

# 不同苹果品种果实糖酸组分特征研究

李娅楠,闫雷玉,张波,杨舜博,赵政阳\*

(西北农林科技大学园艺学院·陕西省苹果工程技术研究中心,陕西杨凌 712100)

**摘要:**【目的】比较不同苹果品种果实糖酸组分含量,选择适合苹果风味的评价指标,为苹果果实的糖酸品质评价提供参考。**方法**采用高效液相色谱法测定苹果果实糖酸组分的含量及比例,通过主成分分析及系统聚类法确定苹果糖酸品质评价指标,利用K-均值法对不同品种进行聚类分析。**结果**总糖含量( $w$ ,后同)的变幅为 $54.15\sim133.79 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ,果糖含量占总糖的50.38%,金冠的果糖含量最高,蔗糖和葡萄糖含量分别占总糖的30.14%、16.01%,最后是山梨醇(占3.49%)。苹果酸占总酸含量的90.44%,其次是奎宁酸(占7.81%)和柠檬酸(占1.1%),草酸和莽草酸含量较低。对86个苹果品种进行聚类分析,共分为4类:高糖高酸、高糖低酸、低糖高酸、低糖低酸。**结论**总糖、苹果酸、甜酸比是评价果实糖酸风味的重要因子。中晚熟、晚熟品种在高糖低酸类占比较高,在低糖低酸类占比较低。

**关键词:**苹果;品种;糖酸组分;聚类分析;品质评价

中图分类号:S661.1

文献标志码:A

文章编号:1009-9980(2021)11-1877-13

## A study on sugar and organic acid components in different apple cultivars

LI Yanan, YAN Leiyu, ZHANG Bo, YANG Shunbo, ZHAO Zhengyang\*

(College of Horticulture, Northwest Agricultural & Forestry University/Apple Engineering and Technology Research Center of Shaanxi Province, Yangling 712100, Shaanxi, China)

**Abstract:**【Objective】Soluble sugars and organic acids are important components of fruit flavor and have a strong impact on the overall organoleptic quality of apple fruit. Current researches are mostly limited to individual main cultivars, and the assessment of sweet and sour flavor is not comprehensive. Therefore, understanding the fruit quality traits of different cultivars can provide breeders with valuable information and assessment tools. The composition and contents of soluble sugars and organic acids in 86 different apple cultivars were analyzed in the study with an aim to screen appropriate indexes to evaluate and classify apple taste.【Methods】The soluble sugar and organic acid components and contents of 86 different apple cultivars were determined and analyzed with high-performance liquid chromatography (HPLC); correlation analysis and principal component analysis were used to determine the quality index of taste; and cluster analysis was performed using K-means method to analyze and evaluate the fruit quality of different cultivars.【Results】The results indicated that the soluble sugars in apple fruit included fructose, sucrose, glucose and sorbitol, of which fructose content was the highest, with an average value of  $51.93 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ , accounting for 50.39% of the total sugar content, and the two were extremely significantly related ( $r=0.867$ ). The highest fructose content was found in Golden Delicious ( $68.96 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ). The average sucrose content was  $31.33 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ , which accounted for 30.14% of the total sugar content. The sucrose content of Envy was  $52.25 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ . The content of the four soluble sugar components (fructose, sucrose, glucose and sorbitol) in most apple fruits showed a pattern of fructose>sucrose>glucose>sorbitol, and the only three cultivars with glucose content higher than sucrose content were Fuji, Cameo and Qiufu No.1. The glucose content in Dailv and RuiXianghong was close to su-

收稿日期:2021-05-21 接受日期:2021-06-28

基金项目:国家现代农业(苹果)产业技术体系建设专项(CARS-27)

作者简介:李娅楠,女,在读硕士研究生,研究方向为果树栽培生理。Tel:15832496304,E-mail:1342845095@qq.com

\*通信作者 Author for correspondence. Tel:13891819690,E-mail:zhaozy@nwafu.edu.cn

crose content. The dominant organic acid in apple fruit was malic acid, with an average value of 4.97 mg·g<sup>-1</sup>, accounting for 89.440% of the total acid content, followed by quinic acid (7.81%) and citric acid (1.1%), and the contents of oxalic acid and shikimic acid were low. Among them, the cultivar with the highest malic acid content was Granny Smith. Malic acid was extremely significantly related with total acid, with a correlation coefficient of 0.904, and significantly related with fructose. The sweetness/acid ratio in different cultivars ranged from 11.81 to 53.96. There were 9 cultivars with sweetness/acid ratio greater than 40, such as Dailv and Qiujing; and 63 cultivars between 20 and 40; and 14 cultivars less than 20. The soluble sugars and organic acids in different apple cultivars were significantly different, with coefficients of variation of 8.16% to 46.95%, respectively. The content of quinic acid had the largest variation and the content of soluble solids had the smallest variation. The correlations between soluble sugar and organic acid components were analyzed. It could be concluded that malic acid was significantly correlated with fructose ( $r=0.226$ ), and citric acid and fructose were extremely significantly correlated. The sweetness/acid ratio had a very significant negative correlation with total acid. The principal component analysis method was used to analyze the 9 main indicators of apple taste evaluation. The first 2 factors were the main factors contributing to 85.124% of the total variation. Combined with correlation analysis, three indexes including total sugar, malic acid and sweetness/acid ratio were selected as indexes for sugar and acid evaluation. Cluster analysis of the 86 apple cultivars showed that they could be divided into 4 categories: high sugar and low acid, high sugar and high acid, low sugar and high acid, and low sugar and low acid. Middle-late and late-ripening cultivars accounted for 92%, 95%, 80% and 53% in the four categories of high sugar and high acid, high sugar and low acid, low sugar and high acid, and low sugar and low acid, respectively. 【Conclusion】 The sucrose content in most apple cultivars were higher than glucose. The major organic acid was malic acid, followed by quinic acid and citric acid, and the content of the other organic acids is lower. The total sugar, malic acid, and sweetness/acid ratio in apple fruit are important indexes to evaluate the sweet and sour flavor of the fruit. Middle-late and late-ripening cultivars had a higher proportion of high-sugar and low-acid varieties, and a lower proportion of low-sugar and low-acid cultivars.

**Key words:** Apple; Cultivar; Sugar and acid component; Cluster analysis; Quality evaluation

苹果(*Malus domestica* Borkh.)果实酸甜可口、营养丰富、耐贮运,是世界性果品<sup>[1]</sup>。苹果作为一种可食性水果,糖酸风味是果实品质的重要参数,对口味和营养特性有重要影响,是消费者接受度的可靠指标。糖还参与多酚生物合成,果实中较高的糖含量意味着较高的多酚浓度,因此从营养丰富的饮食角度来看,也是非常重要的。有机酸还可以稳定花青素,延长新鲜水果及其加工产品的货架期,从而在苹果着色中发挥重要作用<sup>[2]</sup>。可溶性糖和有机酸是衡量水果口感品质的重要指标,是构成风味的2个核心元素,糖酸组分的甜度和酸性不尽相同,其含量、种类以及两者比例共同影响风味形成,糖酸风味也是种质资源、新品种选引、杂种后代等果实品质评价及栽培技术效果评估的重要参考<sup>[3]</sup>。糖酸组成比

例在不同品种和不同发育期中存在差异,Liu等<sup>[4]</sup>认为果糖、葡萄糖和蔗糖是主要的糖,山梨醇是主要的糖醇。Noro等<sup>[5]</sup>认为苹果主要的糖是葡萄糖、果糖、山梨糖醇和蔗糖,主要的有机酸是苹果酸和奎宁酸,柠檬酸在着色前阶段被检测到,在着色后期显著下降。在成熟的蜜脆果肉中,果糖和蔗糖是主要的糖,苹果酸是主要的有机酸<sup>[6]</sup>。除苹果酸之外,郑丽静<sup>[7]</sup>认为其次为草酸和柠檬酸,也有研究认为其次为柠檬酸和奎宁酸<sup>[8]</sup>。由于糖酸含量、种类及其比例最大程度地影响了果实风味和口感,对果实糖酸风味的评价也一直是苹果栽培和育种者的重要衡量标准。目前,对于苹果果实的糖、酸组分及含量的研究报道多存在于个别主栽品种或者某些栽培种,对甜酸风味的评价也不够全面,常采用可溶性固形物、可

滴定酸含量以及固酸比或糖酸比等不同指标来评价,未考虑具体糖酸组分对果实甜酸风味的影响<sup>[9]</sup>。笔者在本研究中以不同栽培种的86个苹果品种为试材,利用液相色谱法(HPLC)对果实糖酸组分和含量进行分析,结合主成分分析以及聚类分析结果,解析不同苹果品种糖酸特性,筛选糖酸组分的评价指标,为苹果果实的糖酸品质评价及品种选育提供科学依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料

试验于2020年在陕西省西北农林科技大学白水苹果试验站进行,地处黄土高原苹果产区。试验材料取自试验站资源圃中86个国内外苹果品种(表1),砧木为M26自根砧,株行距为1.5 m×4.0 m,生长期栽培管理条件一致,果实不套袋。选择品种间色

泽接近、大小一致、无病虫害的成熟果用于试验,成熟期参考果皮色泽、种子颜色以及前人记载综合判断。每个品种设3个重复,从树冠中外围随机采5个苹果,切成小块,混合均匀,于-80 °C超低温冰箱中保存备用。

### 1.2 试验方法

**1.2.1 糖酸组分测定** 样品制备参考王艳颖等<sup>[10]</sup>的方法,称5 g果肉研磨成匀浆,用Milli-Q Direct超纯水一体化系统(美国Millipore公司)所制超纯水稀释至25 mL,80 °C水浴提取60 min,冷却后10 000 r·min<sup>-1</sup>离心15 min,上清液通过0.45 μm滤膜,于-20 °C保存待测。使用Sugar-Pak TM I(300 mm×6.5 mm)色谱柱(美国Waters公司)和2414示差折光检测器(美国Waters公司)进行可溶性糖组分测定,柱温80 °C,流动相为超纯水,流速0.5 mL·min<sup>-1</sup>,检测池温度35 °C,进样量20 μL。使用Symmetry C18(250 mm×

表1 不同成熟期苹果品种

Table 1 The apple cultivars of different maturity

熟性 Maturity	品种 Cultivar
早熟 Early maturity	晨阳、岱绿、恩派、华美、华玉、秦阳 Sunrise, Dailü, Empire, Huamei, Huayu, Qinyang
中熟 Medium maturity	嘎拉、金世纪、丽红、魔迪、普瑞玛、夏艳、华硕 Royal Gala, Jinshiji, Lihong, Modi, Punama, Xiayan, Huashuo
中晚熟 Mid-late maturity	昂林、北斗、昌红、甘露、寒富、红将军、红锦富、红太郎、红星、红玉、华冠、华丽、欢喜、金矮生、金冠、晋富1号、橘萍、爵士、君袖、卡米欧、凉香、蜜脆、摩里士、乔纳金、秦星、秦艳、秦月、秦韵、清明、世界1号、首红、太平洋玫瑰、瓦里短枝、威塞克、无锈金冠、新红星、新世界、旭、延光、玉华早富、元帅、望山红 Anglin, Hokuto, Changhong, Tallman's Sweet, Hanfu, Benishogun, Hongjinfu, Hongtailang, Starking, Jonathan, Hua-guan, Splenda, Huanxi, Goldspur, Golden Delicious, Jinfu No.1, Cox Orange, Jazz, Northern Spy, Cameo, Liangxiang, Honeycrisp, Mollie's Delicious, Jonagold, Qinling, Qinyan, Qinyue, Qinyun, Semei, Sekai-ichi, Red Chief, Pacific Rosa, Vallee Spwr Del, Wijcik, Smoothee, Starkrimson, Shinsekai, McIntosh, Yanguang, Yuhuazaofu, Red Delicious, Wangshan-hong
晚熟 Late maturity	2001富士、澳洲青苹、丹霞、东光、绯霞、粉红女士、富士、宫崎、国光、国红、红苹1号、鸡冠、金钟、葵花、礼泉短富、秦冠、秋富1号、秋锦、瑞香红、瑞雪、瑞阳、胜利、王林、烟富10号、烟富3号、烟富6号、燕山红、伊美、乙女、印度、长富2号 2001 Fuji, Granny Smith, Danxia, Dongguang, Feixia, Pink Lady, Fuji, Miyakiji, Ralls Janet, Guohong, Hongping 1, Ji-guan, Jinzhong, Kuihua, Liqian Fuji, Qinguan, Qiu fu No.1, Qiu jing, Ruixianghong, Ruixue, Ruiyang, Shengli, Orin, Yan-fu No.10, Yanfu No.3, Yanfu No.6, Yanshanlong, Envy, Alps Otome, Indo, Changfu No.2

4.6 mm)色谱柱(美国Waters公司)和2998二极管阵列检测器(美国Waters公司)进行有机酸组分测定,流动相为pH为2.7的0.02 mol·L<sup>-1</sup> NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>溶液;流速0.8 mL·min<sup>-1</sup>;检测波长210 nm;进样量20 μL。色谱纯:果糖、葡萄糖、蔗糖,山梨醇、苹果酸、奎宁酸、柠檬酸、草酸、莽草酸(美国Sigma公司)标样配成不同浓度测定,采用外标法定量。

**1.2.2 可溶性固形物(TSS)和可滴定酸(TA)含量的测定** 分别使用Atago手持折光仪(日本ATAGO公司)、GMK-835F数字水果酸度计(韩国G-won公司)进行测定,3次重复。

**1.2.3 甜度值、糖酸比和甜酸比的计算** 参照姚改芳等<sup>[11]</sup>对甜度值计算的方法并略有修改,蔗糖、果糖、葡萄糖和山梨醇甜度值设为1、1.75、0.7和0.4。糖酸比和甜酸比分别为可溶性总糖、甜度值与总酸的比值。

$$\text{甜度值} = \text{果糖含量} \times 1.75 + \text{蔗糖含量} \times 1 + \text{葡萄糖含量} \times 0.7 + \text{山梨醇含量} \times 0.4$$

### 1.3 数据处理

利用Microsoft Excel 2007软件对数据进行处理分析,使用SPSS 19.0软件进行相关性分析、因子分析(提取方法为主成分法,旋转法为Kaiser标准化的

四分旋转法)、系统聚类及K-均值聚类分析等数理统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 糖组分及含量的差异分析

苹果果实中总糖含量( $w$ , 后同)的变幅为 $54.15\sim133.79 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ , 均值为 $103.50 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ , 变异系数为27.16%(表2)。不同品种之间果实总糖含量有所不同, 其中伊美、清明总糖含量最高, 分别为 $133.79$ 、 $133.75 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ , 晋富1号、金冠、长富2号、瑞雪的总糖含量较高, 延光、华硕、昌红的总糖含量较低, 太平洋玫瑰的总糖含量最低, 为 $54.15 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 。果实甜度值与总糖含量的变化趋势大致相同, 变化范围是 $78.28\sim173.03$ , 平均值为 $135.21$ , 变异系数为23.7%, 金冠和清明甜度值最高, 分别为 $173.03$ 、 $172.97$ , 甜度值最低的品种是太平洋玫瑰, 为 $78.28$ 。果糖含量变化范围是 $32.22\sim68.96 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ , 平均值为 $51.93 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ , 占总糖含量50.38%, 且变异系数最小(16.54%), 其中金冠果糖含量最高, 为 $68.96 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ , 葵花和昌红的果糖含量最低, 分别为 $32.22$ 、 $32.46 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ; 蔗糖含量变化范围是 $11.95\sim52.25 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ , 平均值为 $31.33 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ , 占总糖含量的30.14%, 变异系数为25.76%, 其中伊美的蔗糖含量高于其他品种, 为 $52.25 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ , 普瑞玛、延光和首红的蔗糖含量较低, 太平洋玫瑰的蔗糖含量最低。不同品种苹果果实中葡萄糖含量变化范围是 $5.15\sim28.32 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ , 平均值为 $16.69 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ , 变异系数为31.70%, 平均占总糖含量的16.01%。其中凉香、金冠、瑞香红、富士的葡萄糖含量较高, 太平洋玫瑰、华硕、秦阳和华玉的葡萄糖含量较低, 最低为 $5.15 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ; 不同品种可溶性糖中, 山梨醇含量均较低, 其含量变化范围是 $1.23\sim6.92 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ , 平均值为 $3.67 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ , 占总糖含量3.49%, 且变异系数最大(42.18%), 说明不同品种苹果果实之间山梨醇含量差别较大, 其中清明的山梨醇含量显著高于其他品种, 夏艳山梨醇含量最低。

所有苹果品种果实的可溶性糖组分均为果糖含量最高, 其次是蔗糖, 然后是葡萄糖, 只有富士、卡米欧和秋富1号3个品种的葡萄糖高于蔗糖, 且岱绿和瑞香红的葡萄糖含量与蔗糖含量无显著性差异。

### 2.2 酸组分及含量的差异分析

如表3所示, 苹果果实中总酸含量为 $2.497\sim10.132 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ , 平均值为 $4.97 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ , 变异系数为

$32.12\%$ , 其中澳洲青苹的总酸含量最高, 为 $10.132 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ , 红玉和爵士的总酸含量相对较高, 分别为 $8.748$ 和 $8.676 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ , 而延光、金钟、夏艳等果实的总酸含量较低, 秋锦( $2.497 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ )的总酸含量最低。不同品种苹果果实中有机酸组分均表现出苹果酸含量最高, 变化范围在 $1.964\sim9.383 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 之间, 平均值为 $4.52 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ , 占总酸含量的90.44%, 且变异系数为33.78%, 其中澳洲青苹的苹果酸含量显著高于其他品种, 为 $9.383 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ , 爵士、红玉、晨阳、威杰克和粉红女士的苹果酸含量较高, 延光和金钟的苹果酸含量相对偏低, 秋锦的苹果酸含量最低; 其他有机酸中奎宁酸含量仅次于苹果酸, 变化范围是 $0.025\sim0.833 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ , 平均值为 $0.372 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ , 占总酸的7.81%, 变异系数为46.95%, 其中威杰克的奎宁酸含量最高, 为 $0.833 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ; 而望山红最低, 仅为平均值的6.72%。柠檬酸含量低于奎宁酸, 变化范围为 $0.021\sim0.094 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ , 平均值为 $0.051 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ , 占总酸的1.10%, 且变异系数最小, 为24.35%, 其中澳洲青苹的柠檬酸含量高达 $0.094 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ , 延光的柠檬酸含量最低。草酸含量的变化范围是 $0.001\sim0.060 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ , 平均值为 $0.025 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ , 占总酸的0.54%, 变异系数为38.21%, 其中烟富6号的草酸含量显著高于其他品种, 为 $0.060 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ , 瓦里红、望山红均低于 $0.01 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 。在86个苹果品种有机酸中, 莽草酸含量均最低, 其变化范围是 $0.001\sim0.022 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ , 占总酸为0.11%。通过分析不同品种苹果果实中多种有机酸含量占总酸的比值发现, 各品种苹果中苹果酸含量占总酸的比值均在80%以上, 各种有机酸组分在总酸中的占比排序为: 苹果酸>奎宁酸>柠檬酸>草酸>莽草酸。

不同品种苹果果实的甜酸比变化范围在 $11.81\sim53.96$ 之间。甜酸比大于40的品种有岱绿、秋锦、秦韵、王林、印度、烟富3号等9个品种, 甜酸比介于20~40之间的有瑞阳、新红星、蜜脆等63个品种, 甜酸比小于20的有威杰克、澳洲青苹、红玉、太平洋玫瑰等14个品种。不同苹果品种糖酸品质性状差异明显, 变异系数为8.16%~46.95%, 其中奎宁酸含量变异程度最大, 可溶性固形物含量变异程度最小。

### 2.3 糖酸指标相关性分析

对不同品种苹果果实糖酸指标进行相关性分析, 结果(表4)表明各指标之间存在一定相关性。在 $p < 0.01$ 差异水平下, 总糖含量与各种可溶性糖

表2 不同品种苹果果实中可溶性糖含量、甜度值及可溶性固形物含量

Table 2 Soluble sugars content, sweetness value and soluble solids content in apple fruits of different cultivars

Cultivar	w(果糖) Fructose content/ (mg·g <sup>-1</sup> )	w(葡萄糖) Glucose content/ (mg·g <sup>-1</sup> )	w(蔗糖) Sucrose content/ (mg·g <sup>-1</sup> )	w(山梨醇) Sorbitol content/ (mg·g <sup>-1</sup> )	w(可溶性固形物) Soluble solids content/%	w(可溶性总糖) Soluble sugar content/(mg·g <sup>-1</sup> )	甜度值 Sweetness value
2001富士 2001 Fuji	54.02±1.71	12.43±2.73	34.79±1.26	4.44±0.26	15.13±0.32	100.73	131.14
昂林 Anglin	45.67±4.06	13.56±3.53	33.30±4.84	4.26±0.48	14.13±0.49	112.78	152.40
澳洲青苹 Granny Smith	40.11±1.18	15.60±1.61	23.09±0.90	4.76±0.37	14.26±0.26	91.29	119.63
北斗 Hokuto	39.70±3.31	17.43±2.60	29.78±3.24	5.04±0.41	13.61±0.43	97.94	123.96
昌红 Changhong	54.06±0.77	12.62±0.78	18.88±0.51	2.75±0.09	11.88±0.16	66.70	85.61
晨阳 Sunrise	59.82±1.03	8.31±1.33	32.01±0.77	1.77±0.15	14.87±0.24	91.79	125.52
岱绿 Dailü	54.61±3.52	23.94±2.98	24.68±3.35	5.68±0.42	15.01±0.44	119.39	157.62
丹霞 Danxia	54.31±2.71	14.43±2.32	35.16±2.20	4.03±0.36	13.84±0.37	107.64	141.41
东光 Dongguang	60.37±1.67	19.54±2.55	29.99±1.25	6.91±0.25	12.90±0.32	108.84	138.13
恩派 Empire	49.71±0.85	10.02±1.06	19.46±0.57	3.48±0.12	14.25±0.20	86.51	121.61
绯霞 Feixia	58.94±2.72	20.26±2.38	28.58±2.20	2.32±0.38	13.31±0.38	90.86	113.17
粉红女士 Pink Lady	60.86±4.33	14.65±3.20	45.88±5.12	5.97±0.52	14.90±0.49	118.69	149.87
富士 Fuji	32.89±1.27	27.73±1.83	23.32±0.92	6.10±0.18	14.31±0.19	112.31	141.70
嘎拉 Royal Gala	46.36±0.91	16.48±1.19	38.57±0.70	3.18±0.13	13.92±0.12	116.21	152.85
甘露 Tallman's Sweet	51.80±3.19	13.47±2.57	44.49±2.61	3.85±0.39	14.58±0.38	123.11	162.74
宫崎 Miyakiji	52.46±1.73	13.20±2.74	32.29±1.26	2.84±0.27	14.02±0.33	97.47	128.67
国光 Ralls Janet	64.91±4.27	18.32±3.04	32.42±5.07	5.09±0.51	12.71±0.49	101.50	127.20
国红 Guohong	53.68±0.49	15.99±0.20	30.31±0.30	2.50±0.01	13.23±0.04	88.91	112.70
寒富 Hanfu	40.93±1.39	21.46±2.05	22.1±1.06	4.69±0.20	14.32±0.30	102.65	134.21
红将军 Benishogun	58.41±1.09	16.86±1.28	28.68±0.78	3.61±0.25	13.76±0.25	99.12	129.36
红锦富 Hongjinfu	60.58±3.58	12.11±2.94	22.73±3.80	3.65±0.43	13.21±0.46	82.97	110.52
红苹1号 Hongping 1	40.68±0.86	13.87±1.11	27.44±0.66	2.94±0.33	14.79±0.23	85.54	110.57
红太郎 Hongtailang	61.54±1.76	21.07±2.25	45.92±1.31	6.69±0.29	12.61±0.33	128.29	158.91
红星 Starking	38.71±0.78	14.69±0.79	29.37±0.54	2.89±0.10	13.17±0.16	95.08	125.04
红玉 Jonathan	43.02±3.72	17.07±2.96	30.46±4.29	4.87±0.43	12.72±0.47	99.62	127.01
华冠 Huaguan	57.50±3.32	11.23±2.58	41.90±2.82	2.96±0.40	13.28±0.41	111.18	147.36
华丽 Splendaur	37.94±2.17	14.28±2.01	36.90±1.87	3.82±0.33	15.41±0.36	116.55	156.12
华美 Huamei	40.30±0.55	16.44±0.47	25.63±0.41	3.14±0.06	13.11±0.12	95.73	126.80
华硕 Huashuo	65.04±0.51	5.61±0.58	25.61±0.33	1.95±0.17	12.84±0.08	69.70	94.25
华玉 Huayu	50.38±1.81	7.66±1.75	33.53±1.43	1.74±0.30	13.22±0.34	87.33	117.29
欢喜 Huanxi	61.66±1.59	15.6±2.85	19.28±1.18	1.25±0.44	12.76±0.32	74.84	98.44
鸡冠 Jiguan	54.80±0.95	13.45±1.29	30.13±0.75	3.38±0.15	12.61±0.24	79.86	98.47
金矮生 Goldspur	61.30±1.58	13.45±2.25	30.95±1.14	2.77±0.24	14.48±0.30	104.30	141.46
金冠 Golden Delicious	60.06±0.54	28.11±0.89	30.59±0.40	5.21±0.05	14.82±0.09	132.87	173.03
金世纪 Jinshiji	50.52±0.93	11.24±1.20	35.75±0.71	2.92±0.14	14.75±0.23	103.78	139.05
金钟 Jinzhong	58.13±3.21	12.14±2.58	29.22±2.64	1.97±0.39	14.31±0.31	95.79	130.30
晋富1号 Jinfu No.1	57.32±3.55	23.98±2.90	35.49±3.48	6.38±0.28	14.46±0.44	133.16	172.62
橘苹 Cox Orange	53.58±1.62	12.59±2.50	31.23±1.20	3.56±0.25	13.57±0.32	112.29	155.06
爵士 Jazz	37.41±2.09	10.87±1.93	36.54±1.63	2.26±0.33	13.51±0.36	97.28	128.37
君袖 Northern Spy	55.11±3.08	8.75±1.93	23.40±1.62	1.29±0.33	12.10±0.30	71.37	96.42
卡米欧 Cameo	49.14±1.25	18.99±1.65	19.15±0.91	1.79±0.18	13.32±0.26	82.94	108.44
葵花 Kuihua	49.07±1.91	10.68±1.87	29.02±1.58	3.01±0.31	13.35±0.35	74.90	94.05
礼泉短富 Liquan Fuji	49.96±0.87	22.75±1.10	38.85±0.58	5.47±0.12	15.21±0.20	127.92	163.46
丽红 Lihong	48.13±1.56	17.82±2.36	30.98±1.16	3.34±0.24	14.49±0.31	116.31	157.10
凉香 Liangxiang	59.85±3.34	28.32±2.77	36.20±3.26	5.71±0.41	14.71±0.43	127.74	158.96
蜜脆 Honeycrisp	64.58±3.36	16.97±1.98	35.23±0.99	2.11±0.20	15.48±0.28	118.88	160.56

续表

Continued Table

品种 Cultivar	w(果糖) Fructose content/ (mg·g <sup>-1</sup> )	w(葡萄糖) Glucose content/ (mg·g <sup>-1</sup> )	w(蔗糖) Sucrose content/ (mg·g <sup>-1</sup> )	w(山梨醇) Sorbitol content/ (mg·g <sup>-1</sup> )	w(可溶性固形物) Soluble solids content/%	w(可溶性总糖) Soluble sugar content/(mg·g <sup>-1</sup> )	甜度值 Sweetness value
魔迪 Modi	57.14±0.78	13.25±0.89	22.04±0.47	2.18±0.09	12.14±0.27	77.77	102.71
摩里士 Mollie's Delicious	57.98±4.48	16.49±3.38	37.92±5.33	2.25±0.71	12.92±0.49	110.72	144.96
普瑞玛 Punama	56.02±1.54	14.74±2.30	17.87±1.14	3.53±0.21	14.30±0.31	82.46	110.67
乔纳金 Jonagold	36.53±1.88	20.88±2.89	41.49±1.41	3.19±0.29	13.40±0.37	123.05	158.00
秦冠 Qinguan	45.31±0.66	26.91±0.56	24.35±0.45	6.11±0.08	13.91±0.14	107.31	133.03
秦星 Qinxing	49.94±0.68	14.98±0.58	39.96±0.54	2.11±0.11	12.86±0.16	107.67	139.89
秦艳 Qinyan	54.42±4.34	15.34±3.31	31.03±5.21	2.84±0.61	13.42±0.49	101.01	133.55
秦阳 Qinyang	59.85±0.65	6.27±0.55	25.94±0.43	3.34±0.06	11.21±0.12	76.48	103.30
秦月 Qinyue	52.62±0.66	17.34±0.55	28.47±0.43	1.23±0.17	12.90±0.14	101.35	136.14
秦韵 Qinyun	55.59±3.18	20.29±2.57	39.42±2.28	2.97±0.39	13.82±0.38	121.09	157.03
清明 Semei	44.49±2.63	18.03±2.25	43.76±2.07	6.92±0.35	15.71±0.37	133.75	172.97
秋富1号 Qiufu No.1	50.63±0.89	27.59±1.89	25.34±0.63	3.49±0.13	12.51±0.21	114.55	147.77
秋锦 Qiujing	54.33±1.45	13.88±2.25	34.08±1.12	4.38±0.21	12.12±0.30	99.58	128.23
瑞香红 Ruixianghong	55.16±2.57	27.98±2.06	28.98±1.91	3.23±0.34	14.92±0.37	120.04	154.60
瑞雪 Ruixue	63.75±1.39	22.53±2.23	45.98±1.07	5.66±0.25	15.67±0.30	129.59	161.00
瑞阳 Ruiyang	32.46±2.51	24.02±1.89	33.51±1.58	2.97±0.27	14.91±0.36	114.18	145.45
胜利 Shengli	47.25±2.48	14.92±2.06	33.93±1.89	4.57±0.34	16.08±0.36	98.76	125.50
世界1号 Sekai-ichi	52.20±3.94	14.34±3.02	48.41±4.78	6.31±0.45	14.50±0.29	129.11	166.08
首红 Red Chief	47.23±0.52	13.59±0.38	18.46±0.34	2.08±0.02	11.82±0.08	81.15	111.09
太平洋玫瑰 Pacific Rose	67.31±1.29	5.15±1.65	11.95±0.97	1.56±0.19	12.57±0.27	54.15	78.28
瓦里短枝 Vallee Spwr Del	64.18±0.84	15.40±1.02	21.20±0.55	2.81±0.12	12.21±0.20	95.42	131.11
王林 Orin	46.33±2.18	25.15±2.02	38.52±1.88	5.34±0.34	15.51±0.36	128.86	163.00
望山红 Wangshanred	53.86±2.72	15.66±2.00	19.94±1.83	2.56±0.33	14.17±0.36	84.52	113.06
威塞克 Wijcik	45.69±0.53	12.18±0.45	18.93±0.39	4.70±0.13	10.91±0.28	99.56	140.90
无锈金冠 Smoothee	32.22±0.71	17.71±0.76	28.95±0.50	1.55±0.19	12.60±0.16	100.83	134.06
夏艳 Xiayan	35.48±1.54	12.52±1.55	25.39±0.89	1.76±0.17	13.10±0.26	77.08	100.32
新红星 Starkrimson	55.42±1.87	22.38±1.80	26.45±1.48	3.22±0.11	14.12±0.34	107.64	140.69
新世界 Shinsekai	41.28±1.67	14.71±2.50	42.65±1.20	1.95±0.25	14.01±0.32	107.72	138.45
旭 McIntosh	47.84±2.57	19.24±2.12	38.88±2.06	5.25±0.35	14.75±0.37	117.78	149.68
烟富10号 Yanfu No.10	44.40±2.98	21.24±2.56	31.10±2.26	3.41±0.38	15.12±0.38	113.06	147.64
烟富3号 Yanfu No.3	48.41±1.83	20.88±1.79	31.31±1.47	5.36±0.30	14.57±0.34	117.91	153.70
烟富6号 Yanfu No.6	47.61±1.38	18.52±2.02	30.48±1.03	4.23±0.20	15.32±0.29	113.65	150.87
延光 Yanguang	52.93±0.81	9.83±0.98	18.07±0.54	1.32±0.22	12.20±0.21	69.91	96.68
燕山红 Yanshanred	57.52±2.77	16.50±2.53	37.23±2.22	3.81±0.38	14.31±0.38	110.47	142.94
伊美 Envy	68.96±4.48	21.53±2.82	52.25±3.34	5.22±0.41	16.11±0.44	133.79	165.30
乙女 Alps Otome	65.09±4.89	15.53±3.39	35.69±5.68	3.81±0.62	14.12±0.49	113.97	151.23
印度 Indo	60.42±1.35	16.01±1.46	37.54±0.88	2.20±0.15	13.68±0.26	106.13	137.79
玉华早富 Yuhuazaofu	52.40±0.94	19.65±1.23	27.24±0.71	6.59±0.14	14.87±0.23	113.30	148.32
元帅 Red Delicious	54.41±1.13	18.92±1.49	37.64±0.88	4.91±0.17	13.22±0.26	115.77	147.90
长富2号 Changfu No.2	47.02±1.91	23.37±1.83	40.78±1.51	5.69±0.31	15.40±0.35	130.41	165.42
平均值 Mean	51.93	16.69	31.33	3.67	13.83	103.50	135.21
标准偏差 SD	8.59	5.29	8.07	1.55	1.13	28.11	32.34
变异系数 CV%	16.54	31.70	25.76	42.18	0.08	27.16	23.70

表3 不同品种苹果果实中有机酸含量、甜酸比和糖酸比

Table 3 Organic acid content, sweetness/acid ratio and sugar-acid ratio in apple fruits of different cultivars

Cultivar	w(苹果酸) Malic acid content/ (mg·g <sup>-1</sup> )	w(奎宁酸) Quinate acid content/ (mg·g <sup>-1</sup> )	w(柠檬酸) Citric acid content/ (mg·g <sup>-1</sup> )	w(草酸) Oxalic acid content/ (mg·g <sup>-1</sup> )	w(莽草酸) Shikimic acid content/ (mg·g <sup>-1</sup> )	w(可滴定酸) Titratable acid content/%	w(总酸) Total acid content/ (mg·g <sup>-1</sup> )	甜酸比 Sweetness- acid ratio	糖酸比 Sugar- acid ratio
2001富士 2001 Fuji	4.247±0.949	0.462±0.002	0.022±0.015	0.017±0.001	0.002±0.000 2	0.340±0.044	4.750	27.61	21.21
昂林 Anglin	3.512±0.508	0.787±0.029	0.056±0.002	0.025±0.006	0.003±0.000 1	0.240±0.012	4.381	34.79	25.74
澳洲青苹 Granny Smith	9.383±0.992	0.619±0.040	0.094±0.016	0.034±0.008	0.002±0.000 2	0.790±0.081	10.132	11.81	9.01
北斗 Hokuto	3.148±0.520	0.180±0.047	0.037±0.001	0.017±0.002	0.003±0.000 6	0.210±0.074	3.385	36.62	28.93
昌红 Changhong	3.574±0.634	0.239±0.048	0.034±0.006	0.020±0.004	0.002±0.000 2	0.310±0.033	3.869	22.13	17.24
晨阳 Sunrise	7.613±0.674	0.440±0.051	0.051±0.007	0.045±0.012	0.006±0.001 5	0.490±0.071	8.155	15.39	11.26
岱绿 Dailü	2.572±0.599	0.246±0.058	0.060±0.005	0.040±0.009	0.003±0.000 6	0.280±0.020	2.921	53.96	40.87
丹霞 Danxia	4.092±0.650	0.629±0.059	0.053±0.007	0.016±0.001	0.007±0.001 7	0.370±0.049	4.797	29.48	22.44
东光 Dongguang	2.497±0.499	0.320±0.059	0.032±0.003	0.018±0.002	0.002±0.000 2	0.310±0.035	2.869	48.14	37.93
恩派 Empire	6.050±0.619	0.655±0.063	0.053±0.006	0.019±0.003	0.004±0.001 0	0.430±0.062	6.781	17.93	12.76
绯霞 Feixia	3.134±0.587	0.502±0.067	0.041±0.004	0.021±0.004	0.002±0.000 3	0.270±0.016	3.700	30.58	24.56
粉红女士 Pink Lady	7.191±0.695	0.608±0.068	0.060±0.009	0.018±0.002	0.001±0.000 8	0.570±0.075	7.878	19.02	15.07
富士 Fuji	4.490±0.671	0.281±0.070	0.055±0.007	0.030±0.007	0.003±0.000 6	0.340±0.044	4.859	29.16	23.11
嘎拉 Royal Gala	5.790±0.701	0.281±0.073	0.057±0.009	0.030±0.007	0.003±0.000 7	0.470±0.068	6.161	24.81	18.86
甘露 Tallman's Sweet	4.602±0.587	0.423±0.074	0.064±0.004	0.051±0.015	0.007±0.001 8	0.380±0.049	5.147	31.62	23.92
宫崎 Miyakiji	4.160±0.569	0.329±0.083	0.041±0.003	0.017±0.002	0.003±0.000 7	0.310±0.036	4.550	28.28	21.42
国光 Ralls Janet	6.144±0.730	0.357±0.086	0.072±0.006	0.021±0.005	0.006±0.001 5	0.430±0.063	6.600	19.27	15.38
国红 Guohong	2.836±0.606	0.543±0.089	0.039±0.005	0.024±0.006	0.002±0.000 3	0.310±0.036	3.444	32.73	25.82
寒富 Hanfu	6.048±0.706	0.394±0.089	0.069±0.010	0.019±0.003	0.004±0.001 0	0.400±0.054	6.534	20.54	15.71
红将军 Benishogun	5.560±0.677	0.281±0.093	0.062±0.007	0.029±0.007	0.002±0.000 3	0.570±0.077	5.934	21.80	16.70
红锦富 Hongjinfu	2.846±0.531	0.257±0.094	0.042±0.001	0.026±0.006	0.003±0.000 7	0.300±0.029	3.174	34.82	26.14
红苹1号 Hongping 1	5.909±0.618	0.318±0.095	0.051±0.006	0.017±0.002	0.004±0.001 0	0.510±0.072	6.299	17.55	13.58
红太郎 Hongtailang	4.608±0.583	0.320±0.099	0.057±0.004	0.028±0.006	0.004±0.001 0	0.410±0.057	5.017	31.67	25.57
红星 Starking	4.260±0.562	0.369±0.100	0.057±0.002	0.036±0.009	0.015±0.002 7	0.310±0.037	4.737	26.40	20.07
红玉 Jonathan	8.174±0.751	0.494±0.101	0.057±0.006	0.019±0.003	0.004±0.001 1	0.650±0.028	8.748	14.52	11.39
华冠 Huaguan	4.210±0.590	0.207±0.104	0.055±0.004	0.019±0.003	0.004±0.001 1	0.380±0.051	4.495	32.78	24.73
华丽 Splendaur	7.042±0.752	0.203±0.106	0.071±0.006	0.020±0.004	0.008±0.002 1	0.520±0.073	7.344	21.26	15.87
华美 Huamei	3.995±0.621	0.303±0.109	0.042±0.006	0.021±0.005	0.002±0.000 4	0.390±0.053	4.363	29.06	21.94
华硕 Huashuo	4.164±0.636	0.677±0.110	0.046±0.006	0.028±0.006	0.005±0.001 3	0.370±0.049	4.920	19.16	14.17
华玉 Huayu	3.428±0.558	0.158±0.111	0.043±0.002	0.030±0.007	0.005±0.001 3	0.270±0.021	3.664	32.01	23.84
欢喜 Huanxi	2.899±0.535	0.120±0.115	0.044±0.002	0.020±0.004	0.003±0.000 8	0.280±0.021	3.086	31.90	24.25
鸡冠 Jiguan	5.297±0.593	0.264±0.115	0.043±0.004	0.040±0.010	0.008±0.002 2	0.260±0.016	5.652	17.42	14.13
金矮生 Goldspur	3.750±0.649	0.448±0.061	0.049±0.007	0.016±0.001	0.005±0.001 3	0.290±0.023	4.268	33.14	24.44
金冠 Golden Delicious	5.575±0.710	0.235±0.064	0.048±0.010	0.024±0.006	0.022±0.008 0	0.410±0.061	5.904	29.31	22.51
金世纪 Jinshiji	5.771±0.697	0.689±0.065	0.061±0.009	0.024±0.006	0.009±0.003 4	0.250±0.012	6.554	21.22	15.84
金钟 Jinzhong	2.292±0.504	0.394±0.065	0.043±0.001	0.019±0.003	0.002±0.000 4	0.300±0.030	2.750	47.38	34.83
晋富1号 Jinfu No.1	5.427±0.597	0.470±0.066	0.061±0.005	0.040±0.010	0.005±0.001 3	0.460±0.066	6.003	28.76	22.18
橘苹 Cox Orange	5.658±0.928	0.235±0.066	0.067±0.013	0.035±0.008	0.009±0.000 2	0.520±0.073	6.004	25.83	18.70
爵士 Jazz	8.265±0.693	0.323±0.067	0.057±0.009	0.023±0.006	0.008±0.000 4	0.560±0.075	8.676	14.80	11.21
君袖 Northern Spy	4.505±0.649	0.238±0.067	0.064±0.007	0.014±0.001	0.005±0.001 4	0.260±0.016	4.826	19.98	14.79
卡米欧 Cameo	3.713±0.574	0.189±0.068	0.038±0.003	0.030±0.007	0.003±0.000 8	0.400±0.055	3.973	27.29	20.88
葵花 Kuihua	3.490±0.545	0.172±0.069	0.038±0.002	0.026±0.006	0.005±0.001 4	0.310±0.038	3.731	25.21	20.07
礼泉短富 Liquan Fuji	5.986±0.680	0.492±0.072	0.067±0.008	0.029±0.007	0.005±0.001 4	0.380±0.052	6.579	24.85	19.45
丽红 Lihong	6.005±0.649	0.543±0.073	0.062±0.007	0.030±0.007	0.009±0.001 5	0.420±0.061	6.649	23.63	17.49
凉香 Liangxiang	4.004±0.631	0.558±0.076	0.057±0.006	0.020±0.004	0.003±0.000 8	0.300±0.030	4.642	34.24	27.52

续表

Continued Table

品种 Cultivar	w(苹果酸) Malic acid content/ (mg·g <sup>-1</sup> )	w(奎宁酸) Quinate acid content/ (mg·g <sup>-1</sup> )	w(柠檬酸) Citric acid content/ (mg·g <sup>-1</sup> )	w(草酸) Oxalic acid content/ (mg·g <sup>-1</sup> )	w(莽草酸) Shikimic acid content/ (mg·g <sup>-1</sup> )	w(可滴定酸) Titratable acid content/%	w(总酸) Total acid content/ (mg·g <sup>-1</sup> )	甜酸比 Sweetness- acid ratio	糖酸比 Sugar- acid ratio
蜜脆 Honeycrisp	4.827±0.617	0.424±0.077	0.042±0.006	0.018±0.002	0.002±0.000 4	0.520±0.075	5.313	30.30	22.38
魔迪 Modi	4.283±0.668	0.174±0.077	0.045±0.007	0.025±0.006	0.006±0.001 5	0.380±0.053	4.533	22.66	17.16
摩里士 Mollie's Delicious	4.513±0.671	0.559±0.078	0.062±0.007	0.019±0.003	0.004±0.001 1	0.380±0.053	5.157	28.11	21.47
普瑞玛 Punama	3.457±0.545	0.293±0.078	0.053±0.002	0.020±0.004	0.003±0.000 8	0.180±0.081	3.826	28.93	21.55
乔纳金 Jonagold	4.187±0.579	0.333±0.079	0.050±0.004	0.027±0.006	0.003±0.000 8	0.380±0.053	4.600	34.35	26.75
秦冠 Qinguan	3.191±0.611	0.255±0.079	0.056±0.006	0.020±0.004	0.006±0.001 5	0.290±0.023	3.528	37.71	30.42
秦星 Qinxing	3.115±0.601	0.298±0.083	0.051±0.005	0.032±0.008	0.006±0.001 6	0.290±0.023	3.502	39.95	30.75
秦艳 Qinyan	5.132±0.681	0.414±0.084	0.033±0.008	0.019±0.003	0.003±0.000 9	0.510±0.072	5.601	23.85	18.04
秦阳 Qinyang	2.643±0.525	0.235±0.087	0.055±0.001	0.024±0.006	0.007±0.001 8	0.250±0.014	2.964	34.85	25.80
秦月 Qinyue	3.129±0.536	0.432±0.087	0.047±0.002	0.024±0.006	0.003±0.000 9	0.370±0.049	3.635	37.45	27.88
秦韵 Qinyun	2.926±0.525	0.158±0.088	0.036±0.001	0.021±0.005	0.002±0.000 4	0.350±0.047	3.143	49.96	38.53
清明 Semei	5.862±0.723	0.151±0.090	0.032±0.006	0.021±0.005	0.001±0.000 5	0.460±0.068	6.067	28.51	22.05
秋富 1号 Qiufu No.1	4.842±0.682	0.636±0.091	0.062±0.008	0.028±0.007	0.002±0.000 5	0.300±0.032	5.570	26.53	20.57
秋锦 Qijing	1.964±0.508	0.463±0.092	0.036±0.004	0.029±0.007	0.005±0.001 4	0.110±0.047	2.497	51.34	39.87
瑞香红 Ruixianghong	4.746±0.577	0.228±0.093	0.041±0.003	0.019±0.004	0.018±0.008 0	0.310±0.038	5.052	30.60	23.76
瑞雪 Ruixue	5.685±0.691	0.639±0.093	0.051±0.009	0.026±0.006	0.003±0.000 9	0.470±0.069	6.404	25.14	20.23
瑞阳 Ruiyang	3.398±0.548	0.332±0.094	0.050±0.002	0.020±0.004	0.002±0.000 5	0.300±0.032	3.802	38.26	30.03
胜利 Shengli	2.532±0.560	0.513±0.095	0.056±0.002	0.023±0.006	0.003±0.000 9	0.270±0.020	3.127	40.14	31.59
世界 1号 Sekai-ichi	4.754±0.632	0.138±0.103	0.045±0.006	0.014±0.001	0.007±0.002 0	0.330±0.043	4.958	33.50	26.04
首红 Red Chief	3.816±0.601	0.477±0.069	0.067±0.005	0.037±0.009	0.006±0.001 6	0.270±0.020	4.403	25.23	18.43
太平洋玫瑰 Pacific Rose	3.301±0.578	0.699±0.069	0.022±0.003	0.017±0.002	0.012±0.000 1	0.290±0.024	4.051	19.32	13.37
瓦里短枝 Vallee Spwr Del	4.292±0.641	0.146±0.069	0.040±0.006	0.001±0.001	0.005±0.001 4	0.290±0.024	4.484	29.24	21.28
王林 Orin	3.118±0.564	0.269±0.070	0.064±0.003	0.021±0.005	0.013±0.000 6	0.250±0.014	3.485	46.77	36.97
望山红 WangshanHong	3.047±0.576	0.025±0.008	0.048±0.003	0.003±0.001	0.001±0.000 9	0.320±0.043	3.124	36.20	27.06
威塞克 Wijcik	7.602±0.715	0.833±0.072	0.053±0.010	0.024±0.006	0.006±0.001 6	0.440±0.065	8.518	16.54	11.69
无锈金冠 Smoothee	3.769±0.606	0.350±0.073	0.044±0.005	0.015±0.001	0.002±0.000 5	0.280±0.023	4.180	32.07	24.12
夏艳 Xiayan	2.658±0.568	0.087±0.075	0.048±0.003	0.015±0.001	0.001±0.000 2	0.290±0.028	2.809	35.71	27.44
新红星 Starkrimson	4.503±0.631	0.728±0.077	0.040±0.006	0.030±0.008	0.014±0.004 7	0.250±0.016	5.315	26.47	20.25
新世界 Shinsekai	6.576±0.681	0.371±0.080	0.058±0.008	0.047±0.013	0.002±0.000 5	0.420±0.061	7.054	19.63	15.27
旭 McIntosh	6.060±0.750	0.596±0.081	0.063±0.007	0.039±0.009	0.004±0.001 2	0.570±0.077	6.762	22.14	17.42
烟富 10 号 Yanfu No.10	3.740±0.525	0.433±0.084	0.068±0.001	0.018±0.002	0.006±0.001 6	0.300±0.032	4.265	34.62	26.51
烟富 3 号 Yanfu No.3	3.420±0.678	0.307±0.085	0.046±0.008	0.030±0.008	0.003±0.000 9	0.330±0.044	3.806	40.39	30.98
烟富 6 号 Yanfu No.6	3.640±0.517	0.303±0.087	0.042±0.001	0.060±0.016	0.002±0.000 5	0.360±0.049	4.047	37.28	28.08
延光 Yanguang	2.478±0.644	0.145±0.087	0.021±0.006	0.022±0.005	0.002±0.000 7	0.120±0.081	2.668	36.24	26.20
燕山红 YanshanHong	3.912±0.531	0.363±0.088	0.053±0.001	0.018±0.003	0.007±0.002 0	0.290±0.028	4.353	32.84	25.38
伊美 Envy	4.368±0.739	0.397±0.090	0.041±0.006	0.017±0.002	0.004±0.001 2	0.440±0.065	4.827	34.25	27.72
乙女 Alps Otome	6.559±0.786	0.225±0.095	0.055±0.012	0.023±0.006	0.002±0.000 5	0.570±0.077	6.864	22.03	16.60
印度 Indo	2.967±0.492	0.177±0.097	0.055±0.001	0.029±0.007	0.006±0.001 7	0.300±0.033	3.234	42.61	32.82
玉华早富 Yuhuazaofu	5.597±0.585	0.413±0.097	0.066±0.004	0.039±0.009	0.006±0.001 7	0.370±0.049	6.121	24.23	18.51
元帅 Red Delicious	5.424±0.581	0.397±0.098	0.061±0.004	0.040±0.010	0.012±0.004 1	0.340±0.046	5.934	24.92	19.51
长富 2 号 Changfu No.2	4.761±1.012	0.361±0.100	0.071±0.008	0.030±0.008	0.002±0.000 6	0.310±0.041	5.225	31.66	24.96
平均值 Mean	4.520	0.372	0.051	0.025	0.006	0.363	4.973	29.45	22.55
标准偏差 SD	1.526	0.175	0.012	0.010	0.003	0.114	1.597	8.82	6.89
变异系数 CV%	33.78	46.95	24.35	38.21	44.65	31.42	32.12	29.94	30.55

表4 不同苹果品种果实糖酸指标相关性分析  
Table 4 Correlation analysis of sweet and acid contents in apple fruits of different cultivars

指标 Index	果糖 Fructose	葡萄糖 Glucose	蔗糖 Sucrose	山梨醇 Sorbitol	可溶性总糖 Soluble sugar	甜度值 Sweetness value	可溶性总糖 Soluble sugar	苹果酸 Malic acid	奎宁酸 Quinone acid	柠檬酸 Citric acid	莽草酸 Shikimic acid	总酸 Total acid	可滴定酸 Titratable acid	甜酸比 Sweetness-acid ratio	糖酸比 Sugar-acid ratio	果糖比 Sugar-acid ratio
果糖 Fructose	1															
葡萄糖 Glucose	0.533***	1														
蔗糖 Sucrose	0.439***	0.216*	1													
山梨醇 Sorbitol	0.498***	0.543***	0.378***	1												
可溶性总糖 Soluble sugar	0.867***	0.687***	0.749***	0.648***	1											
甜度值 Sweetness value	0.933***	0.618***	0.703***	0.590***	0.986***	1										
可溶性固形物 Soluble solids	0.513***	0.406***	0.477***	0.416***	0.610***	0.596***	1									
苹果酸 Malic acid	0.266*	-0.004	0.202	0.126	0.233*	0.257*	0.173	1								
奎宁酸 Quinone acid	0.157	-0.013	0.034	0.117	0.095	0.119	0.070	0.305***	1							
柠檬酸 Citric acid	0.321***	0.212	0.173	0.264*	0.314***	0.321***	0.188	0.507***	0.220*	1						
草酸 Oxalic acid	0.169	0.068	0.150	0.121	0.177	0.182	0.097	0.192	0.149	0.290***	1					
莽草酸 Shikimic acid	0.170	0.114	-0.015	0.021	0.109	0.129	0.022	0.136	0.048	0.096	0.117	1				
总酸 Total acid	0.276*	-0.003	0.197	0.231*	0.237*	0.263*	0.175	0.904**	0.404**	0.518**	0.208	0.139	1			
可滴定酸 Titratable acid	0.250*	0.024	0.245*	0.197	0.251*	0.266*	0.233*	0.809**	0.167	0.401**	0.139	-0.091	0.795**	1		
甜酸比 Sweetness-acid ratio	0.197	0.289***	0.144	0.105	0.251*	0.235*	0.116	-0.804**	-0.323**	-0.290**	-0.087	-0.133	-0.806**	-0.582	1	
糖酸比 Sugar-acid ratio	0.190	0.343***	0.187	0.157	0.287***	0.256*	0.140	-0.789**	-0.321**	-0.276*	-0.083	-0.134	-0.792**	-0.569**	0.995**	1

Note: “\*”表示相关性显著( $p < 0.05$ )；“\*\*”表示相关性极显著( $p < 0.01$ )。

含量呈极显著相关,尤其与果糖含量的相关性最强( $r=0.867$ )；果糖含量与葡萄糖、蔗糖、山梨醇含量表现出极显著正相关,且与葡萄糖含量相关性最强( $r=0.533$ )；可溶性固形物含量与总糖和可溶性糖组分含量呈极显著正相关。总酸含量与苹果酸含量表现出极显著正相关( $r=0.904$ ),苹果酸含量与柠檬酸和奎宁酸含量呈极显著正相关,相关系数分别为0.507和0.305；可滴定酸含量与总酸、苹果酸、柠檬酸含量呈极显著正相关,与苹果酸含量相关性最强( $r=0.809$ )。分析可溶性糖含量和有机酸组分含量的相关性,可以看出苹果酸含量与果糖含量呈显著正相关( $r=0.226, p < 0.05$ ),柠檬酸含量和果糖含量呈极显著正相关。甜酸比与总酸含量呈极显著负相关,且高于其与甜度值的相关性。

#### 2.4 糖酸评价指标的选择

采用主成分分析法,对构成苹果糖酸评价的11个主要指标进行因子分析。结果表明,前2个因子为主因子,其所包含的信息量占总体信息量的85.124%(表5)。因子1的方差贡献率为44.853%,代表性变量(因子权重较大的变量)为甜度值和总糖,定义为糖含量因子。因子2的方差贡献率为40.27%,代表性变量为苹果酸和总酸,定义为酸含量因子。

表5 苹果中糖酸指标因子分析结果

Table 5 Factor analysis results of sweet and acid indexes in apples

指标 Index	PC1	PC2
果糖 Fructose	0.873	0.073
葡萄糖 Glucose	0.671	-0.205
蔗糖 Sucrose	0.708	0.093
可溶性总糖 Soluble sugar	0.984	0.015
甜度值 Sweetness value	0.980	0.048
苹果酸 Malic acid	0.193	0.964
总酸 Total acid	0.198	0.962
甜酸比 Sweetness-acid ratio	0.301	-0.919
糖酸比 Sugar-acid ratio	0.341	-0.907
可溶性固形物 Soluble solids	0.709	0.054
可滴定酸 Titratable acid	0.275	0.807
方差贡献率 Variance contribution/%	44.853	40.271
累计贡献率 Cumulative contribution/%	85.124	

11项苹果糖酸风味指标数据经规格化转换后,采用Pearson法进行系统聚类(图1)。可将11项苹果风味指标聚为3类,第1类包括甜酸比和糖酸比,为风味指标;第2类包括可溶性总糖含量、甜度值、果糖含量、蔗糖含量、可溶性固形物含量、葡萄糖含量,为甜味指标;第3类包括苹果酸含量、总酸含量、

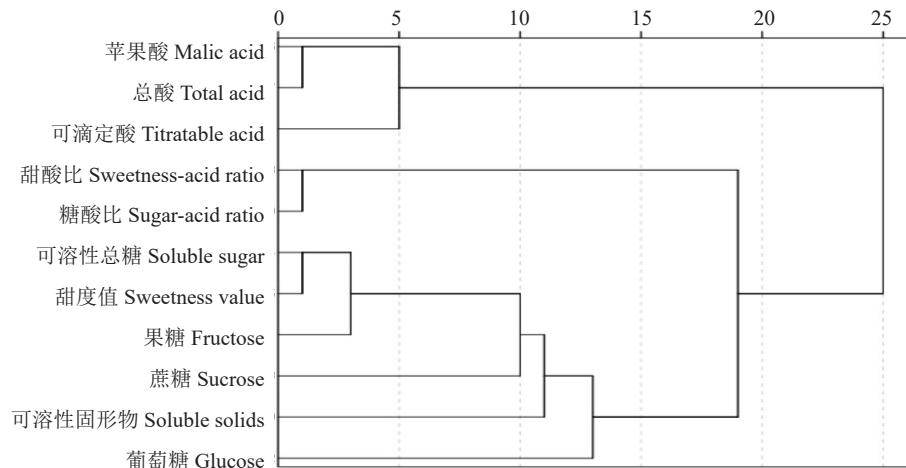


图 1 11项苹果糖酸风味指标的系统聚类谱系图

Fig. 1 Hierarchical clustering pedigree of 11 sweet and sour flavor indicators

可滴定酸含量,为酸味指标。结合相关性分析,甜酸比与总糖和多种可溶性糖组分含量表现出极显著正相关,与苹果酸和总酸含量表现出极显著负相关。因此,选择总糖含量、苹果酸含量、甜酸比3项指标为苹果糖酸组分含量的评价指标。

## 2.5 品种糖酸评价

将确定的总糖含量、苹果酸含量、甜酸比3项指标为参数,采用K-均值法对86个品种进行动态聚类,分为4类,聚类结果及各个品种的糖酸组分评价(表6)。第1类样品共25个,包括2个中熟品种,14个中晚熟品种和9个晚熟品种,糖酸组分特征为高糖高酸,总糖含量最高、酸含量较高、甜酸比值中等,

如粉红女士、礼泉短富、清明、瑞香红、瑞雪等;第2类样品共23个,包括1个早熟品种,其余均为中晚熟和晚熟品种,这类品种果实总糖含量较高、酸含量最低、甜酸比值最高,偏甜,如岱绿、摩里士、瑞阳、王林、印度等;第3类样品共22个,包括3个早熟品种,1个中熟品种,10个中晚熟品种,8个晚熟品种,糖酸特征为总糖含量较低,酸含量高,甜酸比最低,偏酸,如澳洲青苹、晨阳、国光、爵士等;第4类样品共16个,2个早熟品种,4个中熟品种,7个中晚熟品种,3个晚熟品种,糖酸组分特征为低糖低酸,糖含量最低、酸含量较低、甜酸比中等,如秦阳、华玉、太平洋玫瑰、君袖等。

表 6 最终聚类中心及 86 个品种的聚类结果

Table 6 The final cluster center and cluster results of 86 cultivars

组别 Group	w(总糖) Soluble sugar con- tent/(mg·g <sup>-1</sup> )	w(苹果酸) Malic acid content/ (mg·g <sup>-1</sup> )	甜酸比 Sweetness- acid ratio	品种 Cultivar
1	122.63	5.28	28.43	粉红女士、富、嘎拉、甘露、红太郎、华丽、金冠、晋富1号、橘萍、礼泉短富、丽红、凉香、蜜脆、乔纳金、清明、秋富1号、瑞香红、瑞雪、世界1号、旭、伊美、乙女、玉华早富、元帅、长富2号 Pink Lady, Fuji, Royal Gala, Tallman's Sweet, Hongtailang, Splenda, Golden Delicious, Jinfu No.1, Cox Orange, Liquan Fuji, Lihong, Liangxiang, Honeycrisp, Jonagold, Semei, Qiu fu No.1, Ruixianghong, Ruixue, Sekai-ichi, McIntosh, Envy, Alps Otome, Yuhuazaofu, Red Delicious, Changfu No.2
2	108.21	3.29	39.05	昂林、北斗、岱绿、丹霞、东光、华冠、金矮生、金钟、摩里士、秦冠、秦星、秦月、秦韵、秋锦、瑞阳、胜利、王林、无锈金冠、烟富10号、烟富3号、烟富6号、燕山红、印度 Anglin, Hokuto, Dailü, Danxia, Dongguang, Huaguan, Goldspur, Jinzhong, Mollie's Delicious, Qinguan, Qinxing, Qinyue, Qinyun, Qiujiang, Ruiyang, Shengli, Orin, Smoothee, Yanfu No.10, Yanfu No.3, Yanfu No.6, Yanshanhong, Indo
3	97.11	5.70	22.15	2001富士、澳洲青苹、晨阳、恩派、绯霞、宫崎、国光、国红、寒富、红将军、红萍1号、红星、红玉、华美、鸡冠、金世纪、爵士、秦艳、瓦里短枝、威塞克、新红星、新世界 2001 Fuji, Granny Smith, Sunrise, Empire, Feixia, Miyakiji, Ralls Janet, Guohong, Hanfu, Benishogun, Hongping 1, Starkling, Jonathan, Huamei, Jiguan, Jinshiji, Jazz, Qinyan, Vallee Spwr Del, Wijcik, Starkrimson, Shinsekai
4	76.13	3.51	27.59	昌红、红锦富、华硕、华玉、欢喜、君袖、卡米欧、葵花、魔迪、普瑞玛、秦阳、首红、太平洋玫瑰、望山红、夏艳、延光 Changhong, Hongjinfu, Huashuo, Huayu, Huanxi, Northern Spy, Cameo, Kuihua, Modi, Punama, Qinyang, Red Chief, Pacific Rose, Wangshanlong, Xiayan, Yanguang

### 3 讨 论

高效液相色谱法(HPLC)测定果实中糖、酸组分已在许多果树上得以应用。不同果树的糖酸组成不同,桃、杏属于蔗糖积累型,苹果、梨、草莓属于单糖积累型。果糖是苹果果实可溶性糖的主要组分,其次是葡萄糖、蔗糖。Róth等<sup>[12]</sup>研究发现,果糖是金冠、澳洲青苹等果实中主要的可溶性糖组分,蔗糖和葡萄糖含量中等,最后才是山梨醇。Ma等<sup>[13]</sup>发现苹果栽培种和野生种果实中总糖含量无显著差异,但可溶性糖组分存在差异,前者以果糖、蔗糖为主,后者则以果糖、葡萄糖为主。笔者在本研究中测定并分析了86个苹果品种,发现果实中的可溶性糖均以果糖为主,大部分品种(92.7%)蔗糖含量高于葡萄糖含量,少数品种的葡萄糖含量高于蔗糖含量或蔗糖含量与葡萄糖含量相当,例如卡米欧、秋富1号和岱绿等。这与酶活性和糖代谢相关基因的差异有关,如蔗糖磷酸合酶(SPS)、蔗糖合酶(SS)是蔗糖积累的关键酶,酸性转化酶(AI)和NAD-SDH主要调控己糖积累<sup>[14]</sup>。此外,库细胞中韧皮部运输效率、糖的跨膜运输能力以及环境条件和栽培技术等外界因素也决定了果实糖分的积累<sup>[15]</sup>。例如施用适当浓度的外源激素可以调节糖代谢和糖转运蛋白的基因表达,促进光同化物向果实的卸载<sup>[16]</sup>。

苹果属于积累苹果酸型果实,苹果酸是主要有有机酸,其次为草酸、奎宁酸、莽草酸、柠檬酸、酒石酸、乙酸、琥珀酸等<sup>[17]</sup>,不同苹果品种果实有机酸组成类型不同。郑丽静<sup>[7]</sup>认为苹果中的有机酸主要包括苹果酸、草酸和柠檬酸,其余有机酸含量都很低。元帅等8个品种果实的苹果酸含量均最高,其次是奎宁酸和柠檬酸,其余酸含量均很低。Ma等<sup>[18]</sup>发现栽培型苹果酸度显著低于野生型苹果,在大部分野生种中检测出了柠檬酸,而在栽培种苹果果实中柠檬酸的浓度极低。笔者在本研究中通过分析多种有机酸含量占总酸的比值发现,苹果果实的苹果酸在多种有机酸中占主导地位,占总酸的比值均超过80%,其次是奎宁酸和柠檬酸,草酸和莽草酸比例最低。这可能与品种遗传特性、糖酸代谢<sup>[19]</sup>、气候环境条件<sup>[20]</sup>、栽培措施<sup>[21]</sup>及测定期时和方法有关。苹果果实中糖酸组分含量的高低具有较明显的遗传特性<sup>[22]</sup>,明确不同品种的糖酸特性,可为今后育种者选择亲本提供参考,也为将来深入探究糖酸代谢机制

以及分子遗传调控机制提供科学依据和研究对象。

有关果实糖酸指标的相关性分析在前人研究中已有不同表述,总糖含量和甜度值与糖组分含量的相关性以及总酸含量与酸组分含量的相关性与前人结果研究一致,但糖组分含量与酸组分含量指标间的相关性存在差异,Ma等<sup>[23]</sup>认为苹果酸含量与葡萄糖含量表现为正相关,与可溶性固形物含量无相关性,与蔗糖含量呈负相关,但本研究发现,苹果酸含量和果糖含量呈显著相关性,但和蔗糖及葡萄糖含量并未表现出显著相关性,这可能是由于苹果野生种酸度普遍高于栽培种,而糖含量与栽培种无显著差异造成的,还需要进一步确认。可溶性固形物含量、可滴定酸含量、固酸比等指标常用来评价果实糖酸风味,但未考虑具体糖酸组分的贡献程度,不能体现果实的真实甜酸风味。赵尊行等<sup>[24]</sup>以甜酸比为指标,评价苹果甜酸风味,单个糖含量和有机酸含量也可以作为水果糖酸品质的指标,王海波等<sup>[25]</sup>用可溶性糖组分含量及糖总量/苹果酸含量为指标评价了中早熟苹果的风味品质。但如果评价苹果果实糖酸风味品质仅依赖糖酸比值来判断有时也不够准确,比如本研究中的处于第四类中的品种甜酸比适中,但糖酸组分特征为低糖低酸,糖酸含量均较低,风味淡。笔者通过对糖酸组分的各个指标进行相关性分析,结合主成分分析的降维结果及指标系统聚类的分析结果,选择总糖含量、苹果酸含量、甜酸比3项指标作为苹果糖酸组分含量的评价指标。

糖酸组分的含量和比例决定了苹果果实的风味和营养特性,一定的酸味体现了果实的独特风味,当果实的含糖量处于较高水平,适宜酸度的果实更被消费者所接受<sup>[26]</sup>。甜酸比与总酸含量呈极显著负相关,且相关性高于与甜度值的相关性,也体现了酸含量对果实风味的重要影响。酸在苹果驯化过程中起重要作用,果实的酸度而不是甜度经历了选择,苹果酸含量的选择对苹果果实的糖组成有较大的影响,导致野生果实和栽培果实的糖组分存在差异<sup>[18]</sup>。笔者以筛选后的糖酸组分评价指标为参数,对86个苹果品种进行动态聚类分析,共分为4类:高糖低酸、高糖高酸、低糖高酸、低糖低酸。其中糖酸组分特征为高糖高酸和高糖低酸的品种较适合中国人民的口味。低糖高酸的品种因其酸含量较高,不宜鲜食,可作为加工品种和特色资源发挥其优势。值得注意的是富士芽变品种在4个类群中均有分布,这可能是

由于苹果芽变的类型不同(着色型、短枝型、早熟型),以及各芽变品种因不同环境条件、生态条件下栽培性状差异较大,导致芽变品种变异丰富,对不同芽变品种果实内糖酸组分系统评价也存在差别。此外,中晚熟、晚熟品种分别在高糖高酸、高糖低酸、低糖高酸、低糖低酸四类中占比92%、95%、80%、53%。糖酸组分特征为高糖高酸和高糖低酸的大多是中晚熟、晚熟品种以及少量的早、中熟品种,低糖低酸中只包含17%的晚熟品种。

## 4 结 论

苹果果实可溶性糖以果糖为主,葡萄糖和蔗糖的比例因品种而异。苹果酸在多种有机酸中占主导地位,除苹果酸以外有机酸的组成类型和含量也有明显差异。选择总糖含量、苹果酸含量、甜酸比3项指标作为苹果糖酸组分含量的评价指标。对86个苹果品种进行聚类分析,共分为4类:高糖低酸、高糖高酸、低糖高酸、低糖低酸。中晚熟、晚熟品种在高糖低酸类占比较高,在低糖低酸类占比较低。

## 参考文献 References:

- [1] 翟衡,赵政阳,王志强,束怀瑞.世界苹果产业发展趋势分析[J].果树学报,2005,22(1):44-50.  
Zhai Heng, Zhao Zhengyang, Wang Zhiqiang, Shu Huairui. Analysis of the development trend of the world apple industry[J]. Journal of Fruit Science, 2005, 22(1):44-50.
- [2] GUAN Y Z, PEACE C, RUDELL D, VERMA S, EVANS K. QTLs detected for individual sugars and soluble solids content in apple[J]. Molecular Breeding, 2015, 35(6):1-13.
- [3] WU J G, GAO H Y, ZHAO L, LIAO X J, CHEN F, WANG Z F, HU X S. Chemical compositional characterization of some apple cultivars[J]. Food Chemistry, 2006, 103(1):88-93.
- [4] LIU Y L, ZHANG X J, ZHAO Z Y. Effects of fruit bagging on anthocyanins, sugars, organic acids, and color properties of Granny Smith and Golden Delicious during fruit maturation[J]. European Food Research and Technology, 2013, 236(2): 329-339.
- [5] NORO S, KUDO N, KITSUWA T. Differences in sugar and organic acid contents between bagged and unbagged fruits of the yellow apple cultivars, and the effect on development of anthocyanin[J]. The Japanese Society for Horticultural Science, 1989, 58(1):17-24.
- [6] ZAHNG Y Z, LI P M, CHENG L L. Developmental changes of carbohydrates, organic acids, amino acids, and phenolic compounds in Honeycrisp apple flesh[J]. Food Chemistry, 2010, 123 (4):1013-1018.
- [7] 郑丽静.苹果果实糖酸特性及其与风味关系研究[D].北京:中国农业科学院,2015.  
ZHENG Lijing. Research on characteristics of sugar-acid compositions and their relationship with taste in apple fruits[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2015.
- [8] 刘羽,刘盛雨,卢娟芳,于庆帆,席万鹏.新疆红肉苹果3个品系的风味品质与抗氧化能力评价[J].中国农业科学,2017,50 (8):1495-1504.  
LIU Yu, LIU Shengyu, LU Juanfang, YU Qingfan, XI Wanpeng. Evaluation of flavor quality and antioxidant capacity of apple fruits from three Xinjiang red-flesh lines[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2017, 50(8):1495-1504.
- [9] 梁俊,郭燕,刘玉莲,李敏敏,赵政阳.不同品种苹果果实中糖酸组成与含量分析[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2011,39(10):163-170.  
LIANG Jun, GUO Yan, LIU Yulian, LI Minmin, ZHAO Zhengyang. Analysis of contents and constituents of sugar and organic acid in different apple cultivars[J]. Journal of Northwest Agricultural & Forestry University (Natural Science Edition), 2011, 39 (10):163-170.
- [10] 王艳颖,胡文忠,庞坤,马垄.高效液相色谱-蒸发光散射法测定苹果中可溶性糖的含量[J].食品与发酵工业,2008,34(6): 129-131.  
WANG Yanying, HU Wenzhong, PANG Kun, MA Long. Determination of the soluble sugars in apple by high performance liquid chromatography with evaporative light scattering detector (HPLC-ELSD) [J]. Food and Fermentation Industries, 2008, 34 (6):129-131.
- [11] 姚改芳,张绍铃,吴俊,曹玉芬,刘军,韩凯,杨志军.10个不同系统梨品种的可溶性糖与有机酸组分含量分析[J].南京农业大学学报,2011,34(5):25-31.  
YAO Gaifang, ZHANG Shaoling, WU Jun, CAO Yufen, LIU Jun, HAN Kan, YANG Zhijun. Analysis of components and contents of soluble sugars and organic acids in ten cultivars of pear by high performance liquid chromatography[J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2011, 34(5):25-31.
- [12] RÓTH E, BERNA A, BEULLENS K, YARRAMRAUB S, LAMMERTYN J, SCHENK A, NICOLAI B. Postharvest quality of integrated and organically produced apple fruit[J]. Postharvest Biology and Technology, 2007, 45(1):11-19.
- [13] MA B Q, CHEN J, ZHENG H Y, FANG T, COLLINS O, LI S H, HAN Y P, WU B H. Comparative assessment of sugar and malic acid composition in cultivated and wild apples[J]. Food Chemistry, 2015, 172(1):86-91.
- [14] ZHU Z, LIU R L, LI B Q, TIAN S P. Characterisation of genes encoding key enzymes involved in sugar metabolism of apple fruit in controlled atmosphere storage[J]. Food Chemistry, 2013, 141(4):3323-3328.
- [15] YAMAKI S. Metabolism and accumulation of sugars translocated to fruit and their regulation[J]. Journal of the Japanese Soci-

- ety for Horticultural Science, 2010, 79(1):1-15.
- [16] SHA J C, JIA Z H, ZHANG X, WU X X, GE S F, JIANG Y M. Effects of exogenous ABA on translocation of photosynthate to fruit of Fuji apple during late stage of fruit rapid-swelling[J]. The Journal of Applied Ecology, 2019, 30(6):1854-1860.
- [17] 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.
- [18] MA B Q, DING Y D, LI C Y, LI M J, MA F W, YUAN Y Y. Comparative proteomic analysis reveals key proteins linked to the accumulation of soluble sugars and organic acids in the mature fruits of the wild *Malus* species[J]. Plants, 2019, 8(11):488-500.
- [19] ROLLAND F, BAENA G E, SHEEN J. Sugar sensing and signaling in plants: Conserved and novel mechanisms[J]. Annual Review of Plant Physiology, 2006, 57(1):675-709.
- [20] 匡立学,聂继云,李银萍,程杨,沈友明.中国不同地区富士苹果品质评价[J].中国农业科学,2020,53(11):2253-2263.
- KUANG Lixue, NIE Jiyun, LI Yiping, CHENG Yang, SHEN Youming. Quality evaluation of Fuji apples cultivated in different regions of China[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2020, 53(11):2253-2263.
- [21] 高萌.苹果种质资源有机酸含量评价及酸含量调控候选基因MtPEPP功能分析[D].杨凌:西北农林科技大学,2020.
- GAO Meng. Evaluation of organic acid content in apple germplasm resources and function analysis of candidate gene Mt-PEPP for acidity[D]. Yangling: Northwest Agricultural & Forestry University, 2020.
- [22] CORNILLE A, GIRAUD T, SMULDERS M J, ROLDAN R, GLADIEUX P. The domestication and evolutionary ecology of apples[J]. Trends in Genetics, 2014, 30(2):57-65.
- [23] MA B Q, YUAN Y Y, GAO M, LI C Y, COLLINS O, LI M J, MA F W. Determination of predominant organic acid components in *Malus* species: Correlation with apple domestication[J]. Metabolites, 2018, 8(4):74.
- [24] 赵尊行,孙衍华,黄化成.山东苹果中可溶性糖、有机酸的研究[J].山东农业大学学报,1995,26(3):355-360.
- ZHAO Zunxing, SUN Yanhua, HUANG Huacheng. Research of soluble sugars and organic acids in apples of Shandong[J]. Journal of Shandong Agricultural University, 1995, 26(3):355-360.
- [25] 王海波,李林光,陈学森,李慧峰,杨建明,刘嘉芬,王超.中早熟苹果品种果实的风味物质和风味品质[J].中国农业科学,2010,43(11):2300-2306.
- WANG Haibo, LI Lingguang, CHEN Xuesen, LI Huifeng, YANG Jianming, LIU Jiafen, WANG Chao. Flavor compounds and flavor quality of fruits of mid-season apple cultivars[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2010, 43(11):2300-2306.
- [26] HECKE K, HERBINGER K, VEBRIC R, TROBEC M, TOPLAK H, STAMPAR F, KEPPEL H, DRILL D. Sugar-, acid- and phenol contents in apple cultivars from organic and integrated fruit cultivation[J]. European Journal of Clinical Nutrition, 2006, 60(9):1136-1140.

## ·书讯·

### 《中国果树科学与实践 猕猴桃》出版

《中国果树科学与实践 猕猴桃》由国家猕猴桃科技创新联盟编制、陕西新华出版传媒集团、陕西科学技术出版社正式出版。该著作由联盟理事长方金豹研究员领衔编著,参编人员包括中国农业科学院郑州果树研究所、安徽农业大学、湖南农业大学、江西农业大学、上海交通大学、浙江省农业科学院园艺所、陕西省农村科技开发中心等7家联盟成员单位的17位专家。全书共分17章,400千字。本书根据“中国果树科学与实践”丛书整体要求,按照“总结过去、分析现状、着眼未来”的基本思路,以猕猴桃产业技术为主线,以应用性研究层面的重要成果和生产实践为主要论述内容,着重对近年来的技术成就和经验教训进行了归纳总结。

猕猴桃(*Actinidia*)原产中国,我国丰富的种质资源曾孕育了全球猕猴桃产业的发端,但我国从国家层面进行猕猴桃科研及产业发展,始于1978年在河南信阳召开的农业部和中国农业科学院主办的全国猕猴桃科研座谈会。发展40多年来,我国猕猴桃产业实现了从起步、发展,到面积和产量位居世界第一的跨越,但仍存在诸多问题,如单位面积

产量低、商品果率低、价格低等。因此,《中国果树科学与实践——猕猴桃》学术专著的出版,可进一步明确我国猕猴桃科技工作者肩负的重要历史使命,为产业高质量发展做出力所能及的贡献!

全书编写时,内容力求体现学术价值,并兼顾实际生产应用价值,以期为广大科研工作者和生产实践人员提供参考。该书定价:115元,价格包含邮寄费。邮购时请在备注栏标明书名。请注明联系电话以便联系。邮购地址:郑州市航海东路南中国农业科学院郑州果树研究所;收款人:杂志社;电话:0371-65330982

