

## 不同贮藏温度对李果实花青素代谢的影响

胡顺卿, 刘雨辰, 井广琴, 陈长宝, 朱树华

(山东农业大学, 泰安 271018)

**摘要:** **目的** 探究不同贮藏温度对李果实花青素的生物合成及其相应酶活性的影响。 **方法** 分别在0, 5, 20 °C下贮藏“安格诺”李果实, 从不同温度处理对李果实贮藏过程中花青素含量及组分变化、相关酶活性变化等方面的影响来探究采后李果实花青素的生物代谢过程。 **结果** 5 °C下贮藏增加了李果肉的花青素含量, 而0 °C下贮藏减少了花青素含量。0 °C下贮藏提高了矢车菊色素-3-芸香糖苷的含量, 5 °C和20 °C下贮藏提高了矢车菊色素-3-葡萄糖苷的含量。0 °C下贮藏李果实中苯丙氨酸解氨酶(PAL)、查尔酮异构酶(CHI)、黄烷酮3-羟化酶(F3H)、类黄酮3,5-糖苷转移酶(UFGT)、二氢类黄酮还原酶(DFR)和花色苷合成酶(ANS)的酶活性, 在处理的30 d后均低于5 °C下相应的值。研究同时表明, 20 °C下贮藏时花青素的含量和PAL, ANS的活性有显著相关性; 5 °C下贮藏花青素的含量同F3H活性有显著相关性。 **结论** 贮藏温度对采后李果实花青素生物合成和代谢具有重要的调节作用, 适宜的低温贮藏对于延缓采后李果肉花青素积累具有积极的重要作用。

**关键词:** 李果实; 花青素; 酶活性; 贮藏温度

**中图分类号:** TS206 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2015)09-0016-07

## Effect of Storage Temperature on Anthocyanin Metabolism in Plum Fruit

HU Shun-qing, LIU Yu-chen, JING Guang-qin, CHEN Chang-bao, ZHU Shu-hua

(Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China)

**ABSTRACT:** The aim of this work was to study the changes in anthocyanins biosynthesis and the activities of related enzymes in the mesocarp of plum fruit during storage at different temperatures. Angeleno plum fruits were stored at 20, 5 and 0 °C, respectively. The anthocyanin metabolism in postharvest plum fruits was investigated by analyzing the effect of different storage temperature on the activities of related enzymes, the contents and compositions of anthocyanin in plum mesocarp. Content of total anthocyanin in plum mesocarp increased during the storage at 5 °C, and decreased at 0 °C. Storage at 0 °C increased the concentration of cyaniding-3-rutinoside, while storage at 20 and 5 °C increased the concentration of cyaniding-3-glucoside. The activities of PAL, CHI, F3H, UFGT, DFR and ANS in mesocarp of plum fruits after 30 day storage at 0 °C were lower than those of fruits stored at 5 °C. The results also showed that the content of total anthocyanin was significantly correlated with the activities of PAL and ANS in mesocarp of plum fruits stored at 20 °C, while significant correlation was found between with the anthocyanin content and the F3H activity when stored at 5 °C. In conclusion, the storage temperature played an important regulating role in the biosynthesis and metabolism of anthocyanin in the postharvest plum fruits, and proper low-temperature storage should be an important and positive factor delaying the accumulation of anthocyanin in the mesocarp of postharvest plum fruits.

**KEY WORDS:** plum fruit; anthocyanin; enzyme activity; storage temperature

花青素对果蔬品质和人类健康方面具有一定作用<sup>[1-4]</sup>。花青素的颜色主要分为红色、紫色和蓝色,从

收稿日期: 2015-03-16

基金项目: 国家自然科学基金(31270723); 山东省科技发展计划(2013GZX20109)

作者简介: 胡顺卿(1989—), 男, 山东人, 山东农业大学硕士生, 主攻生物活性物质的合成与性能检测。

通讯作者: 朱树华(1978—), 男, 山东人, 博士, 山东农业大学教授, 主要研究方向为化学生物学、果实生物学。

其颜色变化可以初步判别花青素的合成和降解<sup>[5-7]</sup>。花青素是决定果实色泽的主要色素,果实色泽不仅影响到外观,而且着色程度与风味品质有关,花青素在水果成熟和过成熟阶段会被不断合成<sup>[8-9]</sup>。当前研究表明,果蔬在采前和采后及其用不同方法处理可能会延迟花青素的积累<sup>[10-12]</sup>。采前套袋能够延缓李果实的成熟进程,这同低含量的花青素和类胡萝卜素紧密相关<sup>[13]</sup>。用1-甲基环丙烯(1-MCP)处理采后红椒并在20℃下常温贮藏能够显著抑制花青素的合成和积累,提高甜椒贮藏期间的感官品质<sup>[12]</sup>;用草酸处理李果实可以延缓其成熟和货架期过程中果实红化和花青素的合成<sup>[13]</sup>。

采后李果实花青素的合成同温度密切相关<sup>[14]</sup>。采后不同温度处理可以影响果实的品质。低温(15℃)和光照贮藏可以有效增加葡萄糖花青素的含量,而高温(35℃)可以抑制花青素含量的增加<sup>[15]</sup>。另也有研究显示,低温可以抑制花青素的合成<sup>[14-16]</sup>。18~20℃贮藏时,采后李果实在成熟和衰败过程中仍能够继续合成花青素<sup>[8-10]</sup>。低温下长时间贮藏易引起李果实冷害,表现出果肉褐变、红化等现象<sup>[16-17]</sup>。以上结果表明,温度对花青素的生物合成和代谢具有重要的调节作用。

文中研究了李果实在不同贮藏温度下花青素含量变化,测定了苯丙氨酸解氨酶(PAL)、查尔酮异构酶(CHI)、黄烷酮3-羟化酶(F3H)、二氢类黄酮还原酶(DFR)、花色苷合成酶(ANS)、类黄酮3,5-糖苷转移酶(UFGT)等相关酶的活性,以期了解在贮藏温度对李果实花青素生物合成的影响。

## 1 实验

### 1.1 植物材料

“安格诺”李采摘于山东聊城,挑选颜色、大小均一,无机械损伤的果实,并在0,5,20℃下贮藏。每个温度处理设10组,每组30个果实。20℃下贮藏的李果实每2d取1次样,0和5℃下贮藏每10d取1次样。所取样品置于-80℃冰箱保存。

### 1.2 花青素组分测定

花青素的提取参照 Garcia-Viguera<sup>[18]</sup>的方法。取2g研磨粉碎后的李果肉加到10mL丙酮中,4℃下孵育10min,匀浆在4℃下10000g离心10min,收集上清液,同样方法提取3次。收集上清液作为粗提样品。

花青素含量通过pH示差法进行计算<sup>[19-20]</sup>。取4

mL粗提取的花青素在30℃下减压蒸干后重新溶于2mL KCl-HCl缓冲液(pH 4.5)中。测量700nm和510nm处的吸光度。花青素的含量(每克新鲜果实中花青素含量用W表示)通过公式(1)进行计算,并用矢车菊色素-3-葡萄糖苷含量表示:

$$W = \Delta A \cdot M_r \cdot t \cdot V \cdot 10^6 / (\varepsilon \cdot L \cdot m) \quad (1)$$

式中:  $\Delta A$ 为吸光度差值,  $A$ 为吸光度,即  $\Delta A = (A_{510 \text{ nm}} - A_{700 \text{ nm}})_{\text{pH}1.0} - (A_{510 \text{ nm}} - A_{700 \text{ nm}})_{\text{pH}4.5}$ ;  $M_r$ 为矢车菊色素-3-葡萄糖苷的相对分子质量(449.2);  $t$ 为稀释因子;  $\varepsilon$ 为摩尔吸光系数;  $L$ 为光程(1cm);  $V$ 为花青素提取物的实际体积(mL);  $m$ 为所测样品的新鲜果实质量(g);  $10^6$ 为转换系数。

取4mL粗提的花青素样品用玻璃棉过滤,滤液在30℃下减压干燥。剩余物用4mL甲酸水溶液(体积分数为3%)溶解,在30℃下用HPD-100多孔树脂吸附20min。用20mL甲醇水溶液(体积分数为3%)洗涤后用甲酸甲醇(体积分数为3%)溶液冲洗使之解吸附,收集溶液并在40℃下减压蒸干,将剩余物溶于1mL混合液(甲酸、甲醇和水的体积比为5:15:80)中。该混合液用于高效液相色谱分析。柱条件: C18柱(250mm × 4.6mm, 10μm, Agilent, USA),流动相A为甲酸水溶液(体积分数为5%),流动相B为甲醇,流动相在使用前均超声脱气。总流速为1mL/min,样品的进样体积为20μL。样品采用梯度洗脱,流动相B起始体积分数为15%,第15分钟时增至30%,保持该体积分数5min不变,第30分钟时增至50%,第33分钟时增至80%。所有液相样品用0.45μm滤膜过滤。检测510nm处的信号。测定3次平行数据取平均值。

### 1.3 PAL和CHI活性测定

PAL和CHI的活性测定方法参照王惠聪和Wada<sup>[21-22]</sup>。将1g研磨粉碎后的李果肉溶于5mL 50mmol/L磷酸钾缓冲液(pH 7.0, 50mmol/L维生素C, 18mmol/L β-巯基乙醇和体积分数为5%的曲拉通X-100)。4℃下孵育10min,匀浆在4℃下12000g离心5min。上清液作为PAL和CHI的粗提取物。

1) PAL活性检测。0.5mL的粗提取物加入0.5mL 0.1mol/L硼酸缓冲液(pH 8.8, 10mmol/L L-苯基丙甲酸)。混合物于34℃恒温30min后加入0.5mL三氟乙酸(体积分数为35%)终止反应,混合物在4℃下10000g离心5min,取上清。将不含L-苯丙氨酸的混合液作为空白对照。测量样品在285nm处的吸光度,以每克新鲜果肉组织每小时在285nm处吸光度增加0.1作为一个PAL活性单位(U)。

2) CHI活性检测。0.4mL酶提取物同1mL 50

mmol/L Tris-HCl 缓冲液 (pH 7.4, 7.5 g/L BSA 和 50 mmol/L KCN) 混匀。通过加入 0.05 mL 4.46 mmol/L 的四羟基查尔酮引发反应, 34 °C 孵育 30 min, 测定 381 nm 处的吸光度。每克新鲜果肉组织每分钟在 381 nm 处吸光度增加 0.01 作为一个 CHI 活性单位(U)。

#### 1.4 F3H 活性测定

F3H 活性测定方法参照 Schwinn<sup>[23]</sup>。取 0.5 g 研磨粉碎后的李果肉加入 2 mL 100 mmol/L Tris-HCl 缓冲液 (pH 8.0, 14 mmol/L  $\beta$ -巯基乙醇, 5 mmol/L DTT, 40 mmol/L 抗坏血酸钠, 3 mmol/L EDTA, 10 mmol/L 亮胎素和质量分数为 2% 的 BSA) 中。匀浆在 4 °C 下 12 000 g 离心 20 min, 取上清作为酶粗提取液。取 0.2 mL 粗提液同 0.3 mL 测试液 (0.5 mmol/L 柚皮素, 80  $\mu$ mol/L 甘氨酸钠, 7 000 U/mL 过氧化氢酶, 1 mmol/L 2-氧化戊二酸, 0.1 mmol/L FeSO<sub>4</sub>, 10 mmol/L 抗坏血酸钠) 反应, 将混合液震荡 10 s 后 37 °C 孵育 10 min。通过加入 0.1 mL 饱和 EDTA 溶液引发反应。离心并过滤后测量 292 nm 处吸光度。以每克新鲜果肉组织每分钟在 292 nm 处吸光度增加 0.001 作为一个 F3H 活性单位(U)。

#### 1.5 DFR 活性测定

DFR 的提取参照 Petti<sup>[24]</sup>。取 0.5 g 研磨粉碎后的李果肉溶于 2 mL 100 mmol/L Tris-HCl (pH 7.5, 5 mmol/L DTT) 溶液。匀浆在 4 °C 下 12 000 g 离心 10 min。收集上清液作为酶提取液, 取 0.5 mL 酶提取液加入 0.5 mL 100 mmol/L Tris-HCl (pH 7.5, 5  $\mu$ mol/L 二氢槲皮素, 5  $\mu$ mol/L NADPH, 5 U/mL-葡萄糖-6-磷酸脱氢酶) 溶液。混合液 30 °C 孵育 1 h 后用 1 mL 乙酸乙酯 (无水) 萃取 3 次。萃取物中加入 1.5 mL 丁醇-盐酸 (体积比为 95:5) 的混合液后将乙酸乙酯蒸出, 并在 95 °C 下孵育 30 min, 测量 550 nm 处吸光度。对照组用加热过没有活性的酶测试。以每克新鲜果肉组织每分钟在 550 nm 吸光度增加 0.001 作为一个 DFR 活性单位(U)。

#### 1.6 ANS 的活性测定

ANS 活性测定参照 Nakajima<sup>[25]</sup>。取 0.5 g 研磨粉碎的李果肉加入 0.5 mL 20 mmol/L 磷酸缓冲液 (pH 7.0, 200 mmol/L NaCl, 体积分数为 10% 的丙三醇, 5 mmol/L DTT, 4 mmol/L 维生素 C)。混合液在 4 °C 下 12 000 g 离心 5 min。取 0.5 mL 上清液同 0.5 mL 50 mmol/L 磷酸钾缓冲液 (pH 7.0, 200 mmol/L NaCl, 5 mmol/L 二硫苏糖醇, 体积分数为 10% 的丙三醇, 4 mmol/L 抗坏血酸钠, 0.4 mmol/L FeSO<sub>4</sub>, 1 mmol/L 2-酮戊二酸, 1 mmol/L 无

色花色素) 混合。混合液 30 °C 孵育 1 h 后加入 100  $\mu$ L 浓盐酸引发反应, 测量 520 nm 处吸光度。以每克新鲜果肉组织每分钟在 520 nm 处吸光度增加 0.001 作为一个 ANS 活性单位(U)。

#### 1.7 UFGT 的活性测定

UFGT 活性测定参照 Lister<sup>[21]</sup>。取 0.5 g 研磨粉碎后的李果肉加至 2 mL -20 °C 预冷的丙酮中, 混合液在 4 °C 下 12 000 g 离心 15 min。用 4 mL 100 mmol/L 的硼酸缓冲液 (pH 8.8, 5 mmol/L 抗坏血酸钠) 萃取。取 0.5 mL 上清液同 0.5 mL 50 mmol/L Tris-甘氨酸盐缓冲液 (pH 8.0, 1 mmol/L 槲皮黄酮, 2.5 mmol/L 尿苷二磷酸) 混合。34 °C 下反应 30 min, 加入 1 mL 体积分数为 20% 的三氯乙酸-甲醇溶液, 混合液在 4 °C 下 10 000 g 离心 5 min, 收集上清液, 测量 350 nm 处吸光度。以每克新鲜果肉组织每分钟在 350 nm 处吸光度增加 0.001 作为一个 UFGT 活性单位(U)。

## 2 数据分析

每个数据平行测量 3 次, 采用 ANOVA 过程做差异显著性测验 ( $P < 0.05$ ), 用 LSD 法做多重比较分析。

## 3 结果

### 3.1 不同贮藏温度对李果实花青素含量的影响

在 5 和 20 °C 贮藏时, 李果肉花青素的含量分别在 第 20 天和第 6 天后显著升高 (见图 1), 0 °C 时, 第 50 天李果肉花青素的含量约是贮藏前的 2 倍。5 °C 贮藏时, 第 20 天至第 30 天每克李果实中花青素含量锐增 46.54  $\mu$ g, 第 40 天时每克李果实中花青素含量为 53.83  $\mu$ g, 第 6 天后增速减缓, 第 8 天花青素含量约是贮藏前的 9 倍。

矢车菊色素-3-葡萄糖苷和矢车菊色素-3-芸香糖苷是李果肉花青素中最重要的 2 种色素。在贮藏过程中这 2 种花青素的含量均有增加, 这种增加同贮藏温度存在相关性。5 °C 下贮藏的李果肉花青素在第 40 天时, 矢车菊色素-3-葡萄糖苷与矢车菊色素-3-芸香糖苷质量比约为 95:5 (见表 1), 花青素总含量是贮藏前的 29 倍, 矢车菊色素-3-葡萄糖苷在 20 °C 下贮藏第 8 天和 0 °C 第 50 天花青素的含量分别是贮藏前的 10 倍和 2 倍。在常温贮藏下 (20 °C) 矢车菊色素-3-葡萄糖苷积累迅速, 矢车菊色素-3-芸香糖苷积累较慢。矢车菊色素-3-芸香糖苷在 5 °C 下第 40 天和 20 °C 第 8

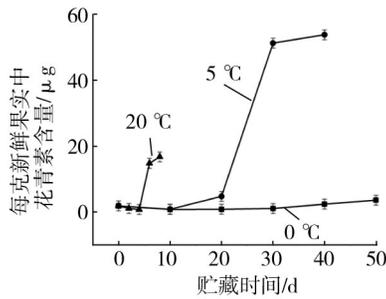


图1 不同贮藏温度下李果实果肉花青素含量

Fig.1 Contents of total anthocyanin in plum mesocarp at different storage temperatures

天浓度分别为贮藏前的14倍和5倍,尽管如此,矢车菊素-3-葡萄糖苷仍是色素的主要成分。以上结果表明,在低温下花青素的合成可能存在某种调节途径以改变2种色素的相对含量。

### 3.2 不同贮藏温度对李果实花青素代谢相关酶活性的影响

20 °C贮藏时,李果肉PAL活性在前4 d呈递减趋势,之后迅速增加(见图2)。20和5 °C贮藏时,李果肉PAL活性均在第10天达到最大峰值。0 °C贮藏时,PAL活性在第30天后没有明显变化,而5 °C贮藏时PAL活性在第30天后持续降低。0 °C贮藏时李果肉PAL活性明显高于5 °C时。

不同贮藏温度下,李果肉CHI活性在前期均迅速降低。在5和0 °C贮藏时,最低的CHI活性出现在第10天,分别为0.60和0.85 U。0 °C时,李果肉CHI活性

表1 不同贮藏温度下贮藏末期矢车菊素-3-葡萄糖苷和矢车菊素-3-芸香糖苷含量

Tab.1 Contents of cyanidin 3-glucoside and cyanidin 3-rutinoside in the mesocarp of plum fruit at the end of storage at different temperatures

储存温度- 储存时间	矢车菊素-3- 葡萄糖苷含量	矢车菊素-3- 芸香糖苷含量
储藏前	1.67	0.19
0 °C-50 d	2.92	0.68
5 °C-40 d	51.24	2.60
20 °C-8 d	15.91	0.84

最高峰值出现第40天,之后缓慢下降。

20 °C贮藏时,李果肉F3H活性在第6天达到最大峰值,之后缓慢下降。5 °C时F3H活性在前20天缓慢增加,而第20天到第40天迅速增加。0 °C贮藏时,F3H活性持续增加,在第30天时达到峰值,之后缓慢下降,且其活性明显高于相应5 °C贮藏时。以上结果表明低温能够延缓李果实F3H活性快速达到峰值。

同20 °C贮藏相比,低温(5和0 °C)贮藏可以延缓李果肉DFR活性达到最大峰值的时间。5和0 °C贮藏时,李果肉DFR活性最大峰值均出现在第10天,但0 °C贮藏时DFR活性明显高于5 °C时。在前20天,0 °C贮藏时李果肉DFR活性明显高于5 °C时;在第30天后,5 °C贮藏时李果肉DFR活性明显高于0 °C时。

20 °C贮藏时,李果肉ANS活性从第4天的2.50 U快速升高到第8天的6.55 U。5和0 °C贮藏时,ANS活性均在第10天达到最大峰值,经短暂的减弱后分别在

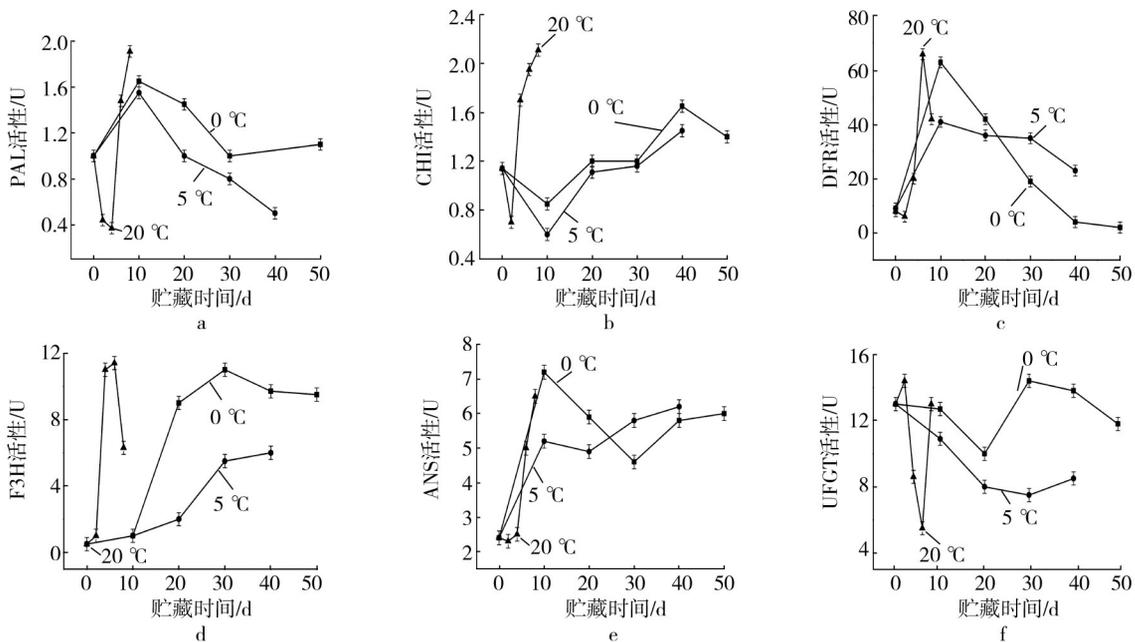


图2 不同贮藏温度下每克李果肉相关酶活性

Fig.2 Activities of enzymes related with anthocyanin biosynthesis per gram mesocarp of plum fruit during storage at different temperatures

第20 d和第30天逐渐增强。同DFR活性变化规律类似,在前20天,0℃贮藏时李果肉ANS活性明显高于5℃时;在第30天后,5℃贮藏时李果肉ANS活性明显高于0℃时。5℃贮藏时,李果肉UFGT活性在第30天时达到最小峰值,之后其活性缓慢增强。0℃贮藏时,UFGT活性缓慢减弱,第20天时出现最小峰值,之后迅速增强,第30天达到最大峰值后缓慢下降。在整个贮藏阶段,0℃李果肉ANS活性明显高于5℃时。

### 3.3 酶活性同花青素含量的相关性

20℃贮藏时,李果实PAL和ANS活性同花青素含量有显著相关性(见表2)。5℃贮藏时,李果肉F3H活性同花青素含量有显著相关性。0℃贮藏时,所测这几种酶活性同花青素含量间并不存在显著相关性。以上结果表明,不同温度贮藏对李果实花青素代谢途径上相关酶活性有一定的调节作用。

表2 不同贮藏温度下不同酶的活性同花青素含量的相关性校验

Tab.2 Correlation between enzyme activities and anthocyanin contents in the mesocarp of plum fruit stored at different temperatures

温度/℃	变量	相关性系数
20	PAL vs 花青素	0.9368*
	CHI vs 花青素	0.7912
	F3H vs 花青素	0.4182
	DFR vs 花青素	0.8700
	ANS vs 花青素	0.9770*
	UFGT vs 花青素	-0.3379
5	PAL vs 花青素	-0.7726
	CHI vs 花青素	0.6631
	F3H vs 花青素	0.9848*
	DFR vs 花青素	0.0413
	ANS vs 花青素	0.6909
	UFGT vs 花青素	-0.4075
0	PAL vs 花青素	-0.5954
	CHI vs 花青素	0.6958
	F3H vs 花青素	0.2557
	DFR vs 花青素	-0.7817
	ANS vs 花青素	-0.0038
	UFGT vs 花青素	0.0247

注:\*差异显著性测验( $P < 0.05$ )。

## 4 讨论

“安格诺”李果实在温度为20,5,0℃下贮藏时李

果肉花青素含量迅速增加,分别出现在第4天、第20天和第30天。与20和5℃下贮藏相比,0℃下贮藏能够明显延缓花青素的积累。花青素含量在第20天后迅速增加导致其大量积累,这和李果实果肉迅速变红相一致。对“Harrow Sun”、“黑琥珀”等其他李品种的研究表明结果相似<sup>[16]</sup>。当前研究显示,矢车菊色素-3-葡萄糖苷和矢车菊色素-3-芸糖苷是“安格诺”李果肉花青素中的2种主要成分。矢车菊色素-3-葡萄糖苷可以使果肉颜色变红,而矢车菊色素-3-芸糖苷可以使果肉变紫<sup>[7-13]</sup>。在不同温度贮藏过程中2种糖苷的浓度变化和李果实鲜果变红相关。研究“大士早生”和“Black Ambar”李果实时也发现温度会对花青素生物合成产生影响<sup>[11]</sup>。以上结果表明李果肉花青素的含量对于果实色泽有重要作用,而贮藏温度对花青素的生物合成和李果实采后保存有重要作用。

CHI能够催化查尔酮环的闭合,形成第1个类黄酮产物,F3H可以催化3位羟基化反应,是2-酮戊二酸依赖型的双加氧酶,类黄酮3,5-糖苷转移酶(UFGT)是第1个使花色素形成稳定的花色素苷的酶,并由无色转为有色。同20和5℃贮藏李果实相比,0℃下贮藏能够有效抑制李果肉PAL,CHI,F3H,及UFGT的活性。通过计算可知,在20℃贮藏时,李果肉花青素的含量和PAL活性及ANS活性有显著相关性,PAL是花青素苷前体-酚类物质合成的第1个酶,而ANS可以催化无色花色素形成有色花色素苷的前体。在5℃下贮藏时花青素含量同F3H有显著相关性,而在0℃下贮藏时花青素含量同这几种酶之间并不存在显著相关性。一般情况下,在李果实高温(20℃)贮藏过程中花青素含量和酶相关性较强,温度降低相关性减弱。花青素的积累不仅受李果实品种的影响,而且受采前、采后条件及贮藏温度的影响。该研究结果表明,贮藏温度对采后李果实花青素生物合成和代谢具有重要的调节作用。果肉褐变红化是李果实贮藏品质劣变的常见表现。贮藏温度尤其是低温如何被李果实感受进而调控果实中的色素代谢?可否通过阻断果实色素代谢对贮藏温度的响应来抑制低温贮藏下果肉红化等现象,并维持好的果实贮藏品质?上述问题仍值得深入研究。

## 5 结语

李果实在不同贮藏温度下花青素含量和相关酶活性会不断变化,进而影响李果实品质。低温贮藏对延缓李果实花青素积累有重要作用。0℃贮藏可以有

效抑制李果实花青素含量的积累。高温(20 ℃)贮藏时,花青素含量同PAL,ANS活性有显著相关性,而低温(0 ℃)贮藏时,花青素含量同所测酶活性不存在显著相关性。表明,0 ℃低温贮藏可能通过对花青素代谢途径上其他位点的调控抑制果实花青素的积累,具体机理有待于进一步研究。

#### 参考文献:

- [1] JAAKOLA L. New Insights into the Regulation of Anthocyanin in Biosynthesis in Fruits[J]. *Trends in Plant Science*, 2013, 18(9):477—483.
- [2] PETRONI K, TONELLI C. Recent Advances on the Regulation of Anthocyanin Synthesis in Reproductive Organs[J]. *Plant Science*, 2011, 181(3):219—229.
- [3] POJER E, MATTIVI F, JOHNSON D, et al. The Case for Anthocyanin Consumption to Promote Human Health: a Review [J]. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2013, 12(5):483—508.
- [4] TSUDA T. Dietary Anthocyanin Rich Plants: Biochemical Basis and Recent Progress in Health Benefits Studies[J]. *Molecular Nutrition & Food Research*, 2012, 56(1):159—170.
- [5] HOU H, QIN P, ZHANG Y, et al. Identification of Anthocyanins Isolated from Black Rice (*Oryza Sativa* L) and Their Degradation Kinetics[J]. *Food Research International*, 2013, 50(2):691—697.
- [6] HERNANDEZ-HERRERO J, FRUTOS M. Colour and Antioxidant Capacity Stability in Grape, Strawberry and Plum Peel Model Juices at Different pHs and Temperatures[J]. *Food Chemistry*, 2014, 154:199—204.
- [7] HOWARD L, BROWN MILLER C, PRIOR R. Improved Color and Anthocyanin Retention in Strawberry Puree by Oxygen Exclusion[J]. *Journal of Berry Research*, 2014, 4(2):107—116.
- [8] PUERTA-GOMEZ A, CISNEROS-ZEVALLOS L. Postharvest Studies Beyond Fresh Market Eating Quality: Phytochemical Antioxidant Changes in Peach and Plum Fruit During Ripening and Advanced Senescence[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2011, 60(3):220—224.
- [9] D AZ-MULA H, SERRANO M, VALERO D. Alginate Coatings Preserve Fruit Quality and Bioactive Compounds during Storage of Sweet Cherry Fruit[J]. *Food and Bioprocess Technology*, 2012, 5(8):2990—2997.
- [10] 吴雪莹, 王宝刚, 曾凯芳. 1-MCP 处理对李果实采后生理和贮藏品质的影响[J]. *包装工程*, 2015, 36(1):97—102.  
WU Xue-ying, WANG Bao-gang, ZENG Kai-fang. Effects of 1-MCP Treatment on Postharvest Physiology and Storage Quality of Plum Fruits[J]. *Packaging Engineering*, 2015, 36(1):97—102.
- [11] VALERO D, D AZ-MULA H, ZAPATA P, et al. Effects of Alginate Edible Coating on Preserving Fruit Quality in Four Plum Cultivars During Postharvest Storage[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2013, 77:1—6.
- [12] 韦强, 黄漫青, 张海英, 等. 1-MCP 处理对红色甜椒常温贮藏期间呼吸与色素变化的影响[J]. *保鲜与加工*, 2014, 14(1):11—14.  
WEI Qiang, HUANG Man-qing, ZHANG Hai-ying, et al. Effects of 1-MCP Treatment on Respiratory and Pigment Change of Red Sweet Pepper Fruits during Normal Temperature Storage[J]. *Storage and Process*, 2014, 14(1):11—14.
- [13] WU F, ZHANG D, ZHANG H, et al. Physiological and Biochemical Response of Harvested Plum Fruit to Oxalic Acid During Ripening or Shelf-life[J]. *Food Research International*, 2011, 44(5):1299—1305.
- [14] 张学英, 张上隆, 秦永华, 等. 温度对李果实采后花色素苷合成的影响[J]. *园艺学报*, 2005, 32(6):1073—1076.  
ZHANG Xue-ying, ZHANG Shang-long, QIN Yong-hua, et al. Effects of Temperature on Anthocyanin Synthesis of Postharvest Plum Fruit[J]. *Acta Horticulturae Sinica* 2005, 32(6):1073—1076.
- [15] AZUMA A, YAKUSHIJI H, KOSHITAY, et al. Flavonoid Biosynthesis-related Genes in Grape Skin Are Differentially Regulated by Temperature and Light Conditions[J]. *Planta*, 2012, 236(4):1067—1080.
- [16] KOUTSOFLINI A, GERASOPOULOS D, VASILAKAKIS M. The Effects of Fruit Maturation, Delayed Storage and Ethylene Treatment on the Incidence of Low-temperature Breakdown of Hayward Kiwifruit[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2013, 93(2):410—414.
- [17] FANNING K, TOPP B, RUSSELL D, et al. Japanese Plums (*Prunus Salicina* Lindl.) and Phytochemicals—breeding, Horticultural Practice, Postharvest Storage, Processing and Bioactivity[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2014, 94(11):2137—2147.
- [18] GARCIA-VIGUERA C, ZAFRILLA P, TOMAS-BARBERAN F. The Use of Acetone as an Extraction Solvent for Anthocyanins from Strawberry Fruit[J]. *Phytochemical Analysis*, 1998, (9):274—277.
- [19] GALN-VIDAL C, CASTAEDA-OVANDO A, PEZ-HERNANDEZ M, et al. Determination of Nitrites in Commercial Sausages by Anthocyanins Degradation: Experimental Design and Optimization[J]. *Journal of the Mexican Chemical Society*, 2014, 58(2):180—184.
- [20] LEE J, DURST R, WROLSTAD R. Determination of Total Monomeric Anthocyanin Pigment Content of Fruit Juices, Beverages, Natural Colorants, and Wines by the pH Differential Method: Collaborative Study[J]. *Journal of AOAC International*, 2005, 88(5):1269—1278.

- [21] WADA K, MIZUUCHI K, KOSHIO A, et al. Stress Enhances the Gene Expression and Enzyme Activity of Phenylalanine Ammonia-lyase and the Endogenous Content of Salicylic Acid to Induce Flowering in Pharbitis[J]. Journal of Plant Physiology, 2014, 171(11): 895—902.
- [22] 王惠聪, 黄旭明, 胡桂兵, 等. 荔枝果肉花青苷合成与相关酶的关系研究[J]. 中国农业科学, 2004, 37(12): 2028—2032.
- WANG Hui-cong, HUANG Xu-ming, HU Gui-bing, et al. Studies on the Relationship Between Anthocyanin Biosynthesis and Related Enzymes in Litchi Pericarp[J]. Scientia Agricultura Sinica. 2004, 37(12): 2028—2032.
- [23] SCHWINN K, MIOSIC S, DAVIES K, et al. The Bring Hydroxylation Pattern of Anthocyanins Can Be Determined Through Activity of the Flavonoid 3'-Hydroxylase on Leucoanthocyanidins[J]. Planta, 2014, 240(5): 1003—1010.
- [24] PETTI C, KUSHWAHA R, TATENO M, et al. Mutagenesis Breeding for Increased 3-deoxyanthocyanidin Accumulation in Leaves of Sorghum Bicolor (L) Moench; A Source of Natural Food Pigment[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2014, 62(6): 1227—1232.
- [25] NAKAJIMA J, TANAKA Y, YAMAZAKI M, et al. Reaction Mechanism from Leucoanthocyanidin to Anthocyanidin-3-glucoside, a Key Reaction for Coloring in Anthocyanin Biosynthesis[J]. Journal of Biological Chemistry, 2001, 276(28): 25797—25803.

(上接第15页)

- tion and Cultivation of Pitaya[J]. The Fruit of Chinese Southern, 2007, 36(3): 35—36.
- [5] 张娜, 李家政, 关文强, 等. 火龙果生物学及贮运保鲜技术研究进展[J]. 北方园艺, 2010(1): 229—231.
- ZHANG Na, LI Jia-zheng, GUAN Wen-qiang, et al. Research Process on Biology and Storage Preservation Technology of Pitaya[J]. Northern Horticulture, 2010(1): 229—231.
- [6] 卢琨. 火龙果采后的保鲜贮运技术[J]. 世界热带农业信息, 2006(7): 24—25.
- LU Kun. Storage and Transport Technology of Pitaya after Harvest[J]. The World Information of Tropical Agriculture, 2006(7): 24—25.
- [7] 张绿萍, 金吉林, 邓仁菊. 1-MCP对火龙果采后贮藏品质的影响[J]. 广东农业科学, 2011(5): 114—116.
- ZHANG Lu-ping, JIN Ji-lin, DENG Ren-ju. The Effects of 1-MCP on Quality of Pitaya With Postharvest Storage[J]. Guangdong Agricultural Science, 2011(5): 114—116.
- [8] 王彬, 郑伟, 何绪晓, 等. CaCl<sub>2</sub>处理对火龙果低温贮藏期品质的影响[J]. 西南农业学报, 2010, 23(3): 836—840.
- WANG Bin, ZHENG Wei, HE Xu-xiao, et al. Effects of CaCl<sub>2</sub> Treatment on Quality of Pitaya under Cold Storage[J]. Southwest China Journal of Agricultural Science, 2010, 23(3): 836—840.
- [9] 李东立. 一种多功能水果保鲜用多层复合薄膜及其制备: 中国, 201110005333.X[P]. 2011-09-07.
- LI Dong-li. A Kind of Multi-functional Fruit Fresh-keeping with Multi-layer Composite Membrane and Preparation Method: Application: China, 201110005333.X[P]. 2011-09-07.
- [10] 许文才. 可控释放杀菌剂的果蔬保鲜包装复合膜及其制备和应用: 中国, 200910086775.4[P]. 2009-12-16.
- XU Wen-cai. The Preparation and Application of Packaging Composite Membrane Can be Controlled Release Bactericidal agent for Fruit and Vegetable: China, 200910086775.4[P]. 2009-12-16.
- [11] 许文才. 具有高透气性功能的水果保鲜包装材料及其制备方法: 中国, 201010532453.0[P]. 2011-02-23.
- XU Wen-cai. The Preparation and Application of Packaging Composite—Membrane with High Permeability—Function for Fruit: China, 201010532453.0[P]. 2011-02-23.
- [12] VALVERDE J M, VALERO D, NEZ-ROMERO DM. Novel Edible Coating Based on Aloe Vera Gel to Maintain Table Grape Quality and Safety[J]. Agric Food Chem, 2005, 53: 7807—7813.
- [13] CHEN Shou-jiang, ZHANG Min, WANG Shao-jin. Effect of Initial Hermetic Sealing on Quality of Kyoho Grapes During Storage[J]. Postharvest Biology and Technology, 2011, 59: 194—199.
- [14] GB/T 6195—1986, 水果、蔬菜维生素C含量测定法(2,6-二氯酚酚滴定法)[S].
- GB/T 6195—1986, Determination of Vitamin C in Vegetables and Fruits(2,6-Indophenol Titration Method)[S].
- [15] 张敬勇, 李东立, 许文才, 等. 二氧化硫缓释杀菌袋对樱桃保鲜性能影响的研究[J]. 包装工程, 2013, 34(15): 49—52.
- ZHANG Jing-yong, LI Dong-li, XU Wen-cai, et al. Effect of SO<sub>2</sub> Controlled Release Packaging on Preservation Performance of Cherry[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(15): 49—52.
- [16] 李琛, 刘颖, 翁桢, 等. 贮运环境对葡萄品质的影响[J]. 现代食品科技, 2013, 29(2): 230—235.
- LI Chen, LIU Ying, WENG Zhen, et al. The Impact of Transportation Environment on Grape Quality[J]. Modern Food Science and Technology, 2013, 29(2): 230—235.