

梨果实发育过程中褐变相关生理指标的变化

苏艳丽, 杨 健, 田永真, 王 龙, 王苏珂, 薛华柏, 李秀根*

(中国农业科学院郑州果树研究所, 郑州 450009)

摘要:【目的】探明梨果实生长发育过程中与果实褐变相关的一些生理指标的变化规律。【方法】以3个果实易褐变品种和3个果实不易褐变品种为试材, 研究果实生长发育过程中褐变度、pH值、总酚含量、总黄酮含量、总酸含量和PPO活性等生理指标的变化。【结果】在梨果实的生长发育过程中, 果实pH值、褐变度含量、总酸含量、总酚含量、总黄酮含量和PPO活性整体均呈下降趋势。总体上, 易褐变品种果实的pH值低于不易褐变品种, 果实的褐变度、总酸含量、总酚含量、总黄酮含量和PPO活性均高于不易褐变品种, 经相关性分析, 梨果实整个发育过程中, 易褐变品种果实的褐变度与总酚含量、总黄酮含量、pH值和PPO活性间均呈显著正相关。【结论】该研究结果可为梨果实褐变机制的下一步研究提供借鉴。

关键词: 梨; 果实; 生长发育; 褐变; 生理指标

中图分类号: S661.2

文献标志码: A

文章编号: 1009-9980(2018)Suppl.-118-07

Study on the changes of physiological indexes related to browning during fruit development in pears

SU Yanli, YANG Jian, TIAN Yongzhen, WANG Long, WANG Suke, XUE Huabai, LI Xiugen*

(Zhengzhou Fruit Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Science, Zhengzhou 450009, Henan, China)

Abstract: 【Objective】The study was to reveal the changes of physiological indexes related to browning during the development of pear fruits. 【Methods】With six pear cultivars, among which three are easy to get brown and three are not easy to get brown, as the experimental materials, the changes of physiological indexes were studied, such as browning degree, pH value, the contents of total phenolics, total flavonoids and total acid as well as PPO activity during the fruit development. 【Results】The pH value, browning degree, total acid, total phenolics, total flavonoids and PPO activity all decreased during fruit development. Overall, the pH in the fruit easy to get brown was lower than that in another type of cultivars, and the browning degree, the contents of total acid and total flavonoids as well as PPO activity were higher during the fruit development. Correlation analysis indicated that browning degree was significantly and positively correlated with the total phenolics, total flavonoids, pH value and PPO activity during fruit development. 【Conclusion】The results can be used as reference for further study on the mechanism of fruit browning in the future.

Key words: Pear; Fruits; Growth and development; Browning; Physiological indexes

梨是水果中的佳品,也是治病的良药。李时珍《本草纲目》中记载:“梨品甚多,俱为上品,可治百病。”指出梨能“润肺凉心,消痰降火,解疮毒酒毒。”兼具有食用和药用价值,但梨果汁和鲜切梨果极易褐变,是梨果实品质下降最明显的标志之一,严重影响

其商品价值和食用价值。鲜切梨果实的褐变以酶促褐变为主,酶促褐变是指多酚氧化酶(polyphenoloxidase, PPO)催化酚类物质反应形成醌类物质及其聚合物的过程,它的发生需要同时满足3个条件:酚类物质、PPO以及氧^[1],由此可见,鲜切梨果实的褐

收稿日期:2018-11-07

接受日期:2018-12-25

基金项目:中国农业科学院科技创新工程(CAAS-ASTIP);国家梨产业技术体系建设专项(CARS-29-01A);国家重点研发计划(2018YF-DO201405)。

作者简介:苏艳丽,女,助理研究员,硕士,研究方向:梨种质资源创新及果实多酚研究。Tel:0371-55690927, E-mail: suyuanli@caas.cn

*通信作者 Author for correspondence. Tel:0371-65330967, E-mail: lixiugen@caas.cn

变程度主要取决于果实中酚类物质含量和PPO活性。

果实中酚类物质含量和PPO活性随果实生长发育呈动态变化,而目前国内外关于果实褐变生理机制的研究,主要集中在针对成熟果实酚类物质及相关酶活性的研究^[2-6],缺乏果实发育过程中褐变因素的动态研究。笔者通过对梨果实褐变情况的观察、分析和评价,筛选出果实易褐变、不易褐变品种各20多个,研究利用筛选出的这些品种,通过测定果实发育过程中,易褐变果实和不易褐变果实中一些生理指标的变化及差异,为揭示梨果实褐变机制提供依据。

1 材料和方法

1.1 材料

‘宝珠’‘龙香’‘苹果梨’3个易褐变品种和‘翠冠’‘丰水’‘崇化大梨’3个不易褐变品种均采自中国农业科学院郑州果树研究所梨资源圃。每个品种选择长势一致、树势健壮的5 a(年)生植株各3株,2017年5—10月每隔15 d在树冠外围进行随机取样10个果实,取样果实大小均匀、果形端正,无病虫害,样品采后立即带回实验室,5个果实取果肉混合后快速用液氮冷冻粉碎,置于-80℃冰箱保存备用,用于果实总酚、总黄酮含量等一些生理指标的检测,5个果实用于果实单果质量、褐变度、pH和总酸含量的测定。

1.2 测定方法

1.2.1 梨果实褐变度的测定 参照Coseteng等^[7]的测定方法并改进,新鲜果实去皮去核,将果肉混合均匀,称取5 g样品,加入10 mL蒸馏水,快速充分研磨,10 min后4℃下10 000 r·min⁻¹离心20 min,取上清液420 nm下测定OD值,以A420 nm表示褐变度。每个样品平行测定3次。

1.2.2 梨果实pH值的测定 称取适量切碎果肉于榨汁机中,把榨得的果汁转移到烧杯中,用数据型笔式pH测量仪(Hanna HI98107)直接测定,待显示稳

定后记录数值,每个样品重复测定3次,取平均值。

1.2.3 梨果实总酸含量的测定 参照张杰等^[8]的方法并稍作修改。称取3 g磨碎果肉,用少量蒸馏水转移到50 mL容量瓶中,定容至刻度,摇匀;吸取20 mL溶液于锥形瓶中,加入2~3滴酚酞(1%酚酞乙醇溶液)试剂,用NaOH标准溶液滴定至淡红色,并且30 s内不退色,即为滴定终点。记下所用NaOH标准溶液的体积,重复测定3次,取平均值。空白试验用纯水代替。

1.2.4 梨果实提取液的制备 取粉碎后的果实试样3 g于50 mL离心管中,按料液比1:10(g·mL⁻¹)加入30 mL 80%(v/v)的甲醇溶液,40℃超声10 min,10 000 r·min⁻¹离心15 min后收集上清液,再次向残渣加入30 mL 80%的甲醇溶液,重复提取1次,合并2次提取液后旋转浓缩定容至5 mL,得到的提取液冷藏保存,用于总酚和总黄酮含量的测定。每个样品重复测定3次。

1.2.5 总酚、总黄酮含量的测定 总酚含量的测定参照Folin-酚法^[9],以没食子酸为标准品建立标准曲线;采用李世燕等^[10]的硝酸铝-亚硝酸钠比色法测定总黄酮的含量,以芦丁为标准物质建立标准曲线。

1.2.6 PPO酶活性的测定 样品粗酶液的提取和活性测定均参照苏州科铭公司试剂盒说明书进行,采用的微量法。

1.3 统计分析

采用Excel 2007软件对试验结果进行初步分析,用Origin 9.0软件进行作图,并用SPSS 20软件进行相关性分析。

2 结果与分析

2.1 果实发育过程中单果质量的变化

针对不同取样时期,测定果实单果质量的变化(图1),6个品种果实单果质量的变化呈相似的变化趋势,前期生长速度缓慢,6月下旬进入快速生长

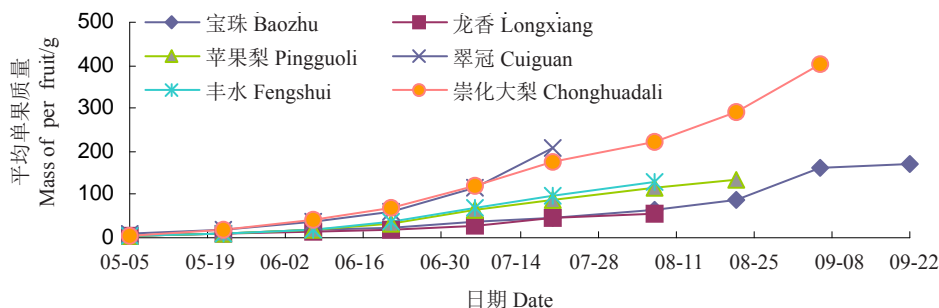


图1 果实发育过程中单果质量的变化

Fig. 1 Changes of fruit mass during fruit development

期。3个易褐变品种在6月21日(花后80 d)进入快速生长期,但膨大速度缓慢,2个月后果实单果质量是膨大前的3~4倍;3个不易褐变品种在6月7日(花后65 d)进入快速生长期,果实急剧膨大,2个月后果实单果是膨大前的5~6倍。果实成熟时,单果质量由大到小依次为:‘崇化大梨’>‘翠冠’>‘丰水’‘苹果梨’‘宝珠’>‘龙香’,说明果实开始膨大的时间及膨大速率决定了最终果实的质量,由品种自身的特性决定。

2.2 果实发育过程中pH值的变化

果实生长发育过程中,6个品种果实pH值整体呈降低趋势,果实发育前期降速较快,6月21日(花后80 d)后变化趋于平缓(图2)。3个易褐变品种中,‘宝珠’与‘苹果梨’果实的pH值差异不显著,与‘龙香’果实pH值差异显著;3个不易褐变品种果实的pH值差异不显著。在幼果期和成熟期,3个易褐变品种的pH值总体低于3个不易褐变品种,整个果实发育过程中‘龙香’品种的pH值最低。对于整个

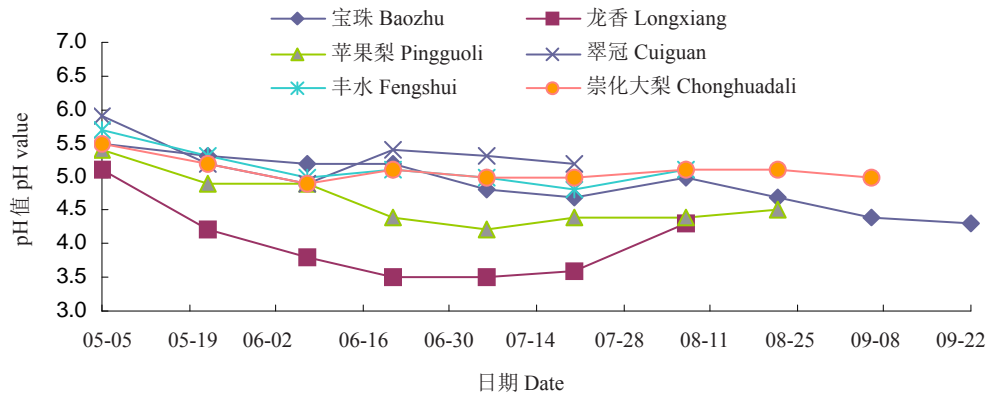


图2 果实发育过程中pH值的变化

Fig. 2 Changes of pH value during fruit development

生长发育过程,‘宝珠’与3个对照品种果实pH值差异不显著,‘龙香’‘苹果梨’与3个对照品种果实pH值差异显著;幼果期,易褐变品种与对照品种果实pH值差异不显著,成熟期差异显著。

2.3 果实发育过程中褐变度的变化

从图3可以看出,随着梨果实的生长发育,3个易褐变品种和3个不易褐变品种果实的褐变度变化趋势较一致,整体呈下降趋势。在果实生长前期(7月份前)快速下降,之后降速变缓,随着果实的成熟,

6个品种果实的褐变程度均越来越轻。在果实生长发育过程,3个不易褐变品种果实的褐变度始终低于2个易褐变品种‘宝珠’‘苹果梨’,易褐变品种‘龙香’例外,其褐变度较低。对于整个生长发育过程,3个易褐变品种与3个对照品种果实的褐变度差异不显著;幼果期,易褐变品种果实褐变度与对照品种差异显著,成熟期差异不显著。

2.4 果实发育过程中总酸含量的变化

如图4所示,果实发育过程中,‘龙香’果实的总

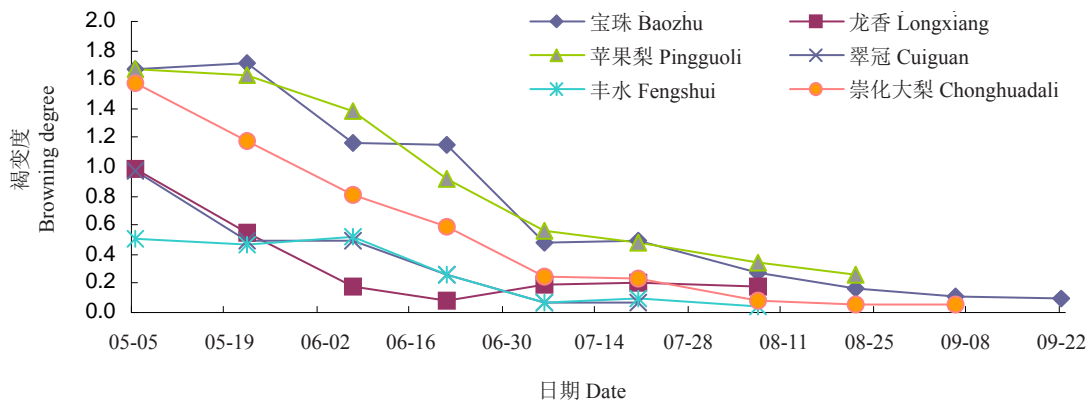


图3 果实发育过程中褐变度的变化

Fig. 3 Changes of browning degree during fruit development

酸含量呈波动性变化,且极显著高于其他5个品种 ($\alpha=0.01$),其他5个品种的总酸含量呈缓慢降低趋势,变化平缓。果实整个发育过程,3个易褐变品种

的总酸含量均高于3个不易褐变品种。对于整个生长发育过程,3个易褐变品种与3个对照品种果实的总酸含量差异显著。

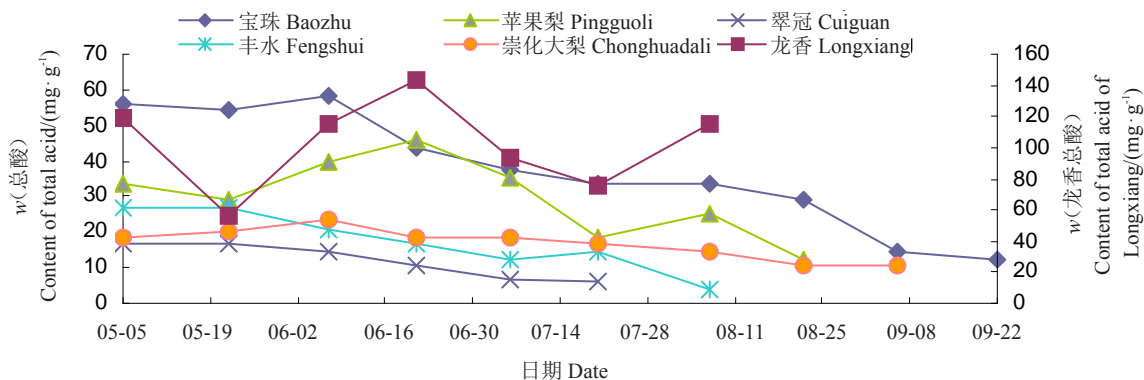


图4 果实发育过程中总酸含量的变化

Fig. 4 Changes of total acid contents during fruit development

2.5 果实发育过程中总酚含量的变化

由图5可以看出,在梨果实生长发育过程中,6个品种果实总酚含量变化趋势基本一致,呈逐渐降低的趋势,果实发育前期,总酚含量均快速降低,接近成熟时总酚含量趋于平缓。幼果期和果实成熟

期,3个易褐变品种果实的总酚含量整体高于3个不易褐变品种。对于整个生长发育过程,3个易褐变品种与3个不易褐变品种果实的总酚含量差异不显著;幼果期与成熟期,易褐变品种果实总酚含量与对照品种均差异不显著。

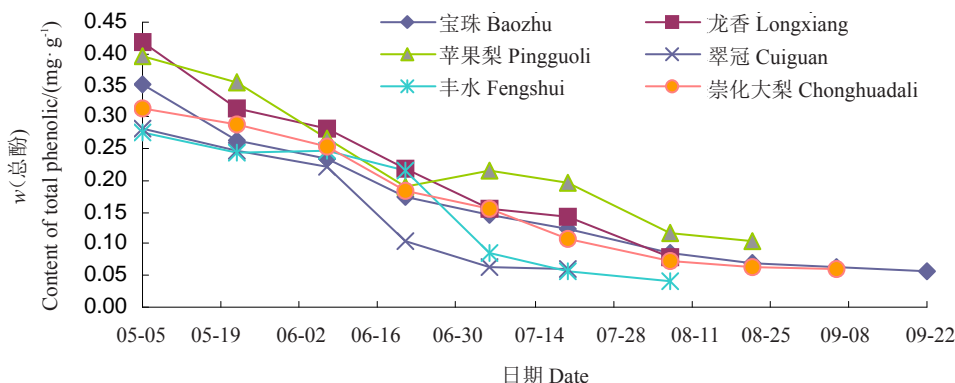


图5 果实发育过程中总酚含量的变化

Fig. 5 Changes of total phenolic contents during fruit development

2.6 果实发育过程中总黄酮含量的变化

随着果实的生长发育,6个品种果实总黄酮含量整体呈下降趋势,果实发育前期,快速下降,接近成熟期,果实总黄酮含量均趋于平缓(图6)。幼果期,3个易褐变品种总黄酮的含量明显高于3个不易褐变品种,易褐变品种中总黄酮的含量约是不易褐变品种的2~3倍,越接近成熟期,6个品种果实之间的总黄酮含量差异越不明显。对于整个生长发育过程,褐变品种‘宝珠’‘苹果梨’与3个对照品种果实的总黄酮含量差异不显著,褐变品种‘龙香’的总黄

酮含量与其他品种差异显著;幼果期,易褐变品种果实的总黄酮含量与对照品种差异显著,成熟期差异不显著。

2.7 果实发育过程中PPO酶活性的变化

易褐变品种‘苹果梨’果实PPO活性在幼果期和膨大期都是急剧下降,接近成熟期趋于稳定(图7)。易褐变品种‘宝珠’‘龙香’和3个对照品种果实生长发育期PPO活性整体均呈下降趋势,幼果期变化缓慢,膨大期迅速下降,成熟期趋于平缓。果实整个发育过程中,易褐变品种‘宝珠’‘苹果梨’的PPO

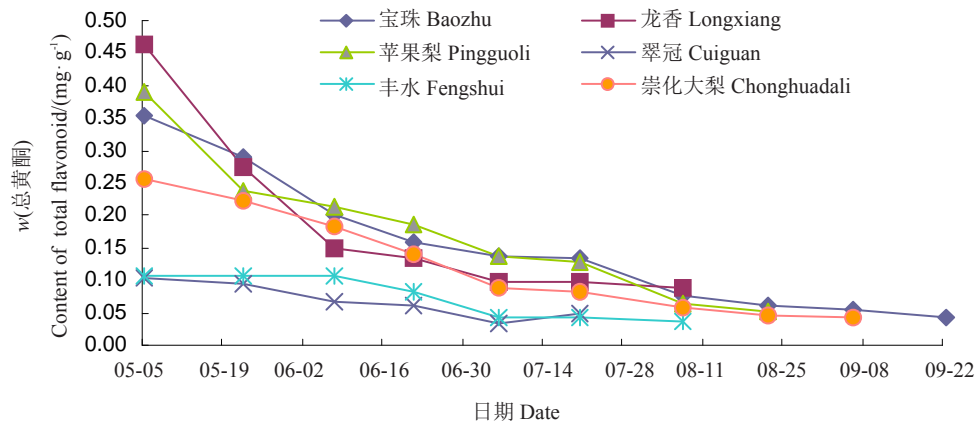


图6 果实发育过程中总黄酮含量的变化

Fig. 6 Changes of total flavonoid contents during fruit development

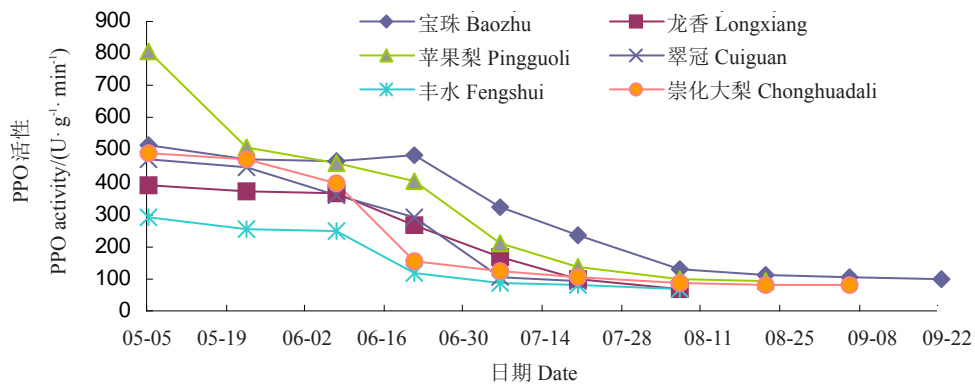


图7 果实发育过程中PPO酶活性的变化

Fig. 7 Changes of PPO activity during fruit development

活性均高于3个对照品种,而果实最易褐变的品种‘龙香’的PPO活性却不是最高。对于整个生长发育过程,3个易褐变品种与3个对照品种果实的PPO活性差异不显著;幼果期,易褐变品种果实PPO活性与对照品种差异显著,成熟期差异不显著。

2.8 果实发育过程中各种生理指标间的相关性分析

由表1可看出,易褐变品种‘宝珠’‘苹果梨’果实的褐变度与总酚、总黄酮含量、pH值和PPO活性均呈极显著正相关,‘龙香’果实的褐变度与总酚含量、总黄酮含量、pH值呈显著正相关,与PPO活性没有相关性;3个易褐变品种果实的总酚与总黄酮含量、PPO活性均呈极显著正相关,总酚含量与pH值和总酸含量的相关性3个品种间有差异;易褐变品种‘宝珠’‘苹果梨’果实的总黄酮含量与pH值、PPO活性呈极显著正相关,‘龙香’果实的总黄酮含量仅与pH值呈显著正相关;易褐变品种‘宝珠’‘苹果梨’果实的pH值与PPO活性呈极显著正相关,‘龙香’

果实的pH值与PPO活性没有相关性。

对照3个不易褐变品种果实的褐变度与总酚含量、总黄酮含量和PPO活性呈极显著正相关,与pH值、总酸含量的相关性3个品种间有差异;果实的总酚含量与总黄酮含量、总酸含量和PPO活性呈极显著正相关;果实的总黄酮含量与总酸含量、PPO活性呈显著正相关;果实总酸含量与PPO活性呈显著正相关。

3 讨论

果实中的一些生理指标随果实的生长发育发生变化,本研究中3个易褐变品种和对照3个不易褐变品种,在果实生长发育过程中,果实pH值、褐变度、总酸含量、总酚含量、总黄酮含量和PPO活性的变化趋势较一致,整体呈下降趋势。总体上,易褐变品种果实的pH值低于不易褐变品种,果实的褐变度、总酸含量、总酚含量、总黄酮含量和PPO活性均高于不易褐变品种,经相关性分析,梨果实整个发育过

表1 果实发育过程中不同生理指标间的相关性分析

Table 1 Correlation analysis of different physiological indexes during fruit development

生理指标 Physiological indexes	品种 Cultivar	总酚含量 Total Phenolics contents	总黄酮含量 Total flavonoids contents	pH pH value contents	总酸含量 Total acid contents	PPO活性 PPO activity contents
褐变度 Browning degree	宝珠 Baozhu	0.956**	0.957**	0.901**	0.899**	0.946**
	龙香 Longxiang	0.809*	0.972**	0.884**	-0.145	0.594
	苹果梨 Pingguoli	0.931**	0.901**	0.849**	0.531	0.941**
	翠冠 Cuiguan	0.933**	0.913**	0.555	0.887*	0.893*
	丰水 Fengshui	0.950**	0.984**	0.601	0.889**	0.970**
	崇化大梨 Chonghuadali	0.968**	0.974**	0.697*	0.666	0.957**
总酚含量 Total Phenolics contents	宝珠 Baozhu		0.989**	0.886**	0.900**	0.919**
	龙香 Longxiang		0.907**	0.603	0.025	0.941**
	苹果梨 Pingguoli		0.929**	0.780*	0.460	0.902**
	翠冠 Cuiguan		0.938**	0.271	0.977**	0.943**
	丰水 Fengshui		0.986**	0.652	0.881**	0.899**
	崇化大梨 Chonghuadali		0.985**	0.535	0.798*	0.961**
总黄酮含量 Total flavonoids contents	宝珠 Baozhu			0.868**	0.872**	0.889**
	龙香 Longxiang			0.842*	-0.007	0.737
	苹果梨 Pingguoli			0.855**	0.512	0.979**
	翠冠 Cuiguan			0.451	0.934**	0.942**
	丰水 Fengshui			0.624	0.900**	0.939**
	崇化大梨 Chonghuadali			0.525	0.782*	0.972**
pH值 pH value	宝珠 Baozhu				0.948**	0.876**
	龙香 Longxiang				0.044	0.407
	苹果梨 Pingguoli				0.163	0.880**
	翠冠 Cuiguan				0.217	0.316
	丰水 Fengshui				0.605	0.713
	崇化大梨 Chonghuadali				0.039	0.542
总酸含量 Total acid contents	宝珠 Baozhu					0.911**
	龙香 Longxiang					0.059
	苹果梨 Pingguoli					0.550
	翠冠 Cuiguan					0.986**
	丰水 Fengshui					0.903**
	崇化大梨 Chonghuadali					0.699*

注: *显著相关($\alpha=0.05$), **极显著相关($\alpha=0.01$)。

Note: *Significant relationship ($\alpha=0.05$), **highly significant relationship ($\alpha=0.01$).

程中,易褐变品种果实的褐变度与总酚含量、总黄酮含量、pH值和PPO活性间均呈显著正相关,说明在果实发育的不同阶段,果实的pH值、总酚含量、总黄酮含量和PPO活性均与果实的褐变有关,这与董剑寒等^[11]、邹丽红^[12]对梨成熟果实褐变的研究结果一致。

在果实的整个生长发育过程中,3个易褐变品种仅果实pH值、总酸含量与对照品种差异显著,褐变度、总酚含量、总黄酮含量、PPO活性均高于对照品种,但差异不显著,可能与选择品种的褐变差异程度不显著有关。幼果期,易褐变品种果实的褐变度、总黄酮含量、PPO活性与对照品种差异显著,pH值、总酸含量和总酚含量与对照品种差异不显著,说明幼果期果实中总黄酮含量和PPO活性是果实褐变的主要影响因素;成熟期,易褐变品种与对照品种的

褐变度差异不显著,但pH值与对照品种差异显著,说明果实的pH值是成熟果实褐变的一个重要影响因素,该结果与赵光远等^[13]的结论一致。

经前期果实剖面观察,在果实的不同发育阶段,‘龙香’的果实切面在6个品种中最易褐变且褐变程度最大。笔者通过对其果实生理指标的进一步分析,其果实褐变度、PPO活性始终低于‘宝珠’‘苹果梨’,总酸含量始终最高;其果实总酚含量幼果期最高,成熟期略低于‘苹果梨’,pH值始终最低,总黄酮含量幼果期、成熟期均最高,除了品种间本身的差异外,也间接说明了果实的pH值、总黄酮含量、总酚含量比PPO活性对果实褐变的影响程度大,这与毕阳等^[14]、袁江等^[15]的研究结果相似,PPO是酶促褐变的主要酶,但它并不是启动果实褐变的关键酶,酶促褐变与总多酚的相关度高于与酶类的相关度。

参考文献 References:

- [1] 邹丽红, 张玉星. 砂梨果肉褐变与酚类物质及相关酶活性的相关分析[J]. 果树学报, 2012, 29(6): 1022-1026.
ZOU Lihong, ZHANG Yuxing. Correlation analysis of flesh browning between phenolic compound and related enzymatic activity in fruit of *Pyrus pyrifolia* [J]. Journal of Fruit Science, 2012, 29(6): 1022-1026.
- [2] 李健, 徐艳聪, 黄美, 杨洋, 曹健康, 姜微波. 鸭梨果实多酚氧化酶酶学特性[J]. 食品科学, 2013, 34(15): 154-157.
LI Jian, XU Yancong, HUANG Mei, YANG Yang, CAO Jiankang, JIANG Weibo. Characterization of polyphenol oxidase from Yali Pear [J]. Food Science, 2013, 34(15): 154-157.
- [3] 郭丽, 杜先锋, 张妙德. 砀山酥梨酶促褐变及其影响因素的研究[J]. 农产品加工· 学刊, 2011(3): 25-29.
GUO Li, DU Xianfeng, ZHANG Miaode. Enzymatic browning and its influence factors of Dangshansu Pear [J]. Academic Periodical of Farm Products Processing, 2011(3): 25-29.
- [4] 陈国刚, 王祯丽, 董军茂. 库尔勒香梨采后果实褐变与多酚氧化酶、酚类物质及细胞膜结构的关系[J]. 中国农学通报, 2005, 21(8): 83-85.
CHEN Guogang, WANG Zhenli, TONG Junmiao. Relationship among postharvest browning of *Pyrus bretschneideri* Rehd. polyphenol oxidase, phenolics compound, cell membrane structure [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2005, 21(8): 83-85.
- [5] 蔡惠, 王同坤, 齐永顺, 张京政. 抗褐变安梨果实的部分酶活性研究[J]. 果树学报, 2010, 27(5): 694-697.
CAI Hui, WANG Tongkun, QI Yongshun, ZHANG Jingzheng. Study on the enzymes related to the anti-browning fruits of Anli pear [J]. Journal of Fruit Science, 2010, 27(5): 694-697.
- [6] 陈金印, 吴友根. 翠冠梨贮藏过程中酶促褐变及生理生化的变化[J]. 食品科学, 2005(2): 237-241.
CHEN Jinyin, WU Yougen. The physio-biochemical changes and enzymatic browning in Cuiguan Pear during storage [J]. Food Science, 2005(2): 237-241.
- [7] COSETENG M Y, LEE C Y. Changes in apple polyphenoloxidase and polyphenol concentrations in relation to of browning [J]. Journal Food Science, 1987, 52(4): 985-989.
- [8] 张杰, 张海珊, 田丝雨, 杨晓君. 新疆伊吾县野山杏叶的品质检测与分析[J]. 华西药学杂志, 2018, 33(4): 413-426.
ZHANG Jie, ZHANG Haishan, TIAN Siyu, YANG Xiaojun. Quality detection and analysis of wild *Prunus sibirica* leaves in Xinjiang Yiwu county[J]. West China Journal of Pharmaceutical Sciences, 2018, 33(4): 413-426.
- [9] 李静, 聂继云, 李海飞, 徐国峰, 王孝娣, 毋永龙, 王贞旭. Folin-酚法测定水果及其制品中总多酚含量的条件 [J]. 果树学报, 2008, 25(1): 126-131.
LI Jing, NIE Jiyun, LI Haifei, XU Guofeng, WANG Xiaodi, WU Yonglong, WANG Zhenxu. On determination conditions for total polyphenols in fruits and its derived products by Folin-phenol methods[J]. Journal of Fruit Science, 2008, 25(1): 126-131.
- [10] 李世燕, 闫公昕, 朱丹, 牛广财, 魏文毅. 分光光度法测定毛酸浆果中总黄酮含量的研究[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(13): 129-134.
LI Shiyan, YAN Gongxin, ZHU Dan, NIU Guangcai, WEI Wenyi. Study on quantitative determination of total Flavonoids in *Physalis Pubescens* by spectrophotometry [J]. Food Research and Development, 2016, 37(13): 129-134.
- [11] 董剑寒, 王然, 宫静静, 张玉超, 王成荣. 不同梨果实褐变特异性分析[J]. 中国农学通报, 2007, 29(4): 285-288.
DONG Jianhan, WANG Ran, GONG Jingjing, ZHANG Yuchao, WANG Chengrong. Analysis of browning characteristic in pear fruits[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2007, 29(4): 285-288.
- [12] 邹丽红. 梨果肉酶促褐变机理研究[D]. 石家庄: 河北农业大学, 2012.
ZOU Lihong. The mechanism research of enzymatic browning in pear flesh[D]. Shijiazhuang: Hebei Agricultural University, 2012.
- [13] ZHAO G Y, CAI Z L, ZHONG M H. Studies on enzymatic browning of apple and its influencing factors[J]. Food and Fermentation Technology, 2009, 45(2): 36-27.
- [14] 毕阳, 郭玉蓉, 李永才, 韩舜愈. 冷藏期间三种梨果皮中酚类物质含量及多酚氧化酶活性变化与褐变度的关系 [J]. 制冷学报, 2002, 23(4): 52-54.
BI Yang, GUO Yurong, LI Yongcai, HAN Shunyu. Changes in peel of three cultivars pears polyphenol concentrations and polyphenoloxidase in relation to degree of browning during cold storage[J]. Journal of Refrigeration, 2002, 23(4): 52-54.
- [15] 袁江, 张绍铃, 曹玉芬, 吴俊, 田路明, 陶书田, 董星光. 梨果实酚类物质与酶促褐变底物的研究[J]. 园艺学报, 2011, 38(1): 7-14.
YUAN Jiang, ZHANG Shaoling, CAO Yufen, WU Jun, TIAN Luming, TAO Shutian, DONG Xingguang. Polyphenolic compound and substances determination of enzymatic browning in pear[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2011, 38(1): 7-14.