

## 皱皮木瓜果实发育后期品质变化 及其成熟阶段的划分初探

邵文豪<sup>1</sup>, 董汝湘<sup>1</sup>, 刁松锋<sup>1,2</sup>, 孙洪刚<sup>1</sup>, 姜景民<sup>1\*</sup>, 李军民<sup>3</sup>, 黄世清<sup>4</sup>

(1 中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 浙江富阳 311400; 2 中国林业科学院 经济林研究开发中心, 郑州 450003; 3 长阳县林业局, 湖北长阳 443500; 4 安吉县龙山林场, 浙江安吉 313300)

**摘 要:**以湖北长阳产皱皮木瓜为材料, 测定果实发育后期果实鲜质量、果长、果径、果色、果实硬度以及果肉干物质量、可溶性糖含量、总酸含量和总黄酮含量等品质指标的动态变化, 划分不同成熟阶段, 为判断果实适宜采收期、实现优质生产提供理论参考。结果表明: (1) 皱皮木瓜果实发育后期果实鲜质量、果长、果径、果肉干物质量和可溶性糖含量均呈现上升趋势; 果色由绿色、黄绿色渐变为淡黄色到黄色; 果实硬度、果肉总酸和总黄酮含量呈先上升后下降趋势。 (2) 各品质指标快速变化的时间区域存在差异, 果实鲜质量在花后 105~150 d 增加较快, 果色在 150 d 后逐渐变黄, 果实硬度在花后 135~165 d 快速下降, 果肉总酸、总黄酮含量则在花后 105~120 d 快速增加至峰值。 (3) 根据主成分分析结果和各品质指标的变化特点, 可初步将皱皮木瓜果实发育后期划分为未成熟(花后 105 d 之前)、早期成熟(花后 120~150 d)和成熟(花后 165~180 d)3 个阶段。研究表明, 随着果实成熟度的提高, 皱皮木瓜果实鲜质量、果色、果肉干物质量、可溶性糖含量等指标不断升高, 果实硬度逐渐下降, 其食用加工品质不断提升, 而在早期成熟阶段(花后 120~150 d)果实的药用品质则相对较高。

**关键词:**皱皮木瓜; 果实发育后期; 品质变化; 成熟阶段划分

**中图分类号:** Q945.6<sup>+</sup>5 **文献标志码:** A

## Change in Fruit Qualities during the Late Stage of Fruit Development in *Chaenomeles speciosa* and Its Identification of Fruit Ripening Process

SHAO Wenhao<sup>1</sup>, DONG Ruxiang<sup>1</sup>, DIAO Songfeng<sup>1,2</sup>, SUN Honggang<sup>1</sup>,  
JIANG Jingmin<sup>1\*</sup>, LI Junmin<sup>3</sup>, HUANG Shiqing<sup>4</sup>

(1 Research Institute of Subtropical Forestry, CAF, Fuyang, Zhejiang 311400, China; 2 No-timber Forestry Research and Development Center, CAF, Zhengzhou 450003, China; 3 Changyang County Forestry Bureau, Changyang, Hubei 443500, China; 4 Longshan Forest Farm, Anji, Zhejiang 313300, China)

**Abstract:** In order to reveal the features of quality changes and identify the fruit ripening process, we investigated fresh fruit weight, fruit length, diameter, color, flesh firmness, dry matter content of pulp, soluble sugar content of pulp, total acid content of pulp, and total flavonoids content of pulp of *Chaenomeles speciosa* produced in Changyang County of Hubei Province, aiming to illuminate a theoretical basis for determining its proper harvest time and realizing its high-quality production. The results indicated that: (1) Fresh fruit weight, fruit length, diameter, dry matter content and soluble sugar content of pulp increased

收稿日期: 2014-08-06; 修改稿收到日期: 2014-10-17

基金项目: 林业公益性行业科研专项(201204409)

作者简介: 邵文豪(1981—), 男, 硕士, 助理研究员, 主要从事林木种质资源与育种遗传研究。E-mail: whshao8119@163.com

\* 通信作者: 姜景民, 研究员, 主要从事林木遗传育种研究。E-mail: jmjiang6001@126.com

during the late stage of fruit development. Fruit color changed from green, yellow green to faint yellow, yellow gradually. Flesh firmness and total acid content and total flavonoids content of pulp increased first and then decreased. (2) There were differences among periods during which quality traits changed rapidly. Fresh fruit weight increased rapidly from 105 to 150 days after full bloom (DAFB). Fruit color turned yellow 150 DAFB. Flesh firmness decreased rapidly from 135 to 165 DAFB. Total acid content and total flavonoids content of pulp increased to peak rapidly from 105 to 120 DAFB. (3) According to the results of principal component analysis (PCA) and the characteristics of qualities changes, the late stage of fruit development of *Ch. speciosa* could be identified three periods: unripe period (before 105 DAFB), early ripe period (120–150 DAFB), and ripe period (165–180 DAFB). With the fruit maturity of *Ch. speciosa*, fresh fruit weight, fruit color, dry matter content and soluble sugar content of pulp increased, while flesh firmness decreased, which resulted in that the edibility qualities improved continually. However, the medicinal qualities were relatively high during the early ripe period.

**Key words:** *Chaenomeles speciosa*; late stage of fruit development; quality change; identification of ripening process

皱皮木瓜 [*Chaenomeles speciosa* (Sweet) Nakai] 是蔷薇科 (Rosaceae) 木瓜属 (*Chaenomeles*) 多年生落叶灌木或小乔木, 为中国南北各地广泛栽培的重要经济树种<sup>[1]</sup>。皱皮木瓜果实营养丰富、气味芳香, 富含糖类、氨基酸类、黄酮类、皂苷类、有机酸类等多种有效成分, 是一种药食兼用的水果类型<sup>[2-4]</sup>。长期以来, 皱皮木瓜种植者和收购者为抢占市场, 对皱皮木瓜果实过早采收, 严重影响了果实产量和果品质量。果实品质是由外观、风味、鲜食、营养、贮运、加工及遗传等许多性状构成, 而外观、质地等是反映果实成熟度的重要指标<sup>[5-7]</sup>。因此, 探讨皱皮木瓜果实发育过程中品质的变化, 对于确定其品质形成关键时期与适宜的采收时期, 实现其优质生产具有重要意义。

果实成熟涉及芳香气味和外观色泽等质地感官变化, 是一个基因调节的过程, 分子和生化变化导致了果实色泽、硬度、香气和风味的变化<sup>[8-10]</sup>。皱皮木瓜有机酸含量高, 口感酸涩, 刘世尧<sup>[3]</sup>对其果实全发育期有机酸组成及代谢规律进行研究, 探索了其果实高酸积累机制。选择适宜的成熟期进行果实采收对于获取优良的果品至关重要<sup>[11-12]</sup>。张伟伟<sup>[4]</sup>研究了皱皮木瓜果实生长发育及主要营养物质的变化, 但并未对发育后期的品质指标进行测定, 无法对果实成熟度予以判断。张秀秀等<sup>[13]</sup>对皱皮木瓜 3 个品种果实品质进行综合评价, 提出皱皮木瓜果实品质最好的时期在盛花后 60 d 左右, 然而该时期果实大小、质量正快速增长, 并不适为最佳采收期。秦盛华<sup>[14]</sup>通过对同属植物光皮木瓜 (*Ch. sinensis*) 果实发育后期齐墩果酸、多糖、黄酮等成分含量的分析, 分别提出了果实不同利用方式的适宜采收期。目前

关于皱皮木瓜果实品质形成关键时期以及成熟进程的判断尚未见系统报道。本实验针对皱皮木瓜普遍早采影响果实产量和品质的问题, 研究其果实发育后期品质指标的变化, 探讨其品质形成的关键时期及成熟阶段的划分, 旨在为其适宜采收期的确定及高效利用提供参考。

## 1 材料和方法

### 1.1 样品采集

实验地点位于湖北省长阳土家族自治县榔坪皱皮木瓜基地, 树龄 10 年生, 常规管理。于果园内选择长势一致、结果正常的 10 株树, 在当地通常生产采收期 (花后 105 d) 至果色变黄的果实发育后期, 选择树冠阳面中上部的外围果实, 每 15 d 采摘 1 次, 共取样 6 次 ( $S_1 \sim S_6$ ), 每次取样约 8 kg, 用保温盒带回实验室, 立即进行试验。

### 1.2 品质指标测定

每次取有代表性的果实 30 个, 分别称取果实鲜质量, 测量果长和果径, 观测果色 (分为绿色、黄绿色、淡黄色、黄色、黄红色, 分别赋值 1、2、3、4、5)。于每果实最大直径处分散选择 3 个不同部位, 用 GY-3 型果实硬度计 (探头  $\Phi = 0.35$  mm) 测量果实硬度<sup>[15]</sup>。果肉干物质质量测定根据 GB/T8858-1988 方法<sup>[16]</sup>, 果肉总酸含量测定根据 GB/T12456-2008 方法<sup>[17]</sup>, 果肉可溶性糖含量测定根据 NY/T1278-2007 方法<sup>[18]</sup>, 果肉总黄酮含量测定参照冯涛等<sup>[19]</sup>方法。其中, 果实鲜质量、果长、果径、果色、硬度为 30 个果实测定结果的平均值, 果肉总酸、可溶性糖及总黄酮含量测定均设置 3 次重复, 并计算平均值。

### 1.3 数据处理

用 Excel 2003 进行数据整理并绘图, 用 SPSS

18.0 统计分析软件进行相关分析和主成分分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 皱皮木瓜果实发育后期品质变化特征

**2.1.1 产量** 从图 1 可知,皱皮木瓜果实发育后期果实鲜质量和果肉干物质质量 2 个产量指标变化较为一致,即呈逐渐上升趋势。其中,果实鲜质量在花后 150 d 之前增加较快,由平均 145.23 g 增长至 189.00 g;果肉干物质质量在花后 165 d 之前增加较快,由平均 17.60 g 增长至 20.99 g。

**2.1.2 外观品质** 从图 2 可知,表征皱皮木瓜果实大小的果长、果径在发育后期生长几乎同步,变化曲线相似。果实颜色在花后 135 d 之前基本为绿色,之后由黄绿色渐变为淡黄色、黄色;果实硬度在花后 135 d 之前尚处缓慢变大时期,花后 135 d 到 165 d 则为快速下降时期,硬度由平均 3.29 kg/cm<sup>2</sup> 降至 2.96 kg/cm<sup>2</sup>。

**2.1.3 营养品质** 从图 3 可知,皱皮木瓜果肉可溶性糖含量在果实发育后期呈持续升高趋势,由花后 105 d 时的 3.43% 增至 180 d 时的 5.57%,增幅明显。果肉总酸含量从花后 105 d 到 120 d 快速升高至峰值 27.21 g/kg,之后逐渐下降,花后 180 d 含量仅为 20.13 g/kg。果肉总黄酮含量在花后 120 d 到 135 d 累积至较高水平,平均为 8.11 mg/g,之后逐渐降低,至花后 165 d 其含量平均为 5.63 mg/g。

从以上分析可见,皱皮木瓜果实发育后期各品质指标变化特征有所不同,果实鲜质量、果肉干物质质量、果长、果径以及可溶性糖含量呈逐渐上升趋势,果实硬度、果肉总酸和总黄酮含量呈先升后降趋势。

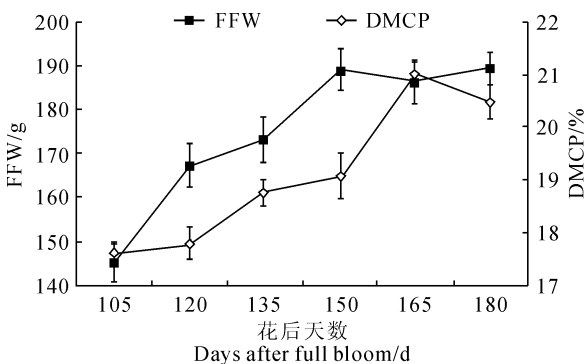


图 1 皱皮木瓜果实发育后期产量指标的变化  
FFW. 果实鲜质量;DMCP. 果肉干物质质量;下同  
Fig. 1 Changes of yield of *Ch. speciosa* during the late stage of fruit development  
FFW. Fresh fruit weight;DMCP. Dry matter content of pulp;The same as below

因此,较晚时期进行果实采收,果实变黄、硬度变小、果肉可溶性糖含量较高,利于提高其食用加工品质,

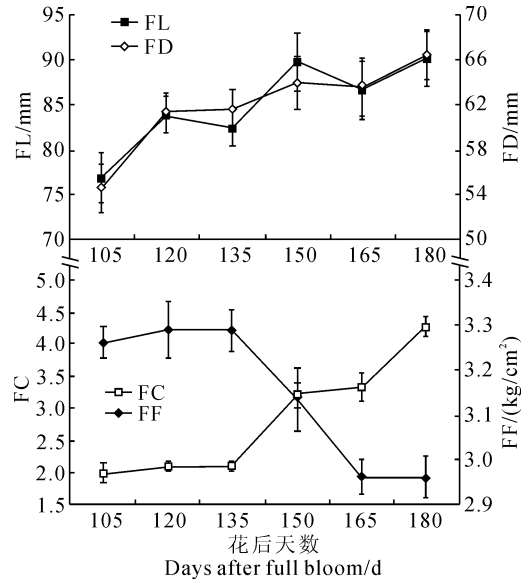


图 2 皱皮木瓜果实发育后期外观品质的变化  
FL. 果长;FD. 果径;FC. 果色;FF. 果实硬度;下同  
Fig. 2 Changes of appearance qualities of *Ch. speciosa* during the late stage of fruit development  
FL. Fruit length;FD. Fruit diameter;FC. Fruit color; FF. Flesh firmness;The same as below

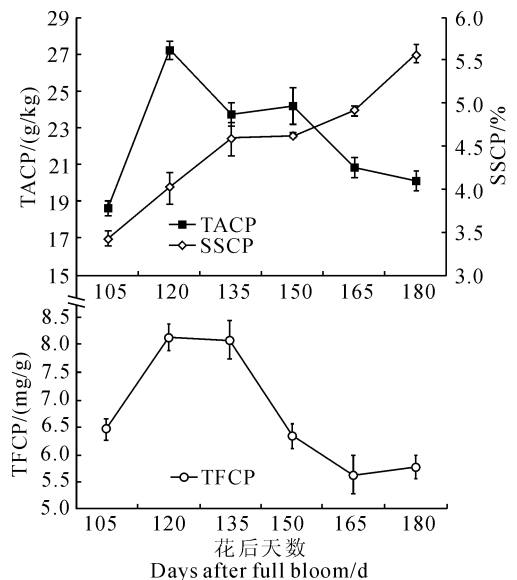


图 3 皱皮木瓜果实发育后期营养品质的变化  
TACP. 果肉总酸含量;SSCP. 果肉可溶性糖含量;  
TFCP. 果肉总黄酮含量;下同  
Fig. 3 Changes of nutrition qualities of *Ch. speciosa* during the late stage of fruit development  
TACP. Total acid content of pulp;SSCP. Soluble sugar content of pulp;TFCP. Total flavonoids content of pulp;The same as below

表 1 皱皮木瓜果实发育后期品质指标的相关关系

Table 1 Correlation of quality traits during the late stage of fruit development of *Ch. speciosa*

性状 Trait	果实鲜质量 FFW	果色 FC	果长 FL	果径 FD	果肉干物质质量 DMCP	果实硬度 FF	果肉总 酸含量 TACP	果肉可溶性 糖含量 SSCP	果肉总 黄酮含量 TFCP
果实鲜质量 FFW	1								
果色 FC	0.801	1							
果长 FL	0.961 **	0.846 *	1						
果径 FD	0.968 **	0.801	0.955 **	1					
果肉干物质质量 DMCP	0.807	0.846 *	0.71	0.762	1				
果实硬度 FF	-0.719	-0.930 **	-0.707	-0.678	-0.935 **	1			
果肉总酸含量 TACP	0.284	-0.16	0.335	0.383	-0.234	0.345	1		
果肉可溶性糖含量 SSCP	0.902 *	0.882 *	0.856 *	0.933 **	0.876 *	-0.795	0.071	1	
果肉总黄酮含量 TFCP	-0.385	-0.757	-0.412	-0.278	-0.686	0.860 *	0.672	-0.443	1

注: \* 和 \*\* 分别表示相关性在 0.05 和 0.01 水平上显著。  
Note: \* and \*\* mean significant correlations at 0.05 and 0.01 level, respectively.

而果肉总酸和总黄酮含量在花后 120 d 左右累积至峰值,在该时期采收更利于获得较高药用品质。

2.2 皱皮木瓜果实发育后期各品质指标间关系

从表 1 可知,果实鲜质量、果长、果径等指标与果肉可溶性糖含量显著性正相关( $P<0.05$ ),表明在皱皮木瓜果实发育后期,果实越大,果肉可溶性糖含量越高;果色与果肉干物质质量、可溶性糖含量显著正相关( $P<0.05$ ),与果实硬度极显著负相关( $P<0.01$ ),表明在发育后期随着果实逐渐变黄,果肉干物质质量、可溶性糖含量增高,果实硬度变小;可见,在果实发育后期,果长、果径、果色以及果实硬度等外观性状可作为衡量皱皮木瓜食用加工品质高低的指标。果实营养品质中果肉总黄酮和总酸含量性状,除前者与果实硬度显著正相关( $P<0.05$ )外,与其它品质指标相关性均不显著( $P>0.05$ ),表明仅从产量和外观性状并不能完全判断果实药用品质。

2.3 皱皮木瓜果实成熟阶段划分及各期品质特征

主成分分析可以对多个因子降维,利用原变量线性关系建立新主分量来表示事物的主要方面。将花后 105~180 d 中 6 个果实取样时期分别记为  $S_1 \sim S_6$ ,对果实品质变量和取样时期变量进行主成分分析(PCA)<sup>[20]</sup>,以表现皱皮木瓜果实品质特征(图 4)和果实不同取样期的特征(图 5)。

由图 4 可知,第一主成分(PC1)和第二主成分(PC2)分别占总变异的 62.90%和 31.38%。皱皮木瓜果实发育后期果实品质指标基本分布在 3 个区域,第 1 区域包括果实硬度和果肉总黄酮含量,基本反映了皱皮木瓜早期取样的主要品质指标;第 2 区域仅有果肉总酸含量性状,相关分析已表明,与其它性状不具显著相关性,但其也在一定程度上反映了早期取样的品质指标;第 3 区域包括果实鲜质量、

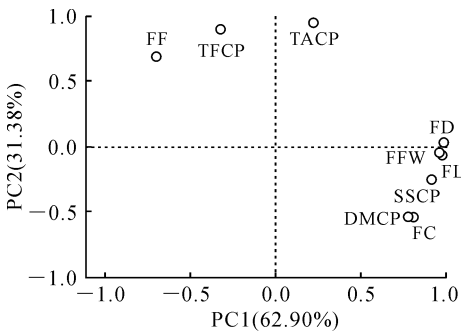


图 4 皱皮木瓜果实品质指标(PC1、PC2)载荷图  
Fig. 4 Loading plot of quality traits based on PC1 and PC2 from *Ch. speciosa*

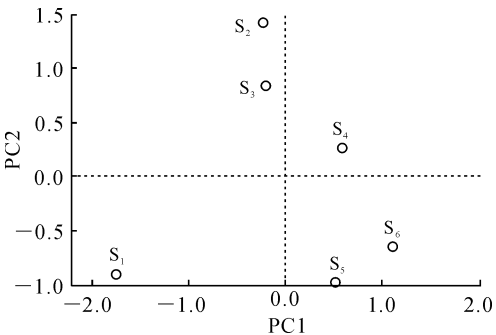


图 5 基于皱皮木瓜果实品质指标(PC1、PC2)的不同取样期关系  
 $S_1 \sim S_6$ . 分别指花后 105、120、135、150、165 和 180 d 取样期  
Fig. 5 Relationship among different sampling period based on PC1 and PC2 of *Ch. speciosa*  
 $S_1 \sim S_6$ . The sampling date at 105, 120, 135, 150, 165 and 180 d after full bloom

果长、果径、果色、果肉干物质质量和可溶性糖含量,多数性状间具有显著相关性,反映了晚期取样果实的主要品质指标。

由图 5 可以看出,皱皮木瓜取样期( $S_1 \sim S_6$ )在 PC1 上由左至右总体呈顺序分布,并且基本可以分

为3个阶段: $S_1$ (花后105 d之前)、 $S_2 \sim S_4$ (花后120~150 d)和 $S_5 \sim S_6$ (花后165~180 d)。根据果实品质各指标测定结果,在 $S_1$ 阶段,除果实硬度外,各项指标均相对较低;在 $S_2 \sim S_4$ 阶段,果实鲜质量、果长、果径指标逐渐变大,果实颜色逐步变黄,果肉干物质和可溶性糖含量升高,而果实硬度和果肉总黄酮含量快速降低,果肉总酸含量也呈下降趋势;在 $S_5 \sim S_6$ 阶段,果实鲜质量、果长、果径、果色、果肉干物质及可溶性糖含量等指标多维持在较高水平,而果实硬度、果肉总黄酮及总酸含量则维持在相对较低的水平。根据PCA结果和各指标的变化特点,可初步将这3个阶段划分为未成熟阶段、早期成熟阶段和成熟阶段。

### 3 讨 论

#### 3.1 关于皱皮木瓜果实发育后期品质变化

**3.1.1 产量指标** 根据果实生长速率不同,一般可将果实的生长发育分为迅速生长期、缓慢生长期和熟前生长期3个时期。张伟伟<sup>[4]</sup>研究表明,宣木瓜(*Ch. speciosa*)果实鲜质量的动态增长曲线呈“单S”型,秦盛华<sup>[14]</sup>对光皮木瓜的研究表明果实发育阶段果实鲜质量呈总体上升趋势。本研究中皱皮木瓜果实发育后期果实鲜质量变化趋势与上述结果基本一致,在花后105~150 d增加较快,之后趋于平稳。

干物质质量是衡量植物有机物积累、营养成分多寡的一个重要指标。马建军<sup>[21]</sup>研究表明,欧李(*Cerasus humilis*)果实幼果膨大期干物质分配主要以营养器官中积累为主,随着果实发育则主要向生殖器官中转移和运输。对荔枝(*Litchi chinensis*)、红心李(*Prunus salicina*)、枇杷(*Eriobotrya* ‘Zaozhong No. 6’))的研究均表明,果实干物质质量随果实发育而增加<sup>[22-24]</sup>。本研究表明,皱皮木瓜果实发育后期果肉干物质质量呈上升趋势,花后165 d达到峰值,之后略有下降但趋于稳定。而秦盛华<sup>[14]</sup>研究表明,光皮木瓜自花后95 d起,果实干物质质量逐渐下降,至花后165 d降到最低,其结果与多数学者类似研究相异。

**3.1.2 外观品质** 对宣木瓜4个品种的研究表明,果实纵径与横径生长几乎同步,纵径增长曲线及其增幅在不同品种间存在差异,但均为正向增加,品种间横径生长发育趋势基本一致,增长动态曲线均呈现“S”型<sup>[4]</sup>。本研究中皱皮木瓜果实发育后期果长、果径亦逐渐增长,且生长变化曲线相似。

影响果实着色的物质有叶绿素、类胡萝卜素、花

青苷、类黄酮、酚类等,而不同物质成分及含量决定不同颜色<sup>[25]</sup>。绿色是叶绿素的颜色,黄色是由类胡萝卜素产生,红色则由花青苷红色素产生;当果实接近成熟时,叶绿素降解,绿色消失,黄色表现出来<sup>[26-27]</sup>。本研究表明,皱皮木瓜花后135 d之前,果实为绿色,发育后期渐变为黄色、黄红色。关于皱皮木瓜果实色素含量变化规律及其对果实颜色的影响需要进一步研究,为改善皱皮木瓜果实的外观品质提供依据。

果实硬度是评价果实成熟和品质的重要指标,对果实采收、贮藏等均有较大影响。果实成熟前后的硬度变化与细胞壁成分及其降解酶活性的变化关系较大,细胞壁结构改变以及胞壁中果胶质、纤维素发生降解是导致果实软化的原因<sup>[28]</sup>。刘超超<sup>[15]</sup>对苹果(*Malus* spp.)3个早熟品种研究发现,果实发育过程中果实硬度基本呈下降趋势,硬度的下降与细胞壁各组分解酶的活性变化关系密切,但控制果实软化的关键酶在品种间存在差异。目前,关于皱皮木瓜果实成熟过程中硬度的动态变化尚未见报道。本研究表明,皱皮木瓜果实发育前期硬度较大,花后135~165 d快速下降,之后趋于稳定。

**3.1.3 营养品质** 可溶性糖是果实形成口感的重要物质,甜味程度不仅取决于总糖含量,与糖组分的种类和构成密切相关;而果实的酸味来源于有机酸,有机酸在果实发育期间逐渐积累,在成熟期渐趋降解<sup>[29]</sup>。杨阳<sup>[30]</sup>对5个晚熟柑橘(*Citrus* spp.)品种研究表明,在果实发育的中后期,可溶性糖含量呈上升趋势,而有机酸含量则因品种不同呈先上升后下降或逐渐下降趋势,刘有春等<sup>[29]</sup>对越橘(*Vaccinium* spp.)、王鹏飞等<sup>[31]</sup>对欧李进行研究也得出相似结论。秦盛华<sup>[14]</sup>对光皮木瓜研究表明,果实发育期间可溶性固形物含量呈总体上升趋势,齐墩果酸于花后137 d达最大值,之后两者均有所下降。本研究表明,皱皮木瓜果肉可溶性糖含量在果实发育后期呈明显增加趋势,总酸含量在花后105~120 d快速增加,之后呈快速下降趋势,而张伟伟<sup>[4]</sup>对宣木瓜研究得出果实总糖含量随果实发育而降低的结论,在其它植物果实发育类似研究中亦少见,可能与其取样日期止于6月底有关。皱皮木瓜果实营养丰富,开发利用前景广阔,但目前生产应用的品种果实口感普遍酸涩,选育高糖低酸的品种应成为今后育种的重要目标。

黄酮类化合物是近年来植物化学和医药保健领域研究的热点,是许多中草药的有效成分。本研究

表明,皱皮木瓜果肉总黄酮含量在花后 105~120 d 快速增加,花后 135~150 d 迅速回落,之后趋于稳定,与严睿文等<sup>[32]</sup>、李娜等<sup>[33]</sup>对宣木瓜,秦盛华<sup>[14]</sup>对光皮木瓜的研究结果相似。黄酮类化合物在植物体内的合成代谢起源于光合产物,随着光环境以及植株生长发育的变化,细胞内不断发生黄酮的合成、转化或降解<sup>[33]</sup>。本研究中,果肉总黄酮含量快速增加时期正处 7 月中旬,水热条件适宜,叶片生长、果实发育旺盛,黄酮类也在该时期合成迅速,随叶片萎黄凋谢,黄酮合成受到制约,黄酮含量逐渐下降。

### 3.2 关于皱皮木瓜果实成熟阶段划分和适宜采收期

严睿文等<sup>[32]</sup>、李娜等<sup>[33]</sup>分别以黄酮含量单一性状为选择指标对宣木瓜适宜采收期进行了研究,提出果实黄酮含量最高的 7 月为宣木瓜适宜采收期。张秀秀<sup>[13]</sup>对皱皮木瓜 3 个品种果实品质评价表明,不同品种适宜采收时间不同,但果实品质在发育中后期均逐渐下降。秦盛华<sup>[14]</sup>对光皮木瓜果实齐墩果酸、多糖、黄酮含量变化进行研究,分别提出了加工饮片、食品、药用等不同利用目的的适宜采收期。可见,不同学者针对木瓜不同利用目标适宜采收期进行了很多有益的研究、探讨,但对木瓜果实成熟判断指标、成熟阶段划分鲜有涉及。本文对皱皮木瓜果实发育后期品质变化进行综合分析,发现果实鲜质量、果色、果实硬度和果肉干物质量、可溶性糖含量、总酸含量、总黄酮含量均表现出较大幅度的变

化。为明确各品质指标在果实成熟判断中的作用,对皱皮木瓜果实发育后期 6 个阶段的品质指标进行主成分分析,结果表明反映果实成熟程度的指标分布特征与不同测定时期的分布特征基本一致,测定指标与成熟进程均表现出阶段性变化的特点,说明这些指标在区分不同成熟阶段时均有重要作用。

已有研究表明,根据果实品质特征,通过主成分分析可以实现果实成熟阶段的区分<sup>[20,34]</sup>。皱皮木瓜作为重要的药食同源经济植物,不少学者对其果实发育过程中主要成分变化进行了研究,但有的将研究重点放在果实发育前期,有的则集中关注了后期果实品质的变化,缺少对后期成熟阶段区分的认知。本研究根据测定指标和测定时期的主成分分析结果和不同指标在果实发育后期的变化特点,初步将皱皮木瓜果实发育后期划分为未成熟阶段、早期成熟阶段和成熟阶段。在本试验条件下,随着果实成熟度的提高,皱皮木瓜果实鲜质量、果色、果肉干物质量以及可溶性糖含量等指标不断升高,果实硬度则不断下降,表明其果实食用加工品质不断提升;果肉总酸和总黄酮含量虽然在花后 120 d 达到峰值(单果总酸含量平均 4.55 g,单果黄酮含量平均 1.36 g),但该时期果实鲜质量仍快速增长,单果总酸和总黄酮含量分别在花后 150 d(4.57 g)、135 d(1.40 g)达最高,表明早期成熟阶段(花后 120~150 d)采收有利于获得较高药用品质的果品。

### 参考文献:

- [1] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志(第 36 卷)[M]. 北京:科学出版社,1974:351.
- [2] ZHANG S Y, HAN L Y, ZHANG H, *et al.* *Chaenomeles speciosa*: A review of chemistry and pharmacology[J]. *Biomed Rep.*, 2014, **2**(1): 12-18.
- [3] 刘世尧. 不同产区皱皮木瓜有机酸组成及主要活性成分分离纯化研究[D]. 重庆:西南大学,2012:4-11.
- [4] 张伟伟. 宣木瓜果实生长发育及主要营养物质动态变化研究[D]. 合肥:安徽农业大学,2010:4-6.
- [5] VOON Y Y, SHEIKH A H N, RUSHL G, *et al.* Volatile flavour compounds and sensory properties of minimally processed durian (*Durio zibethinus* cv. D24) fruit during storage at 4 °C[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2007, **46**(1): 76-85.
- [6] DIANA P F, CARLOS E O, DEVIN G P, *et al.* Chemical and sensory comparison of fresh and dried lulo (*Solanum quitoense* Lam.) fruit aroma[J]. *Food Chemistry*, 2015, 169: 85-91.
- [7] CHEN X S(陈学森), SONG J(宋 君), GAO L P(高利平), *et al.* Developing mechanism of fruits texture in 'Jonagold' apple and its crisp flesh sport[J]. *Scientia Agricultura Sinica* (中国农业科学), 2014, **47**(4): 727-735 (in Chinese).
- [8] LI J M(李明甲), YANG ZH J(杨志军), ZHANG SH L(张绍玲), *et al.* Change of organic acid contents and related enzyme activities in different pear cultivars[J]. *Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin.* (西北植物学报), 2013, **33**(10): 2 024-2 030 (in Chinese).
- [9] HUANG ZH M(黄志明), LIN S Y(林素英), FU M L(傅明连), *et al.* The change of cell wall enzymes and fruit texture during the development and maturation of *Eriobotrya japonica* [J]. *Chinese Journal of Tropical Crops* (热带作物学报), 2012, **33**(1): 24-29 (in Chinese).
- [10] HARB J, STREIF J, BANGERTH K F. Aroma volatiles of apples as influenced by ripening and storage procedures[J]. *Acta Horticulturae*, 2008, 796: 93-103.

- [11] SONG L Q(宋来庆), ZHAO L L(赵玲玲), TANG Y(唐 岩), *et al.* Analysis on fruit quality and aroma components of Yanfu 3 Fuji apple harvested at different times[J]. *Shandong Agricultural Sciences* (山东农业科学), 2013, **45**(11): 47—49 (in Chinese).
- [12] NIU G C(牛广才), CHEN Y Q(陈艳秋), XUE G X(薛桂新), *et al.* The most suitable harvest date of apple-pear fruits[J]. *Journal of Agricultural Science Yanbian University* (延边大学农学报), 2000, **22**(2): 112—117 (in Chinese).
- [13] ZHANG X X(张秀秀), CAO B H(曹帮华), HOU R(侯 蕊), *et al.* Study on changes of main composition during fruit development of *Chaenomeles speciosa* [J]. *Journal of Shaanxi Agricultural Sciences* (陕西农业科学), 2012, **58**(1): 39—43 (in Chinese).
- [14] 秦盛华. 光皮木瓜果实发育期间成分变化与多糖研究[D]. 陕西杨陵: 西北农林科技大学, 2010.
- [15] LIU CH CH(刘超超), WEI J L(魏景利), XU Y T(徐玉亭), *et al.* Preliminary study on firmness and related physiological indices of three early-ripening apple cultivars during late development of the fruit[J]. *Acta Horticulturae Sinica* (园艺学报), 2011, **38**(1): 133—138 (in Chinese).
- [16] 商业部食品检测研究所. GB/T8858-1988, 水果、蔬菜产品中干物质和水分含量测定方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 1988.
- [17] 中国食品发酵工业研究院. GB/T12456-2008, 食品中总酸的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [18] 农业部蔬菜品质监督检验测试中心. NY/T1278-2007, 蔬菜及其制品中可溶性糖的测定——铜还原碘量法[S]. 北京: 中国农业出版社, 2007.
- [19] FENG T(冯 涛), CAO D X(曹东旭), LÜ X L(吕晓玲). The determination of bamboo leaves total flavonoids content[J]. *China Food Additives* (中国食品添加剂), 2002, (6): 85—87, 35 (in Chinese).
- [20] WANG H B(王海波), LI L G(李林光), LIU J F(刘嘉芬), *et al.* Changes of qualities during the fruit late development of ‘Golden Delicious’ apple and distinguishing its ripening process[J]. *Scientia Agricultura Sinica* (中国农业科学), 2013, **46**(20): 4 310—4 320 (in Chinese).
- [21] MA J J(马建军), REN Y J(任艳军), DU B(杜 彬), *et al.* Distribution of mineral nutrients, dry matter and moisture contents and their correlation in different tissues and organs of wild *Cerasus humilis* during fruit development stages[J]. *Journal of Southern Agriculture* (南方农业学报), 2011, **42**(5): 483—487 (in Chinese).
- [22] CHEN J(陈 菁), SUN G M(孙光明), FAN X L(樊小林), *et al.* Study on the accumulation rule of dry matter, water, nutrient of ‘Sanyuehon’ lichee fruit[J]. *Chinese Journal of Tropical Crops* (热带作物学报), 2007, **28**(3): 34—37 (in Chinese).
- [23] LIU Q(刘 权), XIAO Y L(肖映林), YANG J(杨 军). Mathematical models for development of fruit of ‘Hongxin’ plums[J]. *Journal of Anhui Agricultural University* (安徽农业大学学报), 1993, **20**(2): 98—104 (in Chinese).
- [24] XU J H(许家辉), ZHANG Z H(张泽煌), CHEN CH ZH(陈长忠), *et al.* Studies of fruit development of ‘Zaozhong No. 6’ loquat II. Dynamic changes of fruit shape and dry weight, the requirement and distribution of soluble content in fruits[J]. *Journal of Yunnan Agricultural University* (云南农业大学学报), 2005, **20**(3): 392—395 (in Chinese).
- [25] ZHANG X Y(张学英), ZHANG SH L(张上隆), YE ZH W(叶正文), *et al.* Influences of bagging on pigmentation development of plum and analysis of factors related with anthocyanin synthesis[J]. *Journal of Fruit Science* (果树学报), 2007, **24**(5): 605—610 (in Chinese).
- [26] 张元慧. 李(*Prunus* spp.) 果实色泽发育机理研究[D]. 河北保定: 河北农业大学, 2003: 3—9.
- [27] YAN ZH Y(闫忠业), YI K(伊 凯), LI Z X(李作轩), *et al.* Changes and relationship of apple pigment content in pericarp[J]. *Journal of Shenyang Agricultural University* (沈阳农业大学学报), 2006, **37**(6): 821—825 (in Chinese).
- [28] DAVID B, VALERIANO D C, CARLOS H C, *et al.* Cell wall metabolism during maturation, ripening and senescence of peach fruit[J]. *Journal of Experimental Botany*, 2004, **55**(405): 2 029—2 039.
- [29] LIU Y CH(刘有春), TAO CH G(陶承光), WEI Y X(魏永祥), *et al.* Fruit sugar and acid content, variation at different fruit development stages and their relationship with leaf soluble sugar content of blueberry[J]. *Scientia Agricultura Sinica* (中国农业科学), 2013, **46**(19): 4 110—4 118 (in Chinese).
- [30] YANG Y(杨 阳), TANG N(唐 宁), LI ZH G(李正国), *et al.* Quality changes of five late-maturing *Citrus* varieties during fruit development and maturity[J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences* (西南农业学报), 2014, **27**(1): 263—267 (in Chinese).
- [31] WANG P F(王鹏飞), CAO Q(曹 琴), HE Y B(何永波), *et al.* Composition and dynamic changes of sugars and acids in Chinese dwarf cherry (*Cerasus humilis* Bunge) during fruit development[J]. *Acta Bot. Boreal.-Occident. Sin.* (西北植物学报), 2011, **31**(7): 1 411—1 416 (in Chinese).
- [32] YAN R W(严睿文), DING Y(丁 毅). Determination of flavone in Chinese *Cheanomeles speciosa* (Sweet) Nakai at Xuancheng[J]. *Journal of Biology* (生物学杂志), 2008, **25**(3): 62—64 (in Chinese).
- [33] LI N(李 娜), JIANG H F(姜洪芳), JIN J H(金敬宏), *et al.* Total flavone content analysis of *Cheanomeles speciosa* by different harvest times[J]. *Food Research and Development* (食品研究与开发), 2011, **32**(2): 112—114 (in Chinese).
- [34] VILLATORO C, ALTISENT R, ECHEVERRÍA G, *et al.* Changes in biosynthesis of aroma volatile compounds during on-tree maturation of ‘Pink Lady®’ apples[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2008, (47): 286—295.