

‘山梨’果实和叶片发育期有机酸含量的变化及其相关性研究

常立儒

(国有建平县白山林场, 辽宁 朝阳 122400)

摘 要:以‘山梨’果实和叶片为试材,测定分析了其发育过程中主要有机酸含量变化及二者有机酸含量变化间的关系。结果表明:果实发育过程中,苹果酸、草酸和乳酸总体呈增加趋势,奎尼酸、莽草酸、柠檬酸、乙酸、琥珀酸和有机酸总量总体呈下降趋势;叶片发育过程中,苹果酸、奎尼酸、乳酸、琥珀酸和有机酸总量总体呈增加趋势,草酸和柠檬酸总体呈下降趋势,莽草酸和乙酸变化极小;果实和叶片发育过程中有机酸含量变化的相关性分析表明,二者在苹果酸之间、奎尼酸之间、草酸之间、莽草酸之间以及乳酸之间的含量变化都呈正相关,柠檬酸之间以及琥珀酸之间、有机酸总量之间含量变化都呈负相关,但相关性都没有达到显著水平;说明果实和叶片中7种有机酸以及有机酸总量的积累机制不同。

关键词:山梨;果实;叶片;发育;有机酸

中图分类号:S 661.2 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-0009(2014)04-0026-05

有机酸是影响果实品质的重要因素之一^[1-4]。有机酸含量极高的梨品种,无论糖含量多少,果实品质均不佳。果实中有苹果酸、奎尼酸、草酸、莽草酸、柠檬酸、乳酸、乙酸和琥珀酸等多种有机酸^[5-7],不同品种中有机酸种类和含量都不同,使不同梨品种果实的风味千差万别。近年来国内外学者对有机酸的研究不断深入,在有机酸的组分、含量及相关酶方面做了大量研究工作^[8-11]。但以往只注重于果实有机酸方面的研究,对于叶片内有机酸的报道很少。叶片内也含有一定量的有机酸,这些有机酸与果实内有机酸的积累是否存在相同机制,目前尚鲜见相关报道。该试验以‘山梨’(*Pyrus ussuriensis* Maxim)果实和叶片为试材,分析了梨果实和叶片发育过程中有机酸含量的动态变化以及二者有机酸含量变化间的关系,对于全面了解有机酸在梨果实发育过程中积累的特点,为进一步阐明梨果实有机酸的代谢调控机制提供重要的参考价值。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料为‘山梨’,取材于辽宁省国有建平县白山林场,用于取样的‘山梨’植株为93株。

所用试剂为分析纯偏磷酸,色谱纯级标准样品:苹

果酸、奎尼酸、草酸、莽草酸、柠檬酸、乳酸、乙酸和琥珀酸,由Sigma-Aldrich公司提供。

1.2 试验方法

于‘山梨’盛花期后每15 d取样1次,分别随机取树势基本一致的植株树冠外围中上部 and 结果枝中上部,每次采5个果和20片叶,取样时间为上午10时;采样后迅速回实验室,取果肉和叶片各10 g用液氮处理后保存于-70℃待用。

1.3 项目测定

有机酸含量测定参考 Nisperos-Carriedo 等^[12]的方法。准确称取梨果肉1.00 g(叶片0.50 g),用5 mL 0.2%的偏磷酸冰浴研磨,10 000 g离心15 min,残渣加入4 mL 0.2%的偏磷酸再提取,合并上清液,定容至10 mL,经0.45 μm滤膜过滤后待测。每个样品重复3次。使用仪器为戴安U-3000高效液相色谱仪,配有UV/VIS检测器,色谱柱为XB-C₁₈(4.6 mm×250 mm);流动相为0.2%偏磷酸水溶液;流速1 mL/min,柱温35℃,进样量10.0 μL,检测波长是210 nm。

1.4 数据分析

试验数据均采用Excel和SPSS软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 果实和叶片发育过程中不同类型有机酸含量的变化

2.1.1 苹果酸含量的变化

由图1-A可知,果实和叶片

作者简介:常立儒(1971-),男,辽宁朝阳人,本科,现主要从事林业生产与林木育种等研究工作。E-mail:chssf@163.com。

收稿日期:2013-10-22

发育过程中苹果酸含量总体呈缓慢增加趋势。盛花期后 15 d,果实中苹果酸含量为 1.19 mg/g,盛花期后 45 d 下降到整个发育期的最低值 0.36 mg/g,盛花期后 75 d,果实苹果酸迅速积累到 1.44 mg/g,到果实成熟时缓慢增加到 1.55 mg/g;叶片中苹果酸含量,在盛花期后 15 d

为 1.44 mg/g,略高于果实中含量,盛花期后 45 d 下降到整个发育期的最低值 0.64 mg/g,盛花期后 120 d,叶片苹果酸积累到整个发育期最大值 1.92 mg/g,到 165 d 时缓慢下降到 1.64 mg/g。果实与叶片发育期苹果酸含量从整体上看二者间呈正相关关系。

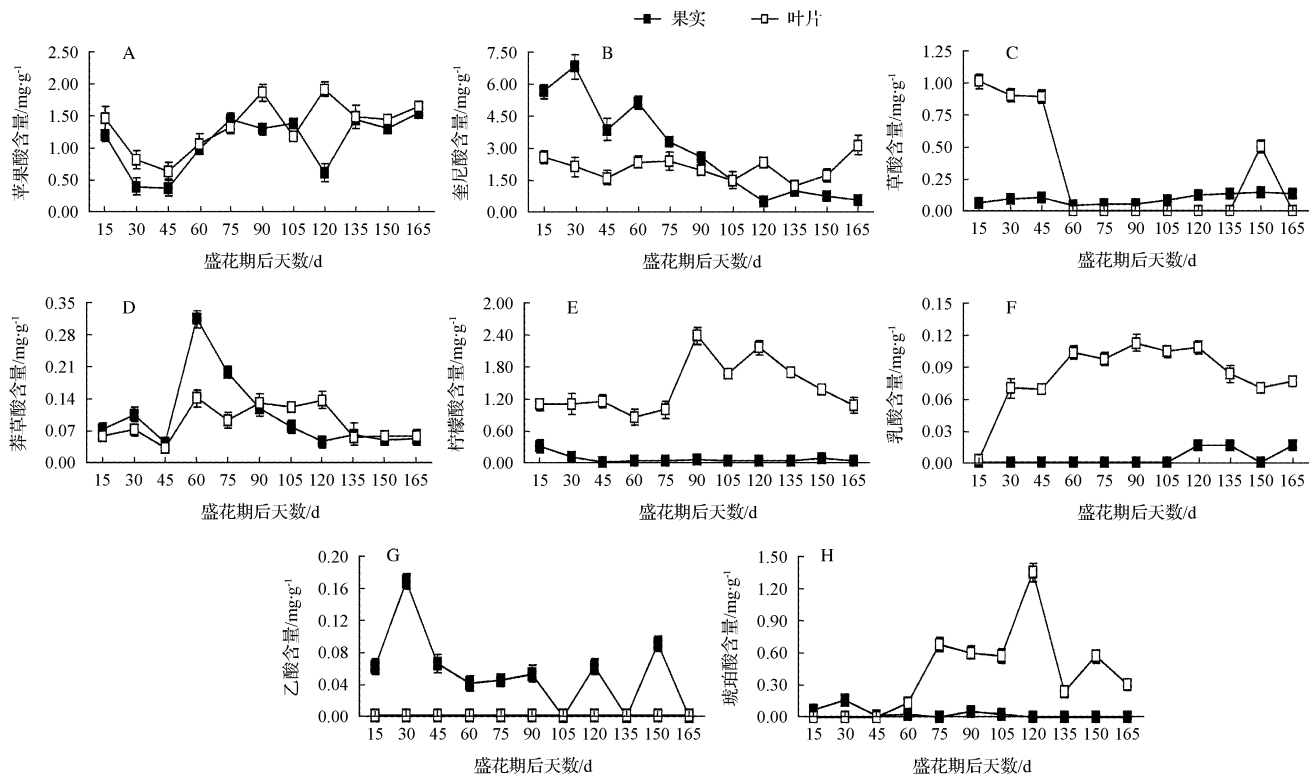


图 1 果实和叶片发育期各有机酸含量变化规律

2.1.2 奎尼酸含量的变化 由图 1-B 可知,果实发育过程中奎尼酸含量总体呈下降趋势,叶片发育过程中奎尼酸含量总体呈缓慢增加趋势。盛花期后 15 d,果实中奎尼酸含量为 5.66 mg/g,盛花期后 30 d,果实奎尼酸迅速积累到整个发育期最高值 6.82 mg/g,盛花期后 120 d,快速下降到整个发育期最低值 0.51 mg/g,到果实成熟时缓慢增加到 0.53 mg/g;叶片中奎尼酸含量,盛花期后 15 d 时为 2.55 mg/g,低于果实中含量,盛花期后 135 d 下降到整个发育期的最低值 1.20 mg/g,到 165 d 时迅速增加到整个发育期最高值 3.14 mg/g。果实与叶片发育期奎尼酸含量之间呈正相关关系。

2.1.3 草酸含量的变化 由图 1-C 可知,果实发育过程中草酸含量总体呈缓慢增加趋势,叶片发育过程中草酸含量总体呈下降趋势。盛花期后 15 d,果实中草酸含量为 0.06 mg/g,盛花期后 60 d,果实草酸缓慢下降到整个发育期最低值 0.04 mg/g,盛花期后 150 d,缓慢增加到整个发育期最大值 0.15 mg/g,到果实成熟时缓慢减少到 0.13 mg/g;叶片中草酸含量,盛花期后 15 d 时为整个发育期最高值 2.55 mg/g,高于果实中含量,盛花期后 60 d

下降到痕量,到 150 d 时增加到 0.51 mg/g,165 d 再次下降到痕量。果实与叶片发育期草酸含量间呈正相关关系,但相关系数极小。

2.1.4 莽草酸含量的变化 由图 1-D 可知,果实发育过程中莽草酸含量总体呈下降趋势,叶片发育过程中莽草酸含量总体没有变化。盛花期后 15 d,果实中莽草酸含量为 0.07 mg/g,盛花期后 45 d,下降到整个发育期最小值 0.04 mg/g,盛花期后 60 d,果实莽草酸迅速增加到整个发育期最大值 0.31 mg/g,此后开始下降,到果实成熟时减少到 0.05 mg/g;叶片中莽草酸含量,盛花期后 15 d 时为 0.06 mg/g,盛花期后 45 d 下降到整个发育期最小值 0.03 mg/g,盛花期后 60 d,迅速增加到整个发育期最高值 0.14 mg/g,到 165 d 时缓慢下降到 0.06 mg/g。相关关系分析结果表明,果实与叶片发育期莽草酸含量间呈正相关关系。

2.1.5 柠檬酸含量的变化 由图 1-E 可知,果实发育过程中柠檬酸含量总体呈下降趋势,叶片发育过程中柠檬酸含量总体没有变化。盛花期后 15 d,果实中柠檬酸含量为整个发育期最高值 0.29 mg/g,盛花期后 45 d,下降

到整个发育期最低值 0.01 mg/g,到果实成熟时缓慢增加到 0.04 mg/g;叶片中柠檬酸含量,盛花期后 15 d 时为 1.08 mg/g,盛花期后 60 d,下降到整个发育期最小值 0.84 mg/g,盛花期后 90 d,迅速增加到整个发育期最高值 2.37 mg/g,到 165 d 时下降到 1.06 mg/g。相关关系分析结果表明,果实与叶片发育期柠檬酸含量间呈负相关关系。

2.1.6 乳酸含量的变化 由图 1-F 可知,果实和叶片发育过程中乳酸含量总体都呈增加趋势。盛花期后 15 d,果实中乳酸含量为痕量,盛花期后 120 d 开始增加,135 d 时增加到 0.02 mg/g,到果实成熟时含量仍然为 0.02 mg/g;叶片中乳酸含量,盛花期后 15 d 时为痕量,盛花期后 90 d,增加到整个发育期最高值 0.11 mg/g,到 165 d 时下降到 0.08 mg/g。相关关系分析结果表明,果实与叶片发育期乳酸含量之间正相关关系,但相关系数较小。

2.1.7 乙酸含量的变化 由图 1-G 可知,果实发育过程中乙酸含量总体呈下降趋势,叶片发育过程中乙酸含量总体没有变化。盛花期后 15 d,果实中乙酸含量为 0.06 mg/g,盛花期后 30 d,果实乙酸迅速增加到整个发育期最大值 0.17 mg/g,此后开始下降,到果实成熟时乙酸含量已减少到痕量;叶片中乙酸含量,在整个发育期一直维持在痕量水平。相关关系分析结果表明,果实与叶片发育期乙酸含量之间无相关性。

2.1.8 琥珀酸含量的变化 由图 1-H 可知,果实发育过程中琥珀酸含量总体呈下降趋势,叶片发育过程中琥珀酸含量总体呈增加趋势。盛花期后 15 d,果实中琥珀酸含量为 0.07 mg/g,盛花期后 45 d,下降到痕量,到果实成熟时仍然琥珀酸含量为痕量;叶片中琥珀酸含量,盛花期后 15 d 时为痕量,盛花期后 45 d 时开始增加,120 d 时增加到整个发育期最高值 1.36 mg/g,到 165 d 时下降到 0.31 mg/g。相关关系分析结果表明,果实与叶片发育期琥珀酸含量之间呈负相关关系。

2.2 果实和叶片发育过程中有机酸总量的变化

由图 2 可知,果实发育过程中有机酸总量总体呈下降趋势,叶片发育过程中有机酸总量总体略有增加。盛花期后 15 d,果实中有机酸总量为 7.41 mg/g,盛花期后 30 d,果实有机酸总量增加到整个发育期最大值

7.84 mg/g,此后开始下降,盛花期后 120 d,下降到整个发育期最小值 1.41 mg/g,到果实成熟时缓慢增加到 2.32 mg/g;叶片中有机酸总量,盛花期后 15 d 时为 6.17 mg/g,盛花期后 45 d,下降到整个发育期最小值 4.39 mg/g,盛花期后 120 d,增加到整个发育期最高值 7.98 mg/g,到 165 d 时缓慢下降到 6.28 mg/g。相关关系分析结果表明,果实与叶片发育期有机酸总量之间呈负相关关系。

3 讨论与结论

该试验结果表明,‘山梨’果实发育期,苹果酸、奎尼酸、草酸、莽草酸、乳酸、乙酸、琥珀酸含量和有机酸总量先增加后下降,这与以往在柑橘^[13]、葡萄^[14]、桃^[15]、菠萝^[16]、枇杷^[17]等的研究结果基本一致,进一步证明在果实生长发育前期,有机酸含量逐步增加,生长停止转入成熟阶段,有机酸含量下降。叶片生长发育过程中苹果酸、莽草酸、柠檬酸、乳酸、琥珀酸和有机酸总量变化也表现相似的结果。但果实有机酸总量只是在发育早期略有增加,其它时期一直在缓慢下降,分析其原因可能是因为‘山梨’发育前期奎尼酸含量极高,占果实有机酸总量的 76.31%,此后奎尼酸含量不断下降,且速度较快,所以尽管其它 6 种有机酸含量增加,但有机酸总量并没有增加,反而缓慢下降。陈发兴等^[16]所测的枇杷果实也发现,在幼果期奎尼酸含量较高,苹果酸和柠檬酸含量为微量或痕量,随着果实的生长发育,奎尼酸含量不断减少,苹果酸和柠檬酸先增加后减少。果实和叶片发育前期大多数有机酸含量不断增加,有机酸总量也较高,可能是由于发育初期生理活性强,产生有机酸较多的原因。随着叶片和果实进入成熟期,叶片和果实生理活性都下降,产生有机酸的能力减弱,造成大多数有机酸及有机酸总量减少总酸下降,此外,果实膨大所导致的稀释作用、经代谢途径由酸转化为糖和膜透性增加使存储于液泡中的酸被呼吸消耗等^[18],也可能使果实中有机酸含量减少。

大多数有机酸组分,在果实发育过程中含量变化都较大,如葡萄果实坐果后,琥珀酸含量最多,随着果实成熟其含量迅速下降;苹果酸含量则逐渐上升,在浆果果实发育前期,含量为 6.73 mg/g FW,到中期上升到最高值 20.5 mg/g FW,成熟期则降为 3.72 mg/g FW;而酒石酸、柠檬酸含量在生长至成熟过程中都呈下降趋势,在前期浆果中,酒石酸浓度为 15.1 mg/g FW,柠檬酸含量为 0.86 mg/g FW,到成熟期分别为 4.46、0.34 mg/g FW^[14]。枇杷果实发育前期,以奎尼酸为主,高达 3.71 mg/g FW,而苹果酸和柠檬酸含量较少,随着果实发育,奎尼酸下降,苹果酸和柠檬酸先增加后下降,苹果酸变化幅度较大,到成熟期,三者含量分别为 0.34、2.43、0.02 mg/g FW^[16]。该试验中,在果实发育期各有机酸含量变化范围也较大,

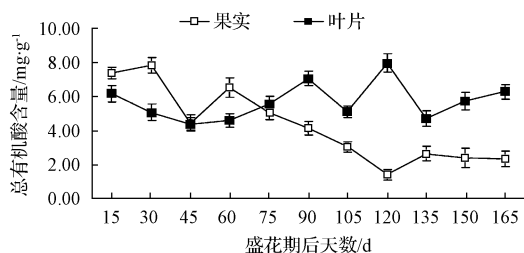


图 2 果实和叶片发育期总有机酸含量变化规律

苹果酸含量为 1.19~1.44 mg/g, 奎尼酸含量为 0.51~6.82 mg/g, 草酸含量为 0.04~0.15 mg/g, 莽草酸含量为 0.04~0.31 mg/g, 柠檬酸含量为 0.04~0.29 mg/g, 乳酸含量从痕量到 0.02 mg/g, 乙酸含量从痕量到 0.17 mg/g, 琥珀酸含量从痕量到 0.16 mg/g。叶片中各有机酸含量变化也较大, 苹果酸含量为 0.64~1.92 mg/g, 奎尼酸含量是 1.20~3.14 mg/g, 草酸含量从痕量到 1.01 mg/g, 莽草酸含量为 0.06~0.14 mg/g, 柠檬酸含量是 1.06~2.37 mg/g, 乳酸含量从痕量到 0.11 mg/g, 琥珀酸含量从痕量到 1.36 mg/g。

关于果实中有机酸的来源, 有 2 种观点。1 种认为有机酸在叶片中合成后输入果实, 并在果实中贮藏; 另 1 种认为有机酸在果实组织中合成。李明启^[19]通过嫁接试验证明, 柠檬果实自身可以合成有机酸; 而 Hale^[20]通过环割技术结合¹⁴C 示踪试验证实, 葡萄叶片中合成的有机酸可以运输到果实中去。该试验中, ‘山梨’果实和叶片发育过程中, 二者的苹果酸之间、奎尼酸之间、草酸之间、莽草酸之间或乳酸之间含量变化都呈正相关关系, 柠檬酸之间或琥珀酸之间都呈负相关关系, 但是相关性都没有达到显著水平, 表明叶片发育过程中生成的上述 7 种有机酸与果实中的上述 7 种有机酸含量的积累机制不同, 有待于进一步研究。

参考文献

- [1] Davis J N, Hobson G E. The constituent of tomato fruit-the influence of environment, nutrition, and genotype[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 1981, 15(3): 205-280.
- [2] Bassi D, Selli R. Evaluation of fruit quality in peach and apricot[J]. Advances in Horticultural Science, 1990(4): 107-112.
- [3] Robertson J A, Meredith F I, Russell R B, et al. Physical, chemical and sensory evaluation of high and low quality peaches[C]//International Peach Symposium 254, 1988: 155-159.
- [4] Salles C, Nicklaus S, Septier C. Determination and gustatory properties of taste-active compounds in tomato juice[J]. Food Chemistry, 2003, 81(3): 395-402.
- [5] Hudina M, Stampar F. Sugars and organic acids contents of European (*Pyrus communis* L.) and Asian (*Pyrus serotina* Rehd.) pear cultivars[J]. Acta Alimentaria, 2000, 29(3): 217-230.
- [6] Gil A M, Durate I F, Delgadillo I, et al. Study of compositional changes of mango during ripening by use of nuclear magnetic resonance spectroscopy [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2000, 48: 1524-1536.
- [7] Moing A, Renaud C, Gaudillere M, et al. Biochemical changes during peach development of four strawberry cultivars[J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 2001, 126: 394-403.
- [8] Kafkas E, Kosar M, Turemis N, et al. Analysis of sugars, organic acids and vitamin C contents of blackberry genotypes from Turkey [J]. Food Chemistry, 2006, 97: 732-736.
- [9] Sturm K, Koron D, Stampar F. The composition of fruit of different strawberry varieties depending on maturity stage[J]. Food Chemistry, 2003, 83: 417-422.
- [10] Marsh K, Attanayake S, Walker S, et al. Acidity and taste in kiwifruit [J]. Postharvest Biology and Technology, 2004, 32: 159-168.
- [11] Tiitinen K M, Yang B, Haraldsson G G. Fast analysis of sugars, fruit acids, and vitamin C in sea buckthorn (*Hippophaë rhamnoides* L.) varieties [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2006, 54: 2508-2513.
- [12] 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: 1127-1130.
- [13] Sadka A, Artzi B, Cohen L, et al. Arsenite reduces acid content in citrus fruit, inhibits activity of citrate synthase but induce its gene expression[J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 2000, 125: 288-293.
- [14] Lamikanra O, Inyang I D, Leong S. Distribution and effect of grape maturity on organic acid content of red muscadine grapes[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1995, 43: 3026-3028.
- [15] Wu B H, Quilot B, Génard M, et al. Changes in sugar and organic acid concentrations during fruit maturation in peaches, *P. davidiana* and hybrids as analyzed by principal component analysis[J]. Scientia Horticulturae, 2005, 103: 429-439.
- [16] 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.
- [17] Shaw P E, Wilson C W. Determination of organic acids and sugars in loquat by high-pressure liquid chromatography[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1981, 32: 1242-1246.
- [18] 王爱国, 罗广华. 植物的超氧化物自由基与羟胺反应的定量关系[J]. 植物生理学通讯, 1990(6): 55-57.
- [19] 李明启. 果实生理[M]. 北京: 科学出版社, 1989: 83-88.
- [20] Hale C R. Synthesis of organic acids in the fruit of the grape [J]. Nature, 1962, 195: 917-918.

Correlation Analysis of Changes in the Organic Acid Contents of Sorb During Fruit and Leaf Development

CHANG Li-ru

(Jianping County Baishan Forest Farm, Chaoyang, Liaoning 122400)

Abstract: Taking the fruits and leaves of sorb as experimental materials, the changes in the contents of major organic acids during fruit development were measured and the relationship of organic acid change of them were studied. The results showed that during fruit development, the levels of malic, oxalic and lactic acids exhibited an increasing trend overall, while the levels of quinic, shikimic, citric, acetic, succinic and total organic acids generally decreased during fruit development. During leaf development, malic, quinic, lactic, succinic and total organic acids showed an increasing trend overall, whereas oxalic and citric acids exhibited a decreasing trend in general, with few changes observed in shikimic and