

# 杏果实糖酸组成及其不同发育阶段的变化

陈美霞 陈学森\* 慈志娟 史作安

(山东农业大学果树生物学实验室, 山东泰安 271018)

**摘要:** 采用高效毛细管电泳仪分离测定了 10 个杏品种果实中的糖酸组分, 并对新世纪杏与凯特杏不同发育时期糖酸组分的变化进行了研究。结果表明: 各糖组分及总糖含量在品种间都存在较大差异, 但均以蔗糖含量最高, 果糖含量最低; 苹果酸和柠檬酸在品种间差异显著, 根据有机酸组成不同, 可将杏品种分为柠檬酸型和苹果酸型; 在果实不同发育时期, 两个品种果实中总糖含量及各组分的变化趋势基本一致, 总糖和蔗糖的含量一直在增加, 而果糖和葡萄糖的含量变化不大。新世纪杏中总酸和苹果酸含量变化趋势完全一致, 都在较高水平上缓慢增加, 而柠檬酸的含量始终很低; 凯特杏中柠檬酸在果实发育前期含量很低, 硬核期结束时含量急剧上升, 成熟前略有下降, 呈“S”型变化曲线, 而苹果酸的变化规律正好与柠檬酸相反, 总的变化趋势呈现反“S”型变化曲线。

**关键词:** 杏; 果实; 糖; 有机酸; 发育阶段

**中图分类号:** S 662.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 0513-353X (2006) 04-0805-04

## Changes of Sugar and Acid Constituents in Apricot during Fruit Development

Chen Meixia, Chen Xuesen\*, Ci Zhijuan, and Shi Zuoran

(Pamology Biological Laboratory, Shandong Agricultural University, Tai'an, Shandong 271018, China)

**Abstract:** Sugar and acid components in apricot were studied with 10 cultivated varieties by Capillary Electrophoresis, as well as the changes of sugar and acid components with two cultivated varieties during fruit development. The results indicated that there were great differences in the contents of components and total sugar among apricot varieties, whereas their distributions were similar, that was the level of sucrose was the highest and the lowest for fructose in all tested varieties. Contrasting to sugar, both total acid and components were different greatly among varieties. According to the components of acid, the apricot varieties could be divided into two types: citrate and malate. Changes of components and total content of sugar were almost similar in 'Xinshiji' and 'Katy' varieties at different fruit development stages, the level of sucrose and total sugar increased constantly, whereas the content of fructose and glucose kept relatively steady, which indicated the increasing of total content of sugar was caused by sucrose. The change patterns of the content of total acid and components were different obviously in two varieties, but the change of malate and total acid was completely similar in 'Xinshiji'. Malate content increased slowly at higher level, whereas the level of citrate was lower during fruit development. The level of citrate at early development stage was lower than at later development stage, increasing rapidly while stoning finished and decreasing slightly during fruit maturation. The changing pattern showed "S" curve, contrast to citrate, the change of malate showed a reverse "S" curve.

**Key words:** Apricot; Fruit; Sugar; Organic acid; Development stage

### 1 目的、材料与方法

研究表明, 果实中的糖主要是果糖、葡萄糖和蔗糖, 有机酸主要是苹果酸、柠檬酸和酒石

收稿日期: 2005 - 07 - 07; 修回日期: 2006 - 01 - 16

基金项目: 国家自然科学基金项目 (30370992); 山东省农业良种产业化工程项目

\* 通讯作者 Author for correspondence (E-mail: chenxs@sdau.edu.cn)

酸<sup>[1,2]</sup>。杏果实主要有有机酸为柠檬酸（60%）和 L - 苹果酸（39%），而琥珀酸和 D - 柠檬酸都低于 1%<sup>[3]</sup>。

作者进一步以华北生态品种群的新世纪<sup>[4]</sup>、山农凯新 1 号<sup>[5]</sup>、泰安水杏及欧洲生态品种群的凯特、金太阳等 10 个杏品种为试材，测定成熟果实中的糖酸组分及不同发育阶段糖酸组分与含量的变化，旨在为品质评价、调控及糖酸代谢研究提供参考资料。

试验于 2003 ~ 2004 年在山东农业大学园艺科学与工程学院中心实验室、泰安横岭育种基地进行。试材为 10 个杏品种（表 1）。采集完全成熟的果实，放入 - 30℃ 冰箱中备用。根据果实发育时期，对华北生态品种群的‘新世纪’分别于 4 月 30 日（硬核前期）、5 月 10 日（硬核期）、5 月 15 日（绿熟期）、5 月 20 日（商熟期）、5 月 25 日（完熟期）等 5 个不同发育时期进行采集；对欧洲生态品种群的‘凯特’分别于 4 月 30 日（硬核前期）、5 月 10 日（硬核期）、5 月 20 日（硬核期）、5 月 30 日（绿熟期）、6 月 5 日（商熟期）及 6 月 10 日（完熟期）等 6 个时期采集；样品采集后立即放入 - 30℃ 冰箱中备用。

糖酸组分的提取：选取 2 ~ 3 个杏果实，切取不同部位果肉，混匀后称取 5 g 样品，用 15 mL 80% 的酒精研磨，于 75℃ 下浸提 10 min，离心（12 000 r · min<sup>-1</sup>）15 min，收集上清液。再用 5 mL 80% 酒精洗果渣，收集上清液，合并，定容到 25 mL，摇匀，0.45 μm 微孔滤膜过滤，取 4 mL 于 50℃ 下蒸干。残渣用重蒸水溶解，供分析用。糖组分的 Beckman 毛细管电泳仪分析：缓冲溶液为 10 mmol · L<sup>-1</sup> 苯甲酸钠 + 0.5 mmol · L<sup>-1</sup> CTAB，pH 12，电压 20 kV，负极进样，压力 3S 进样，温度 22℃，214 nm 间接检测。新毛细管依次用 1 mol · L<sup>-1</sup> HCL，1 mol · L<sup>-1</sup> NaOH 及重蒸水老化并冲洗 40 min；两个样品之间用缓冲液冲洗 3 min，每隔 5 个样品用 0.1 mol · L<sup>-1</sup> NaOH、重蒸水、缓冲液冲洗 5 min。所有缓冲溶液、样品液、标准样品溶液在进样前均经 0.45 μm 的滤膜过滤，然后超声脱气。有机酸组分的 Beckman 毛细管电泳仪分析：缓冲溶液为 100 mmol · L<sup>-1</sup> Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> + 0.5 mmol · L<sup>-1</sup> CTAB + 10% 乙腈，pH 7，电压 12 kV，负极进样，压力 3S 进样，温度 20℃，200 nm 间接检测，其它方法同糖组分的分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 杏不同品种成熟期果实的糖和有机酸组成

由表 1 可以看出：不同品种的总糖含量大都存在差异，以山农凯新 1 号和红玉杏含量最高，金太阳杏含量最低。在 3 种糖组分中，所有参试品种表现一致，均以蔗糖含量最高，果糖含量最低，葡萄糖含量介于二者之间。

表 1 不同杏品种果实的糖和有机酸的含量

Table 1 Contents of sugar and organic acid in different apricot varieties

(mg · g<sup>-1</sup>)

| 品种<br>Varieties            | 糖 Sugar        |                |               |                     | 有机酸 Organic acid |                |                     |
|----------------------------|----------------|----------------|---------------|---------------------|------------------|----------------|---------------------|
|                            | 果糖<br>Fructose | 葡萄糖<br>Glucose | 蔗糖<br>Sucrose | 总量<br>Total content | 苹果酸<br>Malate    | 柠檬酸<br>Citrate | 总量<br>Total content |
| 山农凯新 1 号 Shannong Kaixin 1 | 12.88          | 18.15          | 51.97         | 83.00               | 8.57             | 5.51           | 14.07               |
| 红玉 Hongyu                  | 7.05           | 13.34          | 58.87         | 79.25               | 8.21             | 5.46           | 13.67               |
| 凯特 Katy                    | 15.39          | 18.45          | 36.18         | 70.02               | 3.89             | 16.24          | 20.14               |
| 沙金红 Shajinhong             | 5.00           | 14.52          | 49.68         | 69.21               | 9.50             | 0.76           | 10.26               |
| 新世纪 Xinshiji               | 8.13           | 13.60          | 46.12         | 67.84               | 7.09             | 0.40           | 17.48               |
| 华县大接杏 Huaxian Dajixing     | 2.57           | 10.11          | 46.84         | 59.52               | 10.77            | 0.96           | 11.74               |
| 泰安水杏 Tai'an Shuixing       | 6.06           | 8.27           | 31.17         | 45.50               | 4.93             | 15.82          | 20.75               |
| 基辅 Jifu                    | 3.85           | 9.61           | 28.10         | 41.56               | 7.83             | 9.19           | 17.02               |
| 银香白 Yinxiangbai            | 5.46           | 10.13          | 25.68         | 41.27               | 4.57             | 9.19           | 13.77               |
| 金太阳 Jintaiyang             | 5.19           | 10.76          | 17.10         | 33.05               | 11.90            | 9.34           | 21.24               |

大多数杏品种间有机酸各组分有差异。其中中华大接杏、‘新世纪’和沙金红等品种以苹果酸为主, 占总酸量的 90%以上; 而凯特和泰安水杏以柠檬酸为主, 分别占总酸量的 76.2%和 80.7%; 山农凯新 1号与红玉杏的苹果酸与柠檬酸的比值为 6:4。

## 2.2 不同发育阶段糖和有机酸的变化

华北生态型品种新世纪与欧洲生态型品种凯特杏果实不同发育时期总糖及各组分含量的检测结果分别见图 1和图 2。由图中可以看出, 两个品种果实中总糖含量及各组分的变化趋势基本一致。在品种内总糖与蔗糖的变化一致, 前期增加缓慢, 在果实成熟阶段迅速上升 (5月 15日以后), 而果糖和葡萄糖的含量变化不大, 基本呈稳定状态。由此说明, 杏果实中总糖含量的上升主要是由蔗糖引起的。

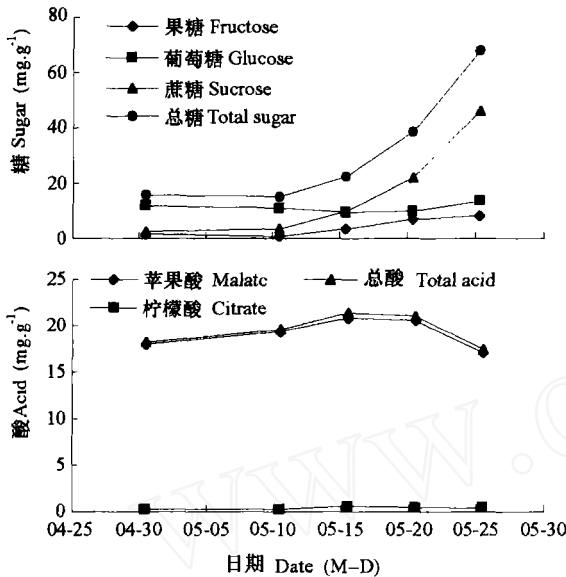


图 1 新世纪杏果实发育过程中糖和酸含量的变化

Fig. 1 The change of sugar and acid contents in 'Xinshiji' during fruit development

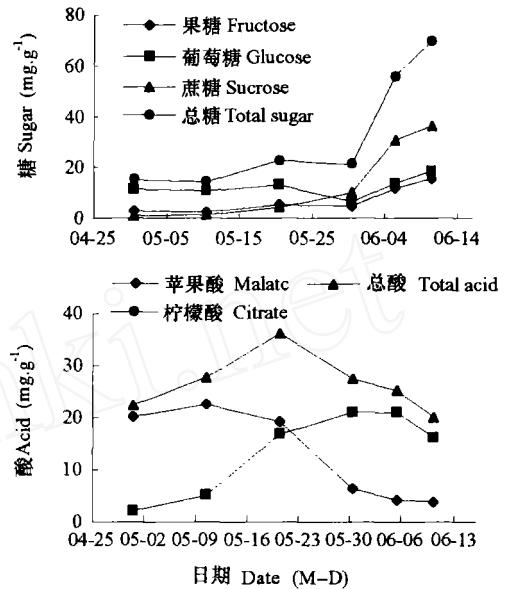


图 2 凯特杏果实发育过程中糖和酸含量的变化

Fig. 2 The change of sugar and acid contents in 'Katy' during fruit development

在果实不同发育时期, 新世纪杏和凯特杏两个品种果实中总酸及各有机酸组分的变化趋势明显不同。由图 1可以看出, 新世纪杏果实中, 总酸和苹果酸含量变化趋势完全一致, 都在较高水平上缓慢增加, 绿熟期 (5月 15日) 达到最高值, 成熟前期开始缓慢下降; 而柠檬酸的含量始终很低。

凯特杏中 (图 2), 柠檬酸在果实发育前期含量很低, 果实进入硬核期后 (5月 10~20日) 急剧上升, 随后缓慢增加, 绿熟 (5月 30日) 时达最高值, 成熟前略有下降, 呈现“S”型变化曲线。苹果酸含量的变化规律正好与柠檬酸相反, 生长发育前期较高, 进入硬核期 (5月 10日) 时达到最高值, 硬核期完成后 (5月 20日) 迅速下降, 成熟前变化不大, 总趋势呈现反“S”型曲线。有机酸总量的变化呈现单峰型, 果实生长前期逐渐增加, 至硬核期完成时 (5月 20日) 达最高值, 随后急剧下降, 成熟前缓慢下降。

## 3 讨论

不同树种间果实的糖酸组成不同, 赵尊行等研究表明, 苹果中果糖的含量最高, 占 50%, 蔗糖含量最低, 只占 18%<sup>[2]</sup>; 而黑穗醋栗果实的糖主要是果糖和葡萄糖, 蔗糖含量很少<sup>[6]</sup>。本试验结果表明, 山农凯新 1号等 10个参试杏品种均以蔗糖含量最高, 果糖含量最低, 这与桃糖类组成<sup>[1]</sup>基本相似。

根据不同树种果实内有机酸的组成, 果实分为苹果酸型、柠檬酸型、酒石酸型。前人研究认为杏果实中的柠檬酸占有有机酸总量 60%以上<sup>[7]</sup>, 因此将杏划分为柠檬酸型。本试验的结果表明, 杏品种

间有机酸组成不同, 杏品种应分为苹果酸型和柠檬酸型两大类型。

试验结果表明, 在果实发育过程中, 杏品种间果实总糖含量及各组分的变化趋势基本一致。果实发育前期, 果糖和葡萄糖的含量较高, 蔗糖的水平较低; 当果实进入硬核期 (5月 10~15日) 葡萄糖和果糖都降至最低值, 此时蔗糖开始迅速增加, 这可能与酸性转化酶活性有关<sup>[8]</sup>。果实发育初期, 细胞内具有较高的酸性转化酶活性, 维持较高水平的葡萄糖和果糖, 为果实细胞分裂及果实迅速生长提供足够的能源, 果实发育进入硬核期后, 酸性转化酶的活性迅速降低, 从而导致果糖和葡萄糖含量的降低, 蔗糖水平的提高。在果实发育后期, 可能是蔗糖合成酶 (SS) 和蔗糖磷酸合成酶 (SPS) 活性大幅度提高, 导致了蔗糖含量的迅速增加<sup>[8]</sup>。

本试验结果表明, 新世纪和凯特果实总酸量分别在 5月 15日和 5月 20日达到最高值, 此时正值两个品种硬核期结束, 说明硬核期完成之前是有机酸合成期, 之后是有机酸降解期, 这与葡萄、脐橙等果实的变化规律相似<sup>[9, 10]</sup>。

本试验还发现, 新世纪和凯特两个品种有机酸组分的变化明显不同。新世纪果实中主要是苹果酸, 果实生长发育过程中变化幅度不大, 而柠檬酸的含量一直处于较低水平。凯特果实中苹果酸的变化趋势呈现反“S”型曲线; 而柠檬酸呈“S”型变化曲线, 与桃的研究结果相似, 果实第一次快速生长期即细胞分裂结束期, 是苹果酸积累主要时期, 而柠檬酸积累发生在果实第二次快速生长期开始之后。由此推断, 新世纪和凯特之间以及品种内相关代谢酶活性、代谢途径都存在差异, 今后需进一步研究。

#### 参考文献:

- 1 邓月娥, 张传来, 牛立元, 苏成军, 韩红萍. 桃果实发育过程中主要营养成分的动态变化及系统分析方法研究. 果树科学, 1998, 15 (1): 48~52  
Deng Y E, Zhang C L, Niu L Y, Su C J, Han H P. Studies on the changes of some main nutritional components in peach fruits during maturation and the method of systematic analysis. J. Fruit Sci, 1998, 15 (1): 48~52 (in Chinese)
- 2 金锡凤. 桃果实发育期间几种成分的变化. 落叶果树, 1993 (2): 27~29  
Jin X F. Changes of some components in peach fruit during maturation. Deciduous Fruit, 1993 (2): 27~29 (in Chinese)
- 3 Voi L A, Impembo M, Fasanaro G. Chemical characterization of apricot puree. J. Food Composition and Analysis, 1995, 8: 78~85
- 4 陈学森, 高东升, 李宪利, 张艳敏, 张连忠. 胚培早熟杏新品种——新世纪. 园艺学报, 2001, 28 (5): 475  
Chen X S, Gao D S, Li X L, Zhang Y M, Zhang L Z. 'Xinshiji'—a new early ripening apricot variety obtained by embryo culture. Acta Horticulturae Sinica, 2001, 28 (5): 475 (in Chinese)
- 5 陈学森, 束怀瑞, 李宪利, 高东升, 张艳敏, 沈向, 陈晓流, 何天明. 胚培杏新品种——山农凯新 1号. 园艺学报, 2005, 32 (1): 176  
Chen X S, Shu H R, Li X L, Gao D S, Zhang Y M, Shen X, Chen X L, He T M. 'Shannongkaixin 1'—a new apricot variety obtained by embryo culture. Acta Horticulturae Sinica, 2005, 32 (1): 176 (in Chinese)
- 6 杨咏丽, 崔成东, 周恩. 黑穗醋栗果实成熟过程主要营养成分变化规律. 园艺学报, 1994, 21 (1): 21~23  
Yang Y L, Cui C D, Zhou E. Studies on changes of some main nutritional components in the fruits of black currant during maturation. Acta Horticulturae Sinica, 1994, 21 (1): 21~23 (in Chinese)
- 7 Girard B, Koop T G. Physicochemical characteristics of selected cherry cultivars. J. Agric. Food Chem., 1998, 46: 471~476
- 8 吴国良, 潘秋红, 张大鹏. 核桃果肉发育过程中糖含量及相关酶活性的变化. 园艺学报, 2003, 30 (6): 643~646  
Wu G L, Pan Q H, Zhang D P. Changes of sugar content and sugar metabolizing enzyme activities in the flesh of developing walnut fruit. Acta Horticulturae Sinica, 2003, 30 (6): 643~646 (in Chinese)
- 9 文涛, 熊庆娥, 曾伟光. 脐橙果实发育过程中有机酸合成代谢酶活性的变化. 园艺学报, 2001, 28 (2): 161~163  
Wen T, Xiong Q E, Zeng W G. Changes of organic acid synthase activity during fruit development of navel orange (*Citrus sinensis* Osbeck). Acta Horticulturae Sinica, 2001, 28 (2): 161~163 (in Chinese)
- 10 郜志峰, 傅承光, 张彦从. 单柱离子色谱法测定葡萄不同成长期的苹果酸、酒石酸和柠檬酸. 河北大学学报 (自然科学版), 1994, 14 (3): 34~37  
Gao Z F, Fu C G, Zhang Y C. Determination of malic acid, tartaric acid and citric acid in grape by single-column ion chromatograph. J. Hebei University, 1994, 14 (3): 34~37 (in Chinese)