。从锦橙原产地的地方实生甜橙群体中选育出的比锦橙酸度更高的大果锦橙和酸度更低的长叶橙^[2],则为优质橙汁加工的风味调节型品种配套提供了良好基础。同时由于锦橙、长叶橙和大果锦橙在果实大小、形状等外观性状和果汁酸度与固酸比等内质性状上存在明显的变异,也是研究甜橙果实体积和酸度等品质性状遗传变异的理想材料。

橙汁是国际市场竞争十分激烈的水果加工饮料产品之一,而加工原料果实品质的优劣将成为影响橙汁质量、价格和市场认可度的一个重要因素。柑橘类果实品质包括外观质量即果形、果实大小、果皮色泽等,以及内在品质即可溶性固形物、可滴定酸、固酸比等重要指标。果实有机酸是果实味觉和风味品质的重要组成部分^[3],其组分和含量极大影响着果实及其果汁加工产品的风味品质^[4-5],因此一直是柑橘果实品质形成研究的热点。前人对橙汁加工品种果实成熟期的综合品质进行了较多研究^[6-8],但对果实发育过程中有机酸组分与含量变化,特别是有关同源而不同酸度变异品种之间的果实酸代谢^[9]和外观内质发育特征的研究报道较少。本实验以锦橙、大果锦橙和长叶橙为试材,系统测定分析了果实膨大后期至成熟阶段的重要品质指标和有机酸组分的变化动态,旨在了解这些品种的果实品质发育规律,为汁用甜橙品种品质的系统评价及柑橘良种创新应用和优质化栽培提供依据。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与试剂

供试品种为中国农业科学院柑桔研究所试验园的10 a生长叶橙(*Citrus sinensis* cv. Changyecheng)、锦橙(*C. sinensis* cv. Jincheng)和大果锦橙(*C. sinensis* cv. Daguojincheng),砧木均为卡里佐枳橙[*C. sinensis* Osbeck × *Poncirus trifoliata* (L.) Raf.]。每个品种各随机选择生长良好、树势基本一致的植株6株。从9月份开始,每15 d采集果实样品一次,每次随机采集供试单株树冠外围中上部果实样品20个,即刻带回实验室,将果实洗净擦干,待用。

柠檬酸、苹果酸、奎宁酸标准品(均为色谱纯)美国Sigma公司;其他试剂为实验室常用分析纯试剂。

1.2 仪器与设备

MP3002电子天平 上海舜宇恒平科学仪器有限公

司; Absolute Digimatic Caliper500-196游标卡尺(最小量度0.01 mm) 日本Mitutoyo公司; PAL-1型手持数显折射计 日本Atago公司; FE20 pH计 梅特勒-托利多(上海)有限公司; e2695高效液相色谱仪(配有2424型蒸发光散射检测器) 美国Waters公司; Discovery C₁₈液相色谱柱(250 mm×4.6 mm, 5 μm) 美国Sigma公司。

1.3 方法

1.3.1 单果质量的测定

用电子天平(精确到0.01 g)称量样品果实质量,3次生物学重复,取其平均值。

1.3.2 果实大小测定

用游标卡尺(精确到0.01 cm)测量样品果实的纵径和横径,3次生物学重复,取其平均值。

1.3.3 有机酸组分测定

对每个时期采集的样品,随机抽取果实5个,用榨汁机榨取汁液,充分混合汁液后用纱布过滤,取其上清液,借鉴前人方法加以修改^[10-12],采用高效液相色谱(high performance liquid chromatography, HPLC)法测定果实有机酸组分:准确称取果汁样品5 g,加入5~10 mL体积分数80%乙醇,35℃水浴20 min,然后4 000 r/min离心15 min,收集上清液,重复提取3次。将上述3次所获得的上清液合并,用体积分数80%乙醇定容至25 mL。摇匀后取1 mL溶液于1.5 mL离心管中,在4℃条件下12 000 r/min离心15 min,获得的上清液经0.45 μm抽滤纸过滤后,装至棕色液相进样瓶中,用于分析。流动相为50 mmol/L磷酸氢二钠缓冲溶液,用磷酸调节pH值至2.4,流速0.8 mL/min,柱温35℃,进样量10 μL。3次生物学重复。

1.3.4 可滴定酸(titratable acid, TA)测定

参照GB/T 8210—2011《柑桔鲜果检验方法》^[13]进行,3次生物学重复。

1.3.5 果实可溶性固形物(total soluble solids, TSS)与pH值测定

TSS由数字式折射仪测定,pH值由pH计测定。重复3次。

1.4 数据分析

采用Microsoft Excel和SPSS软件进行数据统计分析。

2 结果与分析

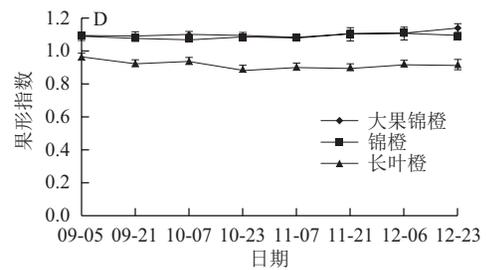
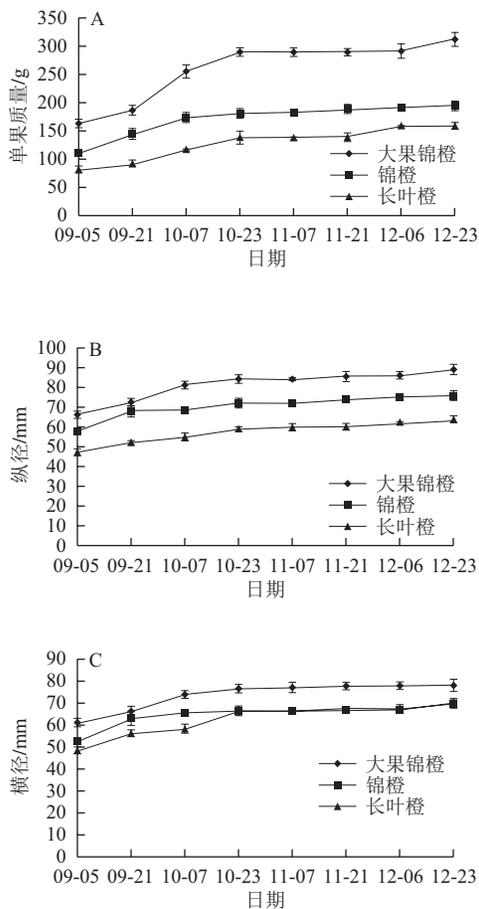
2.1 果实外观

通常情况下9月初开始为锦橙等甜橙果实第3次膨大即膨大后期^[14]。从图1A可看出,进入第3次膨大期果实质量增长较快,10月初锦橙和长叶橙果实质量达一定值后增长幅度趋于平缓,而大果锦橙在10月初至10月下旬仍有一次明显的质量增长过程,使品种间单果质量的差异

更为明显。从9月初至12月下旬,长叶橙果实质量增加最缓慢,锦橙次之,大果锦橙增长最快,尤其是10月下旬出现的跃变期,显著拉大了与其他2个品种的单果质量差异。长叶橙和锦橙果实质量在12月初达最大值时,大果锦橙又出现一个单果质量明显增加的过程。该结果最终导致长叶橙果实质量稍小于锦橙,大果锦橙单果质量远大于锦橙。

3个品种果实纵横径的变化与其果实质量的变化趋势相似(图1B、C),果实横径与纵径均以大果锦橙最大。锦橙、长叶橙和大果锦橙果实纵径、横径的增长均比较缓慢,且趋势相同,表明3个品种果实的大小在10月上中旬基本定型。值得注意的是,初期锦橙横径大于长叶橙,但随着生长发育,2个品种的横径达到相同水平(图1C),但果实纵径一直表现为长叶橙最小、大果锦橙最大,最终结果为大果锦橙的果型和单果质量均显著大于其他2个品种,而长叶橙果型和单果质量最小。

在此发育过程中,3个品种果实的果形指数(纵径/横径)变化较小(图1D),长叶橙的果形指数小于1,其果型为扁圆形;锦橙和大果锦橙的果形指数均大于1,为椭圆形。



A. 果实质量; B. 果实纵径; C. 果实横径; D. 果形指数。

图1 果实外观变化动态

Fig.1 Changes in fruit external quality

2.2 果实内质

柑橘果实TA含量、TSS含量、固酸比和有机酸组分及含量等是影响果实内在品质的重要参数,本实验对这些参数的动态变化进行测试分析,以了解长叶橙、锦橙和大果锦橙果实内部品质的形成。

2.2.1 果汁pH值与TA含量的变化

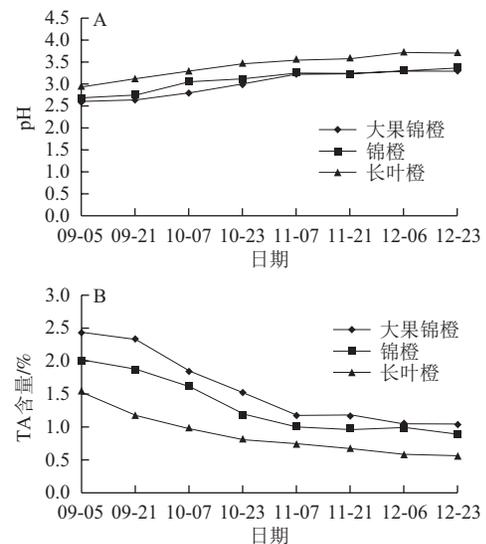


图2 果汁pH值(A)、TA含量(B)变化

Fig.2 Changes in pH and TA values in fruit juice

在果实膨大至成熟期,长叶橙、锦橙和大果锦橙的果汁pH值逐渐增加(图2A),变化趋势基本一致,长叶橙的pH值始终高于其他2个品种;而3个品种果汁中总TA含量变化与pH值变化趋势相反(图2B),长叶橙果汁TA含量一直显著低于其他2个品种,大果锦橙则一直处于最高水平。表明长叶橙酸度最低,大果锦橙酸度最高。此外,果汁酸度在10月中旬以前快速下降,此后下降幅度趋缓。9月初,大果锦橙的果汁TA含量比锦橙高19.0%,长叶橙TA含量比锦橙低23.8%,在此后的发育过程中,尽管三者的TA含量均显著下降,但大果锦橙与锦橙的差距最终缩小至15.9%,长叶橙与锦橙的差距扩大至37.5%。此结果表明,3个品种的果汁TA含量差异可能源于此前果实细胞分裂期的有机酸代谢水平的不同,而长

叶橙保持明显的持续下降趋势可能进一步加大了几个品种间TA含量的差距。

2.2.2 TSS含量和固酸比的变化

随着果实发育,长叶橙、锦橙和大果锦橙果实可溶性固形物含量一直呈上升趋势(图3A),但品种之间差异明显。长叶橙TSS含量从9月初的9.22%上升至12月下旬的10.07%,增长9.21%;锦橙TSS含量则从7.83%上升到10.83%,增长38.31%;大果锦橙TSS含量从7.20%升至10.13%,增长40.69%。至12月下旬,3个品种果实TSS含量上升幅度为锦橙>大果锦橙>长叶橙,但大果锦橙和长叶橙TSS含量没有明显差异。由于果实有机酸含量差异较大,因此3个品种的风味指标固酸比有较大差异,固酸比大小依次是为长叶橙>锦橙>大果锦橙(图3B)。就口感风味而言,长叶橙含酸量偏低,固酸比达18以上,风味偏甜;锦橙TSS含量较高且TA含量已降至0.88%,固酸比达12以上,风味浓郁;大果锦橙固酸比尚不足10,风味偏酸。

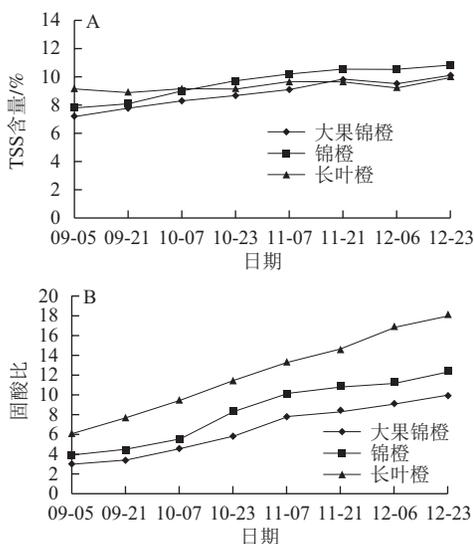


图3 TSS (A) 和固酸比 (B) 变化
Fig.3 Changes in TSS values

2.2.3 有机酸组分测定及含量变化

2.2.3.1 标准工作曲线的建立

准确称取一定质量的柠檬酸、奎宁酸和苹果酸标准品,根据实验需要配制标准工作液和混合标准工作液,HPLC测定分析后,以进样量为横坐标、峰面积为纵坐标进行线性回归,计算得到标准曲线方程和相关系数,见表1。

表1 3种有机酸的标准曲线方程及相关系数

Table 1 Regression equations of three organic acids and their correlation coefficients

有机酸	线性关系	相关系数 (R ²)
柠檬酸	y=678 882.2x+134 341.7	0.999 4
奎宁酸	y=488 988.3x+25 608.6	0.997 6
苹果酸	y=656 189.8x+34 225.4	0.998 6

2.2.3.2 果汁中有机酸含量变化

为了解3个同源变异品种的有机酸组分代谢差异,通过HPLC分离和测定3个供试品种果汁的柠檬酸、奎宁酸、苹果酸等主要有有机酸组分含量及其变化动态。3种有机酸标准溶液色谱图与果汁样品溶液色谱图如图4所示。

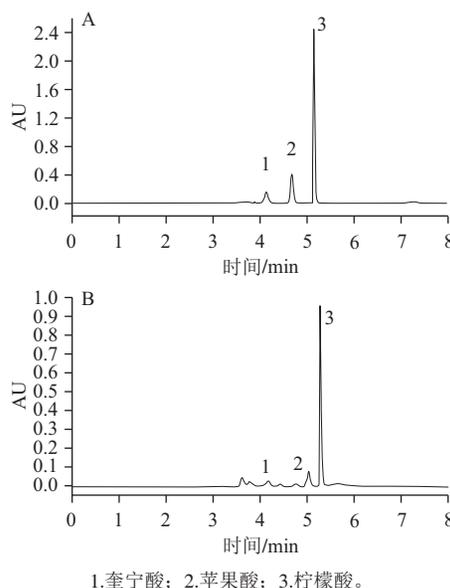


图4 有机酸混合标样(A)、果汁样品(B)的高效液相色谱图
Fig.4 HPLC chromatograms of organic acid standards and organic acids present in fruit samples

3个品种主要有有机酸含量分析结果如表2所示,长叶橙、锦橙和大果锦橙其柠檬酸含量分别占总有机酸含量的64.27%、73.52%和75.86%。可见,柠檬酸是3个品种果汁中的主要有有机酸成分,而有机酸组分中的柠檬酸几乎决定着果实的酸度。

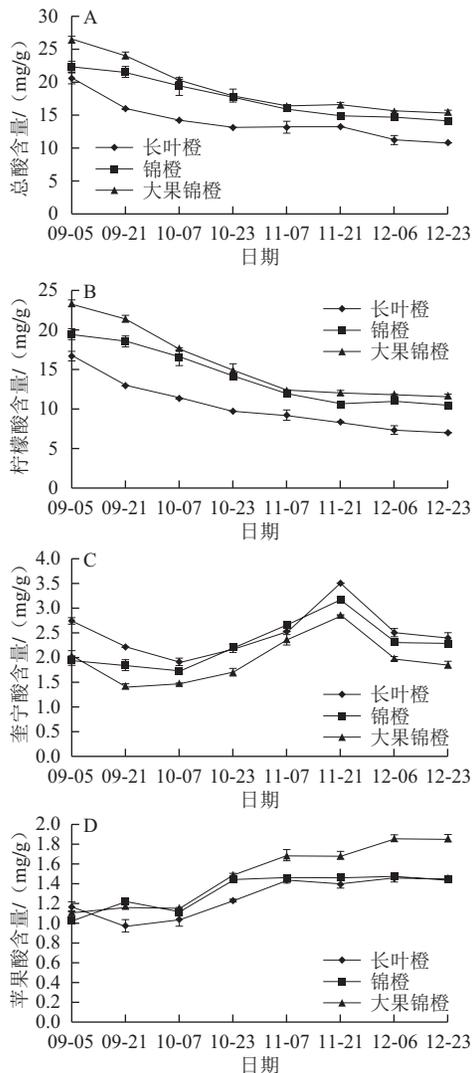
表2 3个品种果汁有机酸组分及含量

Table 2 Organic acid composition and content in fruit juice of three citrus cultivars in late December

品种	总有机酸含量/(mg/g)	柠檬酸		奎宁酸		苹果酸	
		含量/(mg/g)	占总有机酸含量/%	含量/(mg/g)	占总有机酸含量/%	含量/(mg/g)	占总有机酸含量/%
长叶橙	10.81	6.95	64.27	2.41	22.25	1.46	13.48
锦橙	14.10	10.36	73.52	2.29	16.25	1.44	10.23
大果锦橙	15.44	11.72	75.86	1.87	12.12	1.86	12.03

在果实膨大至成熟过程中,3个品种果汁中的总有机酸含量均呈下降趋势,9—11月下降迅速,之后趋于缓慢,与TA含量变化趋势相似(图5A),且与TA含量变化趋势吻合。果汁中柠檬酸含量的下降与总有机酸和TA含量的变化动态基本一致(图5B),呈逐渐下降趋势:长叶橙果实柠檬酸含量从16.60 mg/g降低到6.95 mg/g,锦橙柠檬酸含量从19.33 mg/g降低到10.36 mg/g,大果锦橙柠檬酸含量从23.28 mg/g降低到11.72 mg/g。大果锦橙柠檬酸含量始终高于其他2个品种,而长叶橙柠檬酸含量一直

处于较低水平。3个品种果肉奎宁酸与苹果酸含量均明显低于柠檬酸,苹果酸含量总体呈上升趋势;奎宁酸含量则呈先下降后上升再下降的趋势,最大值出现在11月中旬。大果锦橙中奎宁酸含量较低,而柠檬酸和苹果酸含量始终处于3个品种的最高水平。



A.总酸含量; B.柠檬酸含量; C.奎宁酸含量; D.苹果酸含量。

图5 果汁中主要有机酸组分含量变化

Fig.5 Changes in organic acids and their contents in fruit juice

3 讨论与结论

通常情况下,甜橙果实第3次膨大始于8月下旬或9月上旬,此次膨大过程中砂囊体积增长,糖类和矿质盐类等固形物的逐步积累^[14],是果实风味品质形成的重要时期。因此本实验从9月上旬开始,对供试品种果实外观和内质等重要参数进行了动态测试分析。在果实生长发育过程中,3个甜橙品种果实各项品质指标具有明显差异,但变化趋势基本一致。

果实TSS含量是影响果实品质的重要因素^[15],通过对3个品种果实TSS含量动态测定分析可以看出,3个品种果汁中TSS含量都呈增加趋势,这与顾健芹^[16]对暗柳橙的研究结果一致。果实成熟期TSS含量在10%~11%之间,较其他有关报道结果略低,推测可能与柑橘品种、立地条件、生态因子等有关。本实验结果显示,锦橙TSS含量最高,其余2个品种果实TSS含量亦达到一级果的质量要求;但大果锦橙由于12月下旬时TA含量仍然偏高,导致固酸比偏低而未达到汁用甜橙要求^[17]。因此需要实施针对性的技术方案,如增施有机肥、延迟采收等以提高果实TSS含量和固酸比值,从而保证其符合优质橙汁加工的需求。

果实中含有大量的有机酸使果实产生了酸度,果实酸度是果实品质和风味形成的重要条件^[18]。果实所含有机酸组分与含量的差异使不同品种的果实各具独特风味^[19]。不同树种或不同品种果实有机酸组分和含量存在一定差异^[20],如苹果、枇杷、梨、杏等属于苹果酸型果实,果实中有机酸组分主要为苹果酸^[21-22];而柑橘属于柠檬酸型果实^[19],果实中酸组分以柠檬酸为主^[23]。本实验采用HPLC法测定了3个甜橙品种果汁中主要有机酸组分及含量。结果表明,柠檬酸是长叶橙、锦橙和大果锦橙果汁中的主要酸组分,分别占总有机酸含量的64.27%、73.52%和75.86%,与李云康^[24]对锦橙柠檬酸含量的分析结果一致。随着果实的发育,柠檬酸含量逐渐降低,而苹果酸含量呈相反的变化趋势,奎宁酸则呈先下降后上升再下降的趋势,最大值出现在11月中旬。总体上呈酸度越高,柠檬酸含量越高,奎宁酸含量越低的趋势。柠檬酸占有有机酸中的比例及含量受品种、生长发育时期、栽培技术和环境等因素的综合影响,相同品种在不同的栽培条件下,成熟果实中柠檬酸含量亦有很大差异。

我国柑橘品种资源丰富,优良品种繁多。本实验通过对3个供试品种果实外观品质和TSS、TA、固酸比、有机酸组分及含量等内在品质的分析比较,进一步表明锦橙是优良的橙汁加工品种,综合加工性能良好,风味浓郁,可以满足大多市场的需求。同时还表明长叶橙具有良好的加工适应性,特别是其风味偏甜,可以用于非浓缩复原(not from concentrate, NFC)橙汁加工过程中的风味降酸调配。在重庆地区,锦橙、长叶橙和大果锦橙大多在12月采收,而本实验结果表明,12月下旬并非大果锦橙的优质采收期,但可满足欧洲等市场对风味偏酸的NFC橙汁的需要,可用于加工部分高酸橙汁以调配原汁;亦可通过采取其他栽培技术调控其酸度进一步降低后用于NFC橙汁的加工。

参考文献:

- [1] 李学优,郭树民.锦橙的选种经过[J].中国南方果树,1989,11(2):1.
- [2] 肖江.甜橙新品种:长叶橙[J].植物杂志,1985,12(5):45.

- [3] 张上隆, 陈昆松. 果实品质形成与调控的分子生理[M]. 北京: 中国农业出版社, 2007: 67-99.
- [4] LOBIT P, GENARD M, WU B H, et al. Modelling citrate metabolism in fruits: responses to growth and temperature[J]. *Journal of Experimental Botany*, 2003, 54: 2489-2501.
- [5] 张海英, 韩涛, 许丽, 等. 果实的风味构成及其调控[J]. *食品科学*, 2008, 29(4): 464-469.
- [6] 米兰芳. 橙汁加工品种综合品质分析与评价[D]. 武汉: 华中农业大学, 2009: 26-43.
- [7] 何绍兰, 邓烈, 江东, 等. 三峡库区橙汁加工品种的筛选与配套研究[J]. *亚热带植物科学*, 2007, 36(1): 10-12; 16.
- [8] 李庆, 蒲彪, 刘元鹏. 四川四种不同品种锦橙的品质分析[J]. *四川食品与发酵*, 2007, 43(1): 59-61.
- [9] ALBERTINI M, CARCOUET E, PAILLY O, et al. Changes in organic acids and sugars during early stages of development of acidic and acidless citrus fruit[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2006, 54(21): 8335-8339.
- [10] 郭燕, 梁俊, 李敏敏, 等. 高效液相色谱法测定苹果果实中的有机酸[J]. *食品科学*, 2012, 33(2): 227-230.
- [11] 胡小露, 刘卉, 鲁宁, 等. HPLC法同时测定蓝莓汁及其发酵酒中9种有机酸[J]. *食品科学*, 2012, 33(16): 229-232.
- [12] 陆敏, 张绍岩, 张文娜, 等. 高效液相色谱法测定沙棘汁中7种有机酸[J]. *食品科学*, 2012, 33(14): 235-237.
- [13] 王湛军, 李伟丰, 李树庆, 等. GB/T 8210—2011 柑桔鲜果检验方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2011.
- [14] 何天富. 柑橘学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999: 142-144.
- [15] 秦巧平, 张上隆, 谢鸣, 等. 果实糖含量及成分调控的分子生物学研究进展[J]. *果树学报*, 2005, 22(5): 519-525.
- [16] 顾建芹. 暗柳橙及其突变体红暗柳橙果实发育过程中糖酸组分的变化[D]. 武汉: 华中农业大学, 2007: 17-18.
- [17] 邓烈, 何绍兰, 雷霆, 等. NY/T 2276—2012 制汁甜橙[S]. 北京: 中国农业出版社, 2012.
- [18] ESTI M, CINQUANTA L, SINESIO F, et al. Physicochemical and sensory fruit characteristics of two sweet cherry cultivars after cool storage[J]. *Food Chemistry*, 2002, 76(4): 399-405.
- [19] 陈发兴, 刘星辉, 陈立松. 果实有机酸代谢研究进展[J]. *果树学报*, 2005, 22(5): 526-531.
- [20] 龚荣高, 吕秀兰, 张光伦, 等. 脐橙果实发育过程中有机酸代谢相关酶的研究[J]. *四川农业大学学报*, 2006, 24(4): 402-404.
- [21] ETIENNE A, GENARD M, LOBIT P, et al. What controls fleshy fruit acidity? A review of malate and citrate accumulation in fruit cells[J]. *Journal of Experimental Botany*, 2013, 64(6): 1451-1469.
- [22] YAMAKI Y T. Effect of lead arsenate on citrate synthase activity in fruit pulp of Satsuma mandarin[J]. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 1990, 58: 899-905.
- [23] YAMAKI Y T. Organic acids in the juice of citrus fruits[J]. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 1989, 58: 587-594.
- [24] 李云康. 柑橘特征糖酸组成及其与果汁褐变关系研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2006: 31-32.