

12份引进油梨品种果肉有机酸组分 和抗坏血酸含量分析

魏永赞^{1,2}, 王一承^{1,2,3}, 刘丽琴^{1,2}, 舒波^{1,2}, 谢江辉^{1,2,3}, 李伟才^{1,2}, 石胜友^{1,2,3*}

(¹中国热带农业科学院亚热带作物研究所, 广东湛江 524091; ²农业部热带果树生物学重点实验室, 广东湛江 524091; ³国家热带果树种质资源圃, 广东湛江 524091)

摘要:【目的】分析和比较不同油梨引进品种果肉有机酸组分和还原型抗坏血酸(维生素C)含量特征,为引进油梨品种的评价、筛选及新品种的选育提供参考依据。【方法】用高效液相色谱(HPLC)法对12份引进油梨品种果肉中的有机酸组分和维生素C含量进行测定分析。【结果】油梨果肉中可检测到酒石酸、苹果酸、马来酸、柠檬酸和富马酸5种有机酸组分,其含量由高到低为:苹果酸>柠檬酸>富马酸>酒石酸>马来酸;不同品种间单一有机酸组分的含量差异显著,而不同品种间的有机酸总量变化幅度相对较小;油梨果肉有机酸含量与苹果酸含量呈极显著正相关;总酸含量与维生素C含量呈极显著正相关,与苹果酸含量呈显著正相关;12份油梨资源中,‘洛雷塔’果肉中有机酸及单一组分苹果酸、富马酸和酒石酸的含量均为最高,‘布鲁克斯晚’中维生素C含量最高。【结论】油梨属苹果酸优势型果实,果肉中总酸含量与苹果酸和维生素C含量密切相关。

关键词: 油梨; 有机酸; 维生素C; 苹果酸

中图分类号: S667.9

文献标志码: A

文章编号: 1009-9980(2018)02-0177-08

Analysis on the composition and content of organic acids and vitamin C in avocado flesh of twelve introduced cultivars

WEI Yongzan^{1,2}, WANG Yicheng^{1,2,3}, LIU Liqin^{1,2}, SHU Bo^{1,2}, XIE Jianghui^{1,2,3}, LI Weicai^{1,2}, SHI Shengyou^{1,2,3*}

(¹South Subtropical Crops Research Institute, CATAS, Zhanjiang 524091, Guangdong, China; ²Key Laboratory of Ministry of Agriculture for Tropical Fruit Biology, Zhanjiang 524091, Guangdong, China; ³National Field Genebank for Fruits, Zhanjiang 524019, Guangdong, China)

Abstract: 【Objective】 Avocado (*Persea americana* Mill.) is an important evergreen fruit crop grown in several countries with tropical and subtropical climates. Total world production was more than 4 million tons in 2011, with 70% of the production coming from countries including Mexico, Chile, Dominican Republic, Indonesia, Colombia, Peru, USA and Guatemala. Avocado was introduced to China at the beginning of 20th century, and is now widely planted in provinces in south China, such as Hainan, Guangxi, Guangdong, Guizhou and Yunnan. The demand for avocado has been increasing year after year, but there are limited germplasm resources and production in China. Therefore, it is important and urgent to evaluate and utilize introduced avocado cultivars to develop an avocado industry in our country. Organic acids are one of main factors affecting the quality of fruits. Organic acids are important fruit metabolites associated with photosynthesis, respiration, and the metabolisms of phenolic compounds, amino acids, esters and aromatic compounds. The objective of the study is to analyze the composition and contents of organic acids in

收稿日期: 2017-05-31 接受日期: 2017-10-27

基金项目: 广东省省级科技计划(2016A020208002); 国家农作物种质资源平台(NICGR2017-95); 物种资源保护(农作物)项目(2017NWB053)

作者简介: 魏永赞, 男, 助理研究员, 研究方向为热带果树栽培生理与分子生物学。Tel: 0759-2859112, E-mail: wyz4626@163.com

*通信作者 Author for correspondence. Tel: 0759-2859112, E-mail: ssy7299@163.com

the flesh of twelve introduced avocado cultivars. The results will provide a reference for utilizing these cultivars and breeding new avocado varieties. 【Methods】The experiment was carried out in National Germplasm Resources Nursery of Tropical Fruits in South Subtropical Crops Research Institute (Zhanjiang, Guangdong). The area has a tropical oceanic monsoon climate, which is warm in winter and hot in summer, and generally humid and rainy, with a mean daily temperature of 22.8 °C to 23.2 °C, an average daily relative humidity of 80%, and a total yearly rainfall of 1 100 mm to 1 800 mm. The avocado trees were grafted onto the seedling-plant rootstock, planted 5 m×5 m apart, drip irrigated, and fertilized as required. The twelve avocado cultivars introduced from USA included ‘Beta’ ‘Dupuis’ ‘Tonnie’ ‘Tonnage’ ‘Simmonds’ ‘Miguel’ ‘Brooks late’ ‘Lula’ ‘Monroe’ ‘Loretta’ ‘Wilson seedless’ and ‘Peterson’. Three healthy trees of each variety were randomly selected, and five mature fruit collected uniformly from the canopy of each tree were studied. Extraction of organic acids was conducted using the method of Nispems-Carriedo et al. (1992) and Hu et al. (2005). HPLC analyses were carried out using LC-20A (Shimadzu) with VWD ultraviolet detector. Chromatographic separation was carried out using a C18 column (250 mm×4.6 mm). The mobile phase was 2 g·L⁻¹ metaphosphoric acid at a flow rate of 1.0 mL·min⁻¹. 【Results】(1) Six organic acids, including tartaric acid, malic acid, maleic acid, citric acid and fumaric acid and ascorbic acid were detected in the flesh of the twelve avocado cultivars, and their retention time was 5.41, 6.97, 12.20, 14.36, 15.63 and 7.99 min, respectively. (2) The range and mean content of organic acids were 1.39–3.80 mg·g⁻¹ and 2.32 mg·g⁻¹, respectively. The proportion and content of each organic acid had significantly differences among the cultivars. The median values of organic acid contents from high to low were 1.60 mg·g⁻¹ (malic acid), 0.48 mg·g⁻¹ (citric acid), 0.14 mg·g⁻¹ (fumaric acid), 0.06 mg·g⁻¹ (tartaric acid) and 3.20 μg·g⁻¹ (maleic acid). Meanwhile, the orders of mean and 5% trimmed mean of the five components were in consistent with their median. (3) The range of the content of ascorbic acid was 0.10–3.07 mg·g⁻¹ and the values of range and interquartile range (IQR) were 2.98 and 1.02, respectively. The results showed that the content of ascorbic acid was significantly different among the twelve avocado cultivars. (4) The range of total acid content was 2.71–3.43 mg·g⁻¹, and the values of median, range and IQR were 3.07, 3.29 and 1.91, respectively. (5) In avocado flesh, the content of organic acid was significantly positively correlated with the contents of malic acid ($P < 0.01$). Total acid content was significantly positively correlated with that of ascorbic acid and with malic acid. Among the twelve avocado cultivars, the contents of organic acids, malic acid, fumaric acid, and tartaric acid of ‘Loretta’ were highest. However, the ascorbic acid content of ‘Brooks late’ was highest in the twelve cultivars. 【Conclusion】The organic acid contents in avocado flesh are significantly different among cultivars. Malic acid is the most abundant organic acid, followed in descending order by fumaric acid, citric acid, maleic acid and tartaric acid in avocado flesh. The content of organic acid is thus mainly determined by the content of malic acid. In addition, the content of ascorbic acid in avocado flesh differs greatly among cultivars.

Key words: Avocado; Organic acid; Vitamin C; Malic acid

果实中有机酸的组分和含量是决定果实品质和风味形成的重要因素^[1-2]。有机酸能够稳定细胞液中的pH值,参与光合作用、呼吸作用以及酚类、氨基酸、酯类和芳香类物质的合成等代谢过程^[1]。通常,

果实发育初期有机酸含量随着果实的生长发育逐渐积累,到了果实发育后期至成熟这一阶段,有机酸因参与三羧酸循环(TCA)、糖酵解及糖原异生等代谢过程而降低^[3]。果实有机酸的代谢过程极为复杂,果

实组织中有机酸代谢的发生和进程通过改变有机酸的含量和组分来影响果实品质,因此果实有机酸的代谢与调控受到国内外研究者的广泛关注。迄今,研究者已使用高效液相色谱法(HPLC)对葡萄^[4]、脐橙^[5]、梨^[6]、桃^[7]、苹果^[8]、荔枝^[9]、枇杷^[10]、菠萝^[11]、杧果^[12]和菠萝蜜^[13]等果树作物果实中的有机酸种类和含量进行了分析评价。

油梨(*Persea americana* Mill.)别名牛油果、鳄梨,是一种原产于中美洲地区的著名热带亚热带水果^[14-15],其果实富含不饱和脂肪酸、蛋白质、矿物质和多种维生素,具有极高的营养、药用和经济价值^[16-17]。近年来,油梨凭借其独特的风味和保健功能,越来越受到消费者的关注和青睐,目前已在全球40多个国家和地区栽培,70%的产量集中在墨西哥、智利、多米尼加、印度尼西亚、哥伦比亚、秘鲁、美国、危地马拉等少数几个国家^[15,18]。油梨于20世纪初引入我国,目前在海南、广西、广东、贵州、云南等地均有少量栽培,近年来,栽培面积呈逐年递增趋势,但目前我国油梨资源相对匮乏,研究基础比较薄弱^[19-20]。因此,油梨的引种、资源评价和新品种选育工作就显得尤为迫切。在此形势下,中国热带农业科学院南亚热带作物研究所依托国家热带果树种质资源圃先后从美国等地收集到优质油梨资源30余份,对这些资源的评价和利用就成为当务之急,而果实品质直接决定了油梨资源开发和利用的前景。果实有机酸是果实品质和风味形成的重要指标,因此,笔者拟采用高效液相色谱(HPLC)法对12份引进油梨种质的有机酸含量进行测定和分析,以明确油梨果肉中有机酸组分和维生素C含量特征,旨在为引进油梨资源的评价利用、品质改良和新品种选育提供参考。

1 材料和方法

1.1 材料与处理

试验在中国热带农业科学院南亚热带作物研究所(广东湛江)国家热带果树种质资源圃(21°10'2" N, 110°16'34" E)进行,对从国外引进并稳定开花结果的12份油梨资源的有机酸组分和维生素C含量进行测定。供选的12个油梨品种为:‘贝塔’(‘Beta’)、‘迪普伊’(‘Dupuis’)、‘唐尼’(‘Tonnie’)、‘唐纳基’(‘Tonnage’)、‘西蒙兹’(‘Simmonds’)、‘米格尔’(‘Miguel’)、‘布鲁克斯晚’(‘Brooks late’)、‘卢拉’

(‘Lula’)、‘门罗’(‘Monroe’)、‘洛雷塔’(‘Loretta’)、‘威尔逊无核’(‘Wilson seedless’)和‘彼得森’(‘Peterson’)。采样时间依每个油梨品种的果实生理成熟期而定(2015年9—10月)。试验每个品种选取3个单株,每个单株取不同位置分布的5个果实,取果肉后置于-20℃保存。称取每个单株5个果实等量的果肉样品,液氮条件下粉碎混匀,用于有机酸和维生素C含量的测定。

1.2 油梨果实有机酸和维生素C的提取

有机酸的提取参照Nisperos-Carriedo等^[21]和胡志群等^[9]的方法。具体步骤:准确称取供试油梨果肉样品1.0 g,加5 mL偏磷酸(2 g·L⁻¹)冰浴研磨,10 000 g离心15 min,取上清液;残渣用4 mL偏磷酸提取液充分洗涤后离心,取上清液;合并上清液,用偏磷酸提取液定容至10 mL。振荡混匀后,取1 mL样品,经0.45 μm滤膜过滤后,待测。

1.3 油梨果实有机酸和维生素C含量测定

有机酸及抗坏血酸含量的测定使用高效液相色谱(HPLC)法^[9,12]。仪器选用岛津LC-20A,配有VWD紫外检测器,色谱柱为C18柱(250 mm×4.6 mm),流动相为偏磷酸(2 g·L⁻¹),流速1 mL·min⁻¹,柱温35℃,进样量10 μL,每个样品检测时间为30 min。所用偏磷酸为色谱级试剂,苹果酸、酒石酸、柠檬酸、马来酸、富马酸和抗坏血酸均为分析纯级试剂。

1.4 统计分析

线性回归分析和相关性分析等统计学分析使用SPSS 17.0(Statistics Product and Service Solution Inc)和Office 2007(Microsoft Inc)软件处理,作图使用SigmaPlot 12.0(Systat Software Inc)和Microsoft Office 2007等软件完成。

2 结果与分析

2.1 不同有机酸和维生素C标样的出峰时间和回归分析

通过HPLC法对不同油梨品种成熟期果肉的混合样品进行定性分析发现,在油梨果肉中可检测到酒石酸、苹果酸、马来酸、柠檬酸和富马酸5种有机酸组分,其保留时间分别为5.41、6.97、12.20、14.36和15.63 min(表1);抗坏血酸的保留时间为7.99 min。对酒石酸等标样进行定量分析和线性回归性分析的结果表明,各有机酸组分和抗坏血酸标样浓度与峰面积的相关系数 R^2 都大于0.99,说明各有机

表 1 有机酸和抗坏血酸标样的出峰时间和峰面积回归分析

Table 1 The retention time and regression analysis of organic acid and vitamin C standards

有机酸 Organic acid	保留时间 Retention time/min	回归方程 Regression equation	相关系数 R^2
酒石酸 Tartaric acid	5.41	$Y=7E-04X-0.849$	0.99
苹果酸 Malic acid	6.97	$Y=0.001X+3.329$	1.00
抗坏血酸 Vitamin C	7.99	$Y=0.001X+2.298$	0.99
马来酸 Maleic acid	12.20	$Y=0.001X+2.700$	1.00
柠檬酸 Citric acid	14.36	$Y=0.001X-0.771$	0.99
富马酸 Fumaric acid	15.63	$Y=1E-04X+1.418$	1.00

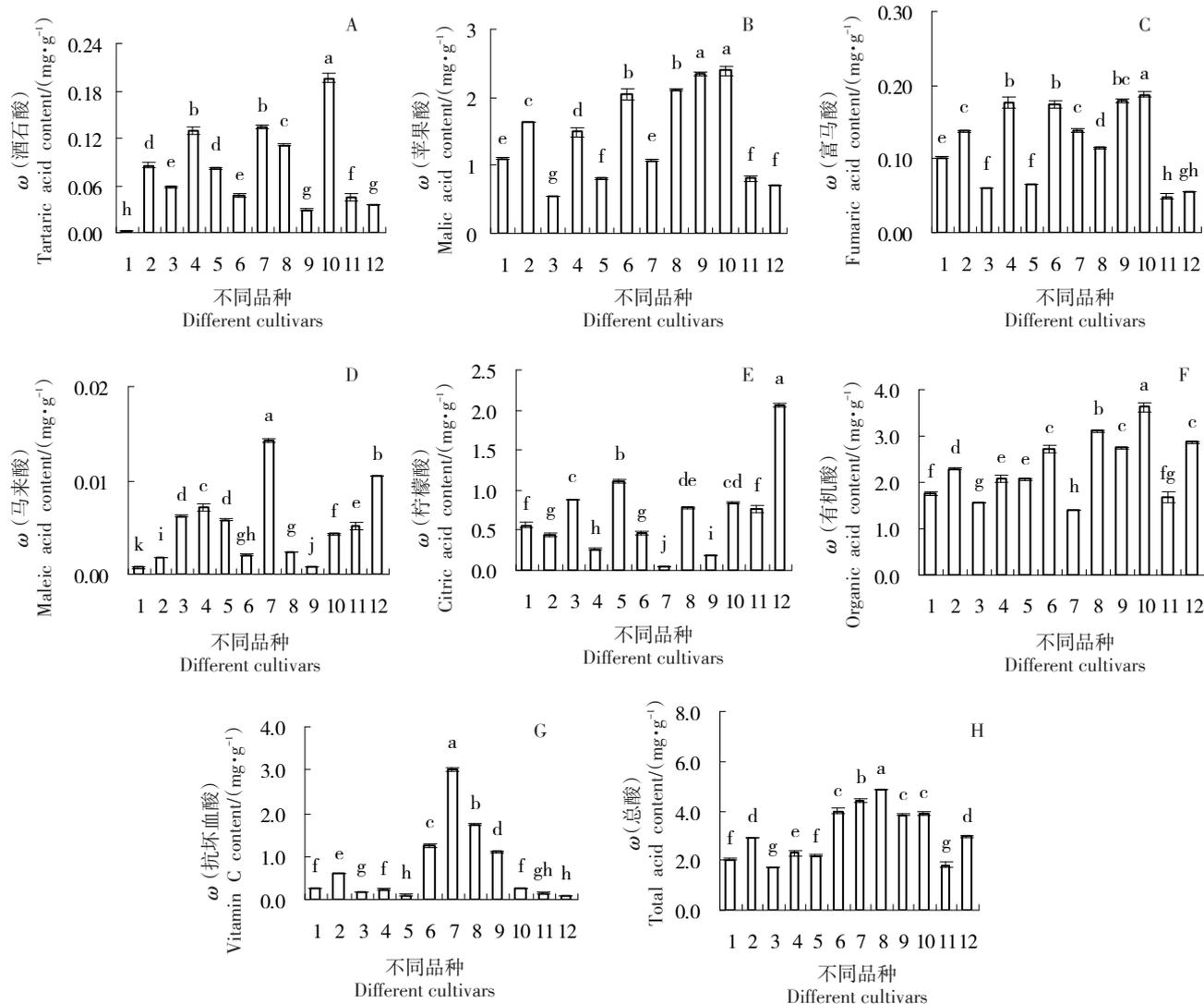
注:回归方程中 Y 为浓度($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$); X 为峰面积。

Note: Y : Molar concentration ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$); X : Peak area.

酸的峰面积和浓度存在显著的相关性,这保证了油梨果实有机酸和抗坏血酸含量数据的可靠性和有效性(表1)。

2.2 不同品种油梨果肉中各有有机酸组分的含量分析

在油梨果肉中检测到的5种有机酸中,酒石酸是出峰时间最早的有机酸组分(图1)。油梨果肉中酒石酸含量(ω ,后同)相对较低,且不同品种间的酒石酸含量差异较大;在12份油梨资源中,含量最高的是‘洛雷塔’,其值为 $0.20\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$;之后依次为‘布鲁克斯晚’‘唐纳基’和‘卢拉’,其含量均在 $0.10\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 左右;‘贝塔’中酒石酸的含量最低,只有 $2.00\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (图1-A)。



1.贝塔;2.迪普伊;3.唐尼;4.唐纳基;5.西蒙兹;6.米格尔;7.布鲁克斯晚;8.卢拉;9.门罗;10.洛雷塔;11.威尔逊无核;12.彼得森。不同小写字母表示在 $P < 0.05$ 水平上差异显著。下同。

1. Beta; 2. Dupuis; 3. Tonnie; 4. Tonnage; 5. Simmonds; 6. Miguel; 7. Brooks late; 8. Lula; 9. Monroe; 10. Loretta; 11. Wilson seedless; 12. Peterson. The different small letters mean significant difference at $P < 0.05$. The same below.

图 1 不同引进油梨品种果肉中有机酸含量分析

Fig. 1 The contents of organic acids in the flesh of different avocado cultivars

苹果酸和富马酸(反丁烯二酸)在油梨不同品种间的分布规律比较相似,品种间存在的差异也相对较小(图1-B~C)。在12个油梨品种中,‘洛雷塔’果肉中苹果酸和富马酸含量均显著高于其他油梨品种,‘唐尼’‘西蒙兹’‘威尔逊无核’和‘彼得森’则显著低于其他品种;除‘洛雷塔’品种外,‘门罗’‘卢拉’和‘米格尔’果肉中的苹果酸含量显著高于其他品种,而‘唐纳基’‘米格尔’和‘门罗’果肉中富马酸含量显著高于其他品种(图1-B~C)。

马来酸又称顺丁烯二酸,与富马酸互为几何异构体,但不如富马酸稳定。从图1-D可以看出,不同品种油梨果肉中马来酸含量存在显著差异;在12份油梨品种中,‘布鲁克斯晚’和‘彼得森’果肉中马来酸含量显著高于其他品种,其值分别为14.2和10.5 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$,而‘贝塔’和‘门罗’中马来酸含量最低,均在1.0 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 以下。

柠檬酸是成熟果实中主要的有机酸之一,也是影响果实风味的重要有机酸^[2]。在油梨果实中,不同品种间柠檬酸含量差异显著,其中油梨果肉中柠檬酸含量最高的2个品种是‘彼得森’和‘西蒙兹’,其值分别为2.06和1.12 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$;马来酸含量最低的品种是‘布鲁克斯晚’,其柠檬酸含量只有0.18 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$,是12份油梨资源中最低的(图1-E)。

此外,研究还对油梨果实中酒石酸、苹果酸、马来酸、柠檬酸和富马酸5种有机酸总量进行了分析,与单一有机酸组分的含量相比,有机酸总量的变化幅度相对稳定,为1.40~3.62 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$;在12份供试油

梨品种中,‘洛雷塔’果肉中有机酸含量最高,为3.62 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$,而有机酸含量最低的品种是‘布鲁克斯晚’,为1.40 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ (图1-F)。

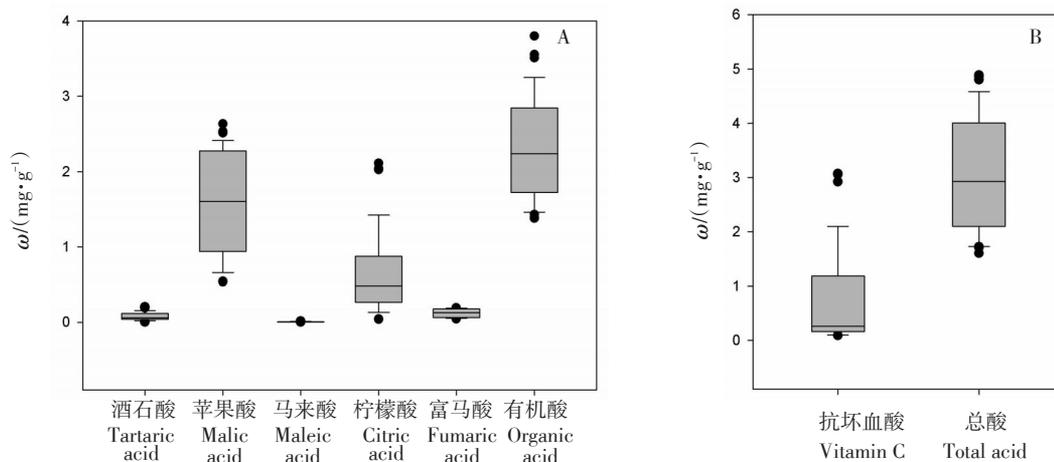
2.3 不同品种油梨果肉中维生素C和总酸含量分析

从图1-G可以看出,不同品种间油梨果肉中维生素C的含量差异显著。在12份油梨资源中,‘布鲁克斯晚’‘卢拉’‘米格尔’和‘门罗’果实中抗坏血酸含量显著高于其他品种,其值均在1.00 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 之上,‘布鲁克斯晚’果肉中抗坏血酸的含量最高,为3.02 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$;而‘彼得森’‘西蒙兹’‘威尔逊无核’和‘唐尼’果肉中抗坏血酸含量均低于0.20 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 。

从图1-H可以看出,在12份油梨资源中,‘卢拉’的总酸含量最高,达到4.85 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$;之后,依次是‘布鲁克斯晚’‘米格尔’‘洛雷塔’和‘门罗’,总酸含量分别为4.41、3.98、3.88和3.84 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$;而‘唐尼’和‘威尔逊无核’果肉中的总酸含量显著低于其他品种,其值均小于2.00 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 。

2.4 不同品种油梨果肉中有机酸组分、抗坏血酸和总酸含量的变化范围及分布

从12份油梨资源有机酸组分的盒形图(图2)分析结果可以看出,有机酸总量的分布范围为1.39~3.80 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$,各个品种有机酸含量的平均值为2.32 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$;除去离群值和极值,5个有机酸组分中中位数(median)由高到低依次为苹果酸(1.60 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)、柠檬酸(0.48 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)、富马酸(0.14 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)、酒石酸(0.06 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)和马来酸(3.20 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$),各有机酸组分



箱内黑色的水平带是油梨果实有机酸组分的中位数,箱高为四分位间距,箱体内部包括50%的数据。箱外侧的黑点表示离群值或极值。
The horizontal lines in the interior of the box are the median values of organic acid components of pear fruits. The height of the box is equal to the inter quartile distance, indicating the distribution for 50% of the data. The black dots outside the box represent the outliers or extreme values.

图2 油梨果实有机酸组分、抗坏血酸和总酸的变化范围及分布

Fig. 2 Range and distribution of organic acid components, vitamin C and total acids in avocado cultivars

的平均值(mean)和切尾均值(5% trimmed mean)含量高低顺序与中位数一致;有机酸的四分位距(interquartile range, IQR)为0.60,表明各品种间有机酸含量的分布相对集中(图2-A)。可见,在油梨果肉中,各有机酸组分含量由高到低依次为:苹果酸>柠檬酸>富马酸>酒石酸>马来酸。

在12份油梨品种果肉中,抗坏血酸(维生素C)含量的分布范围为0.10~3.07 mg·g⁻¹,其分布区间值(range)和IQR值分别为2.98和1.02,结果表明,各品种之间的维生素C含量差异较大(图2-B)。从总酸含量来看,其分布范围为2.71~3.43 mg·g⁻¹,中位数

值为3.07,分布区间值和IQR值分别为3.29和1.91(图2-B)。

2.5 不同品种油梨果肉中总酸、有机酸与各组分含量的相关性分析

油梨果实中总酸、有机酸与各组分含量的相关性分析结果表明,总酸含量与维生素C含量($r=0.773$)呈极显著正相关,与苹果酸含量($r=0.703$)呈显著正相关;有机酸含量与苹果酸含量($r=0.736$)呈极显著正相关(表2)。以上结果表明,油梨果肉中总酸含量由维生素C和苹果酸含量所决定,而有机酸含量则主要由苹果酸含量决定。

表2 油梨果肉中总酸、有机酸与各组分相关性分析

Table 2 The correlation analysis of total acids, organic acids and individual acid components in avocado flesh

	酒石酸 Tartaric acid	苹果酸 Malic acid	抗坏血酸 Vitamin C	马来酸 Maleic acid	柠檬酸 Citric acid	富马酸 Fumaric acid	有机酸 Organic acid	总酸 Total acid
酒石酸 Tartaric acid	1							
苹果酸 Malic acid	0.362	1						
抗坏血酸 Vitamin C	0.251	0.285	1					
马来酸 Maleic acid	0.322	-0.536	0.305	1				
柠檬酸 Citric acid	-0.186	-0.427	-0.528	0.212	1			
富马酸 Fumaric acid	0.458	0.849**	0.355	-0.257	-0.642*	1		
有机酸 Organic acid	0.327	0.736**	-0.081	-0.347	0.292	0.443	1	
总酸 Total acid	0.415	0.703*	0.773**	0.030	-0.249	0.575	0.570	1

注:*表示 $P < 0.05$, **表示 $P < 0.01$ 。

Note: * denotes $P < 0.05$; ** denotes $P < 0.01$ 。

3 讨 论

果实中通常含有数十种有机酸,大多数果实主要以1种或2种有机酸为主,是影响果实品质的主要因素,其他仅以少量或微量存在^[2]。在12份油梨资源果实中,共检测出酒石酸、苹果酸、马来酸、柠檬酸和富马酸5种有机酸,含量由高到低依次为:苹果酸>柠檬酸>富马酸>酒石酸>马来酸。此外,从油梨果实中总酸、有机酸和抗坏血酸含量分布来看,油梨果肉中总酸含量与维生素C含量呈极显著正相关,与苹果酸含量呈显著正相关。可见,油梨果肉中总酸含量主要由苹果酸和抗坏血酸含量所决定,其中苹果酸起更为主要的决定作用。

不同果树果实中有机酸的种类和比例存在一定差异,而这种有机酸组分与含量的差异使不同果实各具独特的风味^[1]。通常按照成熟果实中积累的有机酸,可将果实分为苹果酸型、柠檬酸型和酒石酸型3大类^[1]。例如,梨^[6]和桃^[7]果实中有机酸主要以苹果

酸和柠檬酸为主,葡萄^[4]和荔枝^[9]果实中以苹果酸和酒石酸为主,菠萝^[11]果实中以柠檬酸和奎尼酸为主。在油梨果肉中,苹果酸和柠檬酸的平均含量分别为1.42和0.70 mg·g⁻¹,分别占有有机酸含量的63.29%和27.94%,2者约占到有机酸总量的90%,此结果与Yahia^[22]研究的油梨果肉中苹果酸含量(1.60 mg·g⁻¹)和柠檬酸含量(0.50 mg·g⁻¹)的结果相符;同时,有机酸含量与各组分含量的相关性分析结果表明,有机酸含量与苹果酸含量呈极显著正相关。可见,油梨应属于苹果酸优势型果实。

在12份油梨资源果肉中,有机酸含量排序前8位的品种依次为:‘洛雷塔’‘卢拉’‘彼得森’‘门罗’‘米格尔’‘迪普伊’‘西蒙兹’和‘唐纳基’,其含量(ω)均超过2.0 mg·g⁻¹;对于单一组分的有机酸,苹果酸、富马酸和酒石酸含量最高的品种均为‘洛雷塔’,柠檬酸含量最高的品种是‘彼得森’,而马来酸含量最高的品种则为‘布鲁克斯晚’。可见,不同油梨品种间果肉中有机酸的种类和含量存在着较大差异,

且品种间有机酸总量的差异较单一有机酸组分更为均衡。

果实有机酸代谢是一个极为复杂的过程,有机酸含量的高低是内在的遗传特性与外部的自然环境及栽培措施等因素共同作用的结果^[2]。油梨果实中有机酸和维生素C含量是衡量油梨果实品质的重要指标,相关研究结果将对油梨资源的评价与利用、果实品质改良和新品种选育具有重要的指导意义。除此,引进品种的筛选与利用应结合供试油梨品种的油率、碳水化合物含量、可食率、成熟期、产量、抗病性和抗风性等指标进行比较分析,还应根据栽培地区气候特征、栽培环境和目标用途进行综合分类评价。

4 结 论

油梨因其营养价值和保健功能已被越来越多的消费者接受和青睐,在我国油梨资源相对匮乏的情况下,对引进油梨资源的果实品质评价与利用就显得尤为重要。笔者对12份引进油梨资源果肉中有机酸组分和抗坏血酸含量分析比较发现:油梨果肉中可检测到酒石酸、苹果酸、马来酸、柠檬酸和富马酸5种有机酸组分;不同品种间单一有机酸组分的含量差异显著,而有机酸总量差异幅度相对较小;油梨属苹果酸优势型果实,其果肉中有机酸含量主要与苹果酸含量密切相关;此外,油梨果肉中富含维生素C,但不同品种间存在较大差异。

参考文献 References:

- [1] 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.
CHEN Faxing, LIU Xinghui, CHEN Lisong. Advances in research on organic acid metabolism in fruits[J]. Journal of Fruit Science, 2005, 22(5): 526-531.
- [2] 周先艳,朱春华,李进学,高俊燕,龚琪,沈正松,岳建强.果实有机酸代谢研究进展[J].中国南方果树,2015,44(1):120-125.
ZHOU Xianyan, ZHU Chunhua, LI Jinxue, GAO Junyan, GONG Qi, SHEN Zhengsong, YUE Jianqiang. Advances in research on organic acid metabolism in fruits[J]. South China Fruits, 2015, 44(1): 120-125.
- [3] KOCH R, ALLEWELDT G. Ger gaswechsel reifender weinbeeren [J]. Vitis, 1978, 17: 30-44.
- [4] LIU H F, WU B H, FAN P G, LI S H, LI L S. Sugar and acid concentrations in 98 grape cultivars analyzed by principal component

- analysis[J]. Journal of the Science of Food and Agricultura, 2006, 86(10): 1526-1536.
- [5] 文涛,熊庆娥,曾伟光,刘远鹏.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 Tao, XIONG Qing'e, ZENG Weiguang, LIU Yuanpeng. Changes of organic acid synthetase activity during fruit development of navel orange (*Citrus sinensis* Osbeck) [J]. Acta Horticulturae Sinica, 2001, 28(2): 161-163.
- [6] 姚改芳,杨志军,张绍铃,曹玉芬,刘军,吴俊.梨不同栽培种果实有机酸组分及含量特征分析[J].园艺学报,2014,41(4):755-765.
YAO Gaifang, YANG Zhijun, ZHANG Shaoling, CAO Yufen, LIU Jun, WU Jun. Characteristics of components and contents of organic acid in pear fruits from different cultivated species[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2014, 41(4): 755-765.
- [7] 牛景,赵剑波,吴本宏,李绍华,刘国杰,姜全.不同来源桃种果实糖酸组分含量特点的研究[J].园艺学报,2006,33(1):6-11.
NIU Jing, ZHAO Jianbo, WU Benhong, LI Shaohua, LIU Guojie, JIANG Quan. Sugar and acid contents in peach and nectarine derived from different countries and species[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2006, 33(1): 6-11.
- [8] 郭燕,梁俊,李敏敏,赵政阳.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.
GUO Yan, LIANG Jun, LI Minmin, ZHAO Zhengyang. Determination of organic acids in apple fruits by HPLC[J]. Food Science, 2012, 33(2): 227-230.
- [9] 胡志群,王惠聪,胡桂兵.高效液相色谱测定荔枝果肉中的糖、酸和维生素C[J].果树学报,2005,22(5):582-585.
HU Zhiqun, WANG Huicong, HU Guibing. Measurement of sugars, organic acids and vitamin C in litchi fruit by high performance liquid chromatography[J]. Journal of Fruit Science, 2005, 22(5): 582-585.
- [10] TOKER R, GÖLÜKCÜ M, TOKGÖZ H, TEPE S. Organic acids and sugar compositions of some loquat cultivars (*Eriobotrya japonica* L.) grown in Turkey[J]. Tarım Bilimleri Dergisi, 2013, 19(2): 121-128.
- [11] 陆新华,孙德权,吴青松,刘胜辉,陈菁,孙光明.菠萝种质资源有机酸含量的比较研究[J].热带作物学报,2013,34(5):915-920.
LU Xinhua, SUN Dequan, WU Qingsong, LIU Shenghui, CHEN Jing, SUN Guangming. Components and contents of organic acids in pineapple germplasm[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2013, 34(5): 915-920.
- [12] 马玉华,马小卫,武红霞,周毅刚,许文天,王松标.不同类型杧果果肉类胡萝卜素、香气和糖酸品质分析[J].热带作物学报,2015,36(12):2283-2290.
MA Yuhua, MA Xiaowei, WU Hongxia, ZHOU Yigang, XU Wentian, WANG Songbiao. Analysis of carotenoid, volatile, sugar and

- organic acid in different types of mango flesh[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2015, 36(12): 2283-2290.
- [13] 夏春华, 杨转英, 叶春海, 陈建华. 不同株系菠萝蜜果肉中可溶性糖和有机酸的分析[J]. 果树学报, 2014, 31(4): 648-652.
XIA Chunhua, YANG Zhuanying, YE Chunhai, CHEN Jianhua. Analysis of contents and compositions of soluble sugars and organic acids in different jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) lines [J]. Journal of Fruit Science, 2014, 31(4): 648-652.
- [14] SMITH C E. Archaeological evidence for selection in avocado[J]. Economic Botany, 1966, 20(2): 169-175.
- [15] 葛宇, 司雄元, 林兴娥, 王甲水, 臧小平, 马蔚红. 油梨研究进展[J]. 中国南方果树, 2016, 46(1): 148-155.
GE Yu, SI Xiongyuan, LIN Xin'e, WANG Jiashui, ZANG Xiaoping, MA Weihong. Advances in research on avocado (*Persea americana* Mill.) [J]. South China Fruits, 2016, 46(1): 148-155.
- [16] RODRÍGUEZ-CARPENA J G, MORCUENDE D, ANDRADE M J, KYLLI P, ESTÉVEZ M. Avocado (*Persea americana* Mill.) phenolics, *in vitro* antioxidant and antimicrobial activities, and inhibition of lipid and protein oxidation in porcine patties[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2011, 59(10): 5625-5635.
- [17] 黄思思, 宁德生, 夏梦雯, 程玲, 潘争红. 油梨不同部位总酚含量、抗氧化及抗菌活性[J]. 广西科学院学报, 2016, 32(2): 151-155.
HUANG Sisi, NING Desheng, XIA Mengwen, CHENG Ling, PAN Zhenghong. Total phenolic content, antioxidant and antimicrobial activities from different parts of avocado *Persea americana* Mill. [J]. Journal of Guangxi Academy of Sciences, 2016, 32(2): 151-155.
- [18] ALCARAZ M L, THORP T G, HORMAZA J I. Phenological growth stages of avocado (*Persea americana*) according to the BBCH scale[J]. Scientia Horticulturae, 2013, 164: 434-439.
- [19] 蔡胜忠, 李绍鹏, 张少若, 刘康德. 油梨种质的主要性状研究[J]. 热带农业科学, 1998(2): 22-28.
CAI Shengzhong, LI Shaopeng, ZHANG Shaoruo, LIU Kangde. Research on main characteristics of avocado germplasm [J]. Chinese Journal of Tropical Agriculture, 1998(2): 22-28.
- [20] 何国祥, 陈海红. 世界油梨产销概况及我国油梨发展前景[J]. 中国热带农业, 2008(2): 31-32.
HE Guoxiang, CHEN Haihong. A survey of production and marketing of avocado in the world and development prospects avocado in our country [J]. China Tropical Agriculture, 2008(2): 31-32.
- [21] NISPEROS-CARRIEDO M O, BUSLIG B S, SHAW P E. Simultaneous detection of dehydroascorbic, ascorbic, and some organic acids in fruits and vegetables by HPLC[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1992, 40(7): 1127-1130.
- [22] YAHIA E M. Postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruits[M]. London: Woodhead Publishing Ltd., 2011.

《果树学报》致谢全体审稿专家

本刊2017年来稿由以下专家审查。公布本名单(以姓氏汉语拼音字母顺序为序)以表示衷心的感谢!(如有遗漏,容后补谢)

别之龙 曹珂 曹尚银 陈春丽 陈福如 陈汉杰 陈厚彬 陈劲枫 陈昆松 陈力耕 陈年来 陈清西
 陈学森 程建徽 程运江 丛佩华 戴洪义 邓烈 董文轩 董雅凤 窦华亭 段旭昌 段长青 樊卫国
 樊秀彩 方金豹 房经贵 冯建灿 付俊范 傅建炜 高中山 古勤生 关军锋 郭文武 郭修武 郭印山
 韩明玉 韩振海 何业华 胡承孝 胡军华 花蕾 黄秉智 黄宏文 黄丽丽 黄卫东 黄旭明 贾惠娟
 江东 姜存仓 姜正旺 焦必宁 焦中高 李保华 李登科 李广旭 李红叶 李华平 李建国 李疆
 李明 李绍华 李秀根 李亚东 林顺权 刘崇怀 刘聪利 刘凤之 刘继红 刘杰超 刘孟军 刘庆忠
 刘三军 刘永忠 刘志 鲁振华 栾非时 罗正荣 吕德国 马瑞娟 聂继云 牛良 潘磊 潘志勇
 庞荣丽 彭良志 戚行江 齐秀娟 邱立春 冉春 施泽彬 孙建设 汤浩茹 陶建敏 滕元文 汪良驹
 王彩虹 王凤忠 王贵禧 王国平 王海波 王惠聪 王进军 王娟 王力荣 王少敏 王世平 王树桐
 王同坤 王文辉 王西平 王新卫 王迎涛 王玉柱 魏钦平 吴国良 吴江 吴俊 谢江辉 谢鸣
 谢深喜 谢新华 徐昌杰 徐强 徐伟荣 徐小彪 徐永阳 许益鏊 许勇 薛华柏 薛进军 阎振立
 杨洪强 杨勇 叶正文 易图永 殷学仁 俞明亮 苑兆和 曾文芳 翟衡 詹儒林 张国珍 张恒涛
 张慧琴 张建光 张静茹 张开春 张立彬 张荣意 张瑞萍 张显 张新忠 张颖 张运涛 张志宏
 张志华 章秋平 赵密珍 赵廷昌 郑少泉 周常勇 周厚成 周增强 周志钦 朱立武