

文章编号: 1674-7054(2017)02-0178-07

采前喷洒赤霉素对‘红贵妃’芒果色泽 及相关酶活性的影响

董真真^{1,2}, 曾凤¹, 徐孝兰¹, 李雯^{1,2}

(1. 海南大学 热带农林学院, 海口 570228; 2. 海南大学 教育部热带生物资源保护与开发利用重点实验室, 海口 570228)

摘要: 以15年生‘红贵妃’果树为试验材料, 采前喷洒不同浓度(0, 0.3, 0.5, 1.0, 2.0, 3.0 g·L⁻¹)的赤霉素(gibberellin, GA₃), 测定8成熟(80%)果实色泽和相关酶活性的变化。结果表明: 随着贮藏时间延长, 不同浓度GA₃处理的芒果果实其色泽a*值、类胡萝卜素含量、花青苷含量不断上升, 叶绿素含量逐步下降; 叶绿素酶活性、苯丙氨酸解氨酶活性与查尔酮异构酶活性逐渐上升。随着贮藏时间的延长, 果皮从深绿色到浅绿色再向红黄色转变。与CK相比, 0.3, 0.5, 1.0 g·L⁻¹ GA₃处理可以抑制果皮色泽的转变, 而2.0, 3.0 g·L⁻¹ GA₃处理的抑制效果虽显著, 但影响后熟芒果的外观品质和风味。综合保鲜效果和外观品质, 以1 g·L⁻¹的GA₃溶液处理较为适宜。

关键词: 赤霉素; 芒果; 色泽; 酶活性

中图分类号: TS 255.3

文献标志码: A

DOI: 10.15886/j.cnki.rds wxb.2017.02.009

随着芒果(*Mangifera indica* L.)产量及面积的不断扩大, 赤霉素(GA₃)在芒果生产上的应用越来越广泛, 尤其在提高芒果产量与调节果实成熟方面的作用很显著。然而近年来, GA₃在芒果生产上的应用方面也出现了诸多的问题, 如GA₃达到一定使用浓度时, 会导致果皮变厚、果梗变形、感病加重、风味变淡、果实无法正常后熟转色, 严重影响了芒果品质的提高, 制约了芒果产业健康稳定的发展。赤霉素是一种传统的植物激素, 在果树生产中外施赤霉素具有打破种子休眠, 诱导无籽果实形成、提高座果率、疏花疏果、延迟果树花期、改善果实品质等作用。不同外源赤霉素处理对不同植物器官生长状态与果实品质产生重要影响^[1]。不同种类、不同器官、不同生长状态、不同处理浓度都会对果实品质产生不同影响。色素积累是果实色泽形成的物质基础, 其种类和含量决定了果实的色泽和呈色深度。色泽是果实外观品质中的核心指标之一, 对果实的商品价值具有重要的影响。GA₃对植物种子的萌发、茎的伸长、花的诱导、果实和种子的发育具有重要作用^[2]。采后GA₃处理可抑制芒果^[3]、李^[4]、杏^[5]、番茄^[6-7]和柿^[8]等多种果实转色和硬度下降, 延缓后熟衰老进程。因此, GA₃能够用于果蔬的贮藏保鲜, 并可用于果实采前采后品质的控制^[8-9]。目前有关芒果赤霉素处理方面的研究主要集中在采前和采后研究不同浓度GA₃处理对“贵妃”芒果贮藏品质、采后生理和催熟品质的影响^[3], 而有关采前喷施赤霉素处理对‘红贵妃’芒果色泽方面的研究尚未见报道。笔者以海南主栽芒果品种‘红贵妃’为实验材料, 通过采前不同浓度GA₃喷洒处理, 研究GA₃对芒果鲜食品质、风味品质及外观品质的影响, 分析不同GA₃浓度处理下芒果发生色泽变化的可能原因, 探讨外源GA₃处理对芒果色泽影响的生理机理, 旨在为芒果生产中合理应用GA₃提供科学依据。

收稿日期: 2016-10-26

修回日期: 2016-11-21

基金项目: 国家自然科学基金项目(31660586); 农业部热作农技推广与体系建设项目(14RZJN-57); 农业部芒果行业科技专项(201203092-02)

作者简介: 董真真(1988-), 女, 海南大学热带农林学院2013级硕士研究生, E-mail: 1073308515@qq.com

通信作者: 李雯(1967-), 女, 教授, 博士, 研究方向: 园艺产品贮藏保鲜, E-mail: Liwen9-210@163.com

1 材料与方法

1.1 试验材料 以海南省三亚市南雅芒果园生产的‘红贵妃’芒果树为试验对象。2014、2015年分别选用树龄15 a、生长健壮、正常结果、管理水平较高与生长势一致的植株,单株小区,随机区组。分别在盛花期、幼果期(盛花期后30 d)和果实膨大期(花后60 d)用不同浓度的 GA_3 (0.3、0.5、1.0、2.0、3.0 $g \cdot L^{-1}$)和清水(对照)喷洒树冠,每个处理3次重复。

1.2 采后处理 采摘8成熟的‘红贵妃’芒果立即运回实验室;挑选出完好、无虫病害、无机械损伤、大小均匀一致的果实,果柄剪留长度0.5 cm。试验设6个处理,分别为对照(CK)、0.3、0.5、1.0、2.0、3.0 $g \cdot L^{-1}$ GA_3 。将处理过的果实分别放入0.5%的漂白粉溶液中浸泡10 min,晾干。再将果实用0.02 mm厚的PE(聚乙烯)保鲜袋包装,每袋装9个果实,轻绑袋口,做好标签,置于恒温箱(相对湿度为85%~90%)中低温(15 $^{\circ}C$)贮藏。每7 d取1次样,3个果为1次重复,每个处理重复3次。

1.3 试剂与仪器设备 主要试验试剂:碳酸钙、丙酮、盐酸、甲醇、氢氧化钠、酚酞、抗坏血酸、草酸、三氯乙酸、硫代巴比妥酸、2,6-二氯靛酚钠盐、磷酸二氢钠、磷酸氢二钠、氯化钾、聚乙二醇辛基苯基醚、氢氧化钾、 β -巯基乙醇、聚乙烯吡咯烷酮、硼砂、硼酸、L-苯丙氨酸、三氯乙酸、磷酸二氢钾、牛血清蛋白、亚硫酸钠、三羟甲基氨基甲烷、查尔酮和无水乙醇。

主要仪器与设备: TG16KP型台式高速冷冻离心机(长沙东旺实验仪器有限公司); N-1 α 手持折光仪(日本Atago公司); 722型紫外-可见分光光度计(上海光谱仪器有限公司); CM-700d型分光测色计(日本柯尼卡美达公司); PRX-350D-DN型智能人工气候箱。

1.4 指标测定 (1) 腐烂指数: 参照文献[10]的方法并加以改进: 根据果实表面腐烂面积大小分为0~4级。分级标准为: 0级果(无病斑)、1级果(<1/10病斑)、2级果(1/10~1/4病斑,含1/4病斑)、3级果(1/4~1/2病斑,含1/2病斑)、4级果(>1/2病斑)。(2) 色泽测定^[11]: 用分光测色计(CM-700d,柯尼卡美达公司)读取果实阴面中部果皮色度,记录L值、a值、b值。单果十字测量4次取平均值。(3) 叶绿素、类胡萝卜素含量、花青素含量、叶绿素酶活性、苯丙氨酸解氨酶活性(PAL)和查尔酮活性(CHI)均采用紫外吸收法测定^[12-19]。

1.5 数据分析 数据先采用Canoco5.0软件进行主成分分析(PCA),然后用Graphpad Prism5.0版软件处理,最后用SAS9.1版软件进行差异显著性分析。

2 结果与分析

由图1可知,在贮藏期间 GA_3 处理对‘红贵妃’芒果果实的各项指标总体上有显著影响($P < 0.05$)。 GA_3 处理与腐烂率、CHI、叶绿素酶、 a^* 、花青苷、类胡萝卜素与PAL呈正相关的效应,有利于芒果果实贮藏保鲜的作用,其中CHI、叶绿素酶、 a^* 、花青苷和类胡萝卜素相互之间相关性较大,相关因子均与果实色泽有关。 GA_3 处理与叶绿素含量呈现负相关的效应,对芒果果实的贮藏保鲜具有积极作用,即 GA_3 处理能够降低叶绿素含量,这将延缓芒果果实衰老,延长贮藏期。根据不同贮藏时间与芒果相关指标表明,贮藏0、7、14 d,芒果叶绿素含量变化不大,到了贮藏后期,芒果叶绿素含量显著下降;腐烂率、CHI、叶绿素酶、 a^* 、花青苷、类胡萝卜素与PAL指标在贮藏初期均处于较低水平,到贮藏后期21、28、35 d,其指标值显著上升,表明贮藏后期相关指标有明显上升趋势。

2.1 采前 GA_3 处理对芒果外观品质的影响

2.1.1 采前 GA_3 处理对果实腐烂指数影响 由图2可知,随着贮藏时间延长,芒果果实的腐烂指数逐渐上升。贮藏期间1.0 $g \cdot L^{-1}$ GA_3 处理腐烂指数上升最

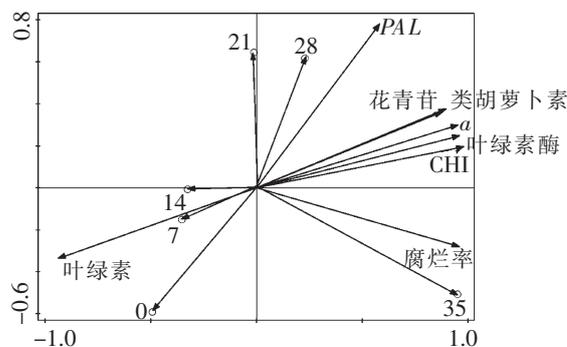


图1 GA_3 处理对‘红贵妃’芒果果实各项指标影响的主成分分析

Fig.1 PCA analysis of GA_3 on different indicators of ‘Hong Guifei’ mango fruits

慢 处理组 CK 和 0.5 2.0 3.0 g · L⁻¹ GA₃ 处理芒果果实腐烂指数上升速率明显高于 1.0 g · L⁻¹ GA₃ 浓度处理。自第 21 ~ 35 d 对照处理 CK 与 3.0 g · L⁻¹ GA₃ 处理的芒果果实腐烂指数与其他处理组相比显著上升。第 35 d 时 处理 CK 和 0.3 0.5 1.0 2.0 3.0 g · L⁻¹ GA₃ 处理的芒果果实的腐烂指数分别为 57.4% , 46.9% 43.7% 21.7% 35% 和 36.6% 处理组 1.0 g · L⁻¹ GA₃ 的腐烂指数比 CK 低 35.7% 与各处理间差异显著 ($P < 0.05$)。结果表明 采前 GA₃ 处理可有效抑制芒果果实腐烂 而浓度过高过低均不利于芒果腐烂病情的抑制 以 1.0 g · L⁻¹ GA₃ 处理对腐烂病害的抑制效果最好。

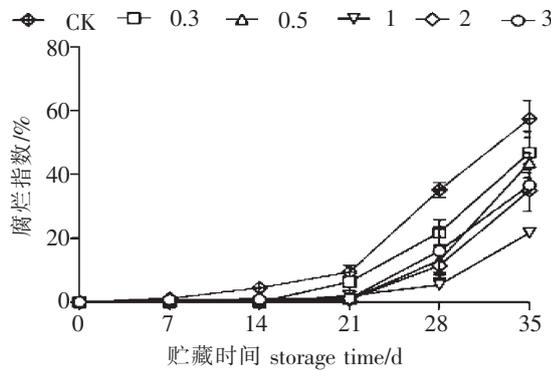


图 2 GA₃ 处理对‘红贵妃’芒果腐烂指数的影响
Fig.2 Effect of GA₃ on decay index of ‘Hong Guifei’ mango fruits

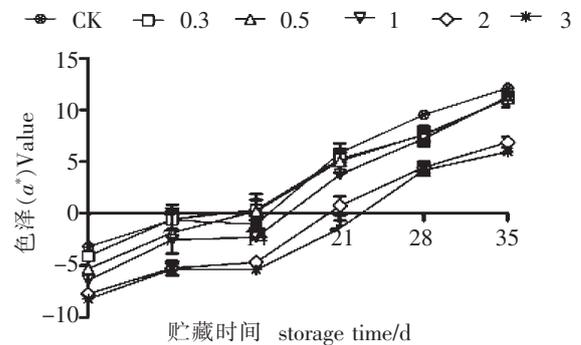


图 3 GA₃ 处理对‘红贵妃’芒果色泽的影响
Fig.3 Effect of GA₃ on coloration (a*) of ‘Hong Guifei’ mango fruits

2.1.2 采前 GA₃ 处理对果实色泽的影响 由图 3 可知 在贮藏过程中 色泽 a* 值总体呈上升趋势 表明芒果果皮从绿色到变浅并逐步向红黄色转变。不同浓度 GA₃ 处理对芒果果实色泽 a* 值的影响不同。CK 和 0.3 0.5 1.0 g · L⁻¹ GA₃ 处理组在第 14 天开始逐渐变红 而 2.0 3.0 g · L⁻¹ GA₃ 处理组在 21 d 开始逐渐变红。第 28 d 处理组 CK 和 0.3 0.5 1.0 2.0 3.0 g · L⁻¹ GA₃ 的色泽 a* 值依次为: 9.542 7.603 7.628 7.230 , 4.467 4.208 处理间差异显著 ($P < 0.05$)。CK 处理颜色变化最快 3.0 g · L⁻¹ GA₃ 处理变化最慢。结果表明 采前 GA₃ 处理可延缓‘红贵妃’芒果果实的色泽发育 低浓度处理延缓色泽变化不明显 而高浓度处理有较好的抑制效果。

2.2 采前 GA₃ 处理对‘红贵妃’芒果果皮色素物质含量的影响

2.2.1 采前 GA₃ 处理对‘红贵妃’芒果果皮叶绿素含量的影响 果实体内的叶绿素含量与其成熟衰老成负相关^[21]。由图 4 可知 2.0 3.0 g · L⁻¹ GA₃ 与其他各处理组的差异达到极显著 ($P < 0.01$)。第 21 天时 处理组 2.0 3.0 g · L⁻¹ GA₃ 的芒果果皮平均叶绿素含量比 CK 0.3 0.5 1.0 g · L⁻¹ GA₃ 平均叶绿素含量分别高 0.30 0.39 0.51 mg · g⁻¹ 第 35 天 CK 处理的芒果果实的叶绿素含量显著低于 1.0 2.0 3.0 g · L⁻¹ GA₃ 处理 ($P < 0.05$)。随着贮藏时间增长 0 ~ 28 d 芒果果实叶绿素含量显著下降 ($P < 0.05$) 而 28 ~ 35 d 叶绿素含量下降不显著 其叶绿素含量呈缓慢下降趋势并保持基本稳定。GA₃ 处理后芒果果实的叶绿素含量的分解也加快 叶绿素含量呈逐步下降趋势 其中以 2.0 3.0 g · L⁻¹ GA₃ 处理效果最为明显。

2.2.2 采前 GA₃ 处理对‘红贵妃’芒果果皮类胡萝卜素含量的影响 随着芒果成熟 植物体内的叶绿素则会降解 芒果果皮会退绿变浅 类胡萝卜素在质体中合成并积累 颜色逐渐转为红黄^[22-23]。由图 5 可知 随着贮藏时间延长 芒果果实的类胡萝卜素含量呈逐渐上升趋势。贮藏期间 GA₃ 处理浓度越高 芒果果实类胡萝卜素含量上升趋势越慢 2.0 3.0 g · L⁻¹ GA₃ 处理类胡萝卜素含量上升最慢 CK 处理类胡萝卜素含量上升最快。第 28 天 CK 处理类胡萝卜素含量最高 是 0.3 0.5 1.0 2.0 3.0 g · L⁻¹ GA₃ 处理的 1.11 1.26 1.30 1.52 1.66 倍 ($P < 0.05$)。第

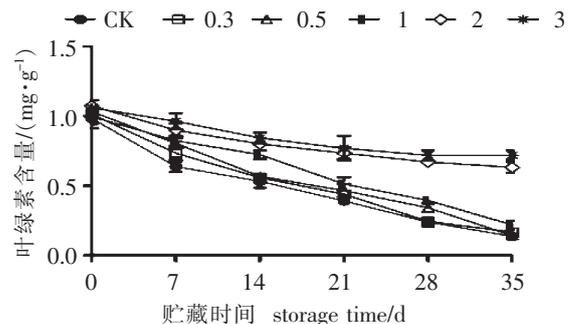


图 4 GA₃ 处理对‘红贵妃’芒果叶绿素含量的影响
Fig.4 Effect of GA₃ on chlorophyll content of ‘Hong Guifei’ mango fruits

35 天 $1.0\ 2.0\ 3.0\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ GA_3 处理的类胡萝卜素含量比 CK 低 $0.022\ 0.034\ 0.038\ \text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$; 结果表明 GA_3 处理可延缓芒果果皮退绿 降低类胡萝卜素积累 其中以 $1.0\ 2.0\ 3.0\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ GA_3 处理效果最为明显。

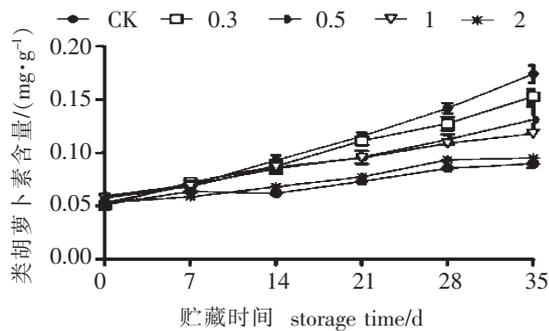


图 5 GA_3 处理对‘红贵妃’芒果类胡萝卜素的影响
Fig.5 Effect of GA_3 on carotenoid content of ‘Hong Guifei’ mango fruits

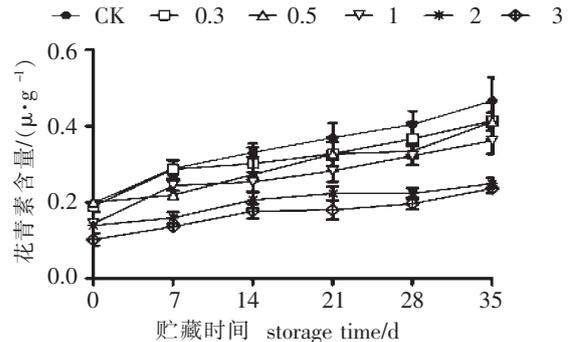


图 6 GA_3 处理对‘红贵妃’芒果花青苷含量的影响
Fig.6 Effect of GA_3 on anthocyanin content of ‘Hong Guifei’ mango peel

2.2.3 采前 GA_3 处理对‘红贵妃’芒果果皮花青苷含量的影响 花青素是构成花瓣和果实颜色的主要色素之一^[24-25]。由图 6 可知 随着贮藏时间延长 芒果果实的花青苷含量逐渐上升。高浓度 ($2.0\ 3.0\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$) GA_3 处理花青苷含量上升最慢 CK 处理花青苷含量上升最快。随着贮藏时间增长 $0\sim 21\ \text{d}$ 芒果果实花青苷含量呈显著上升趋势 $28\sim 35\ \text{d}$ 类胡萝卜素含量呈显著上升趋势并保持基本稳定。贮藏 35 d 时 CK 的花青苷含量比 $1.0\ 2.0\ 3.0\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ GA_3 处理的分别高 $0.087\ 0.104\ 0.129\ \text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 处理间差异极显著 ($P < 0.01$)。结果表明 GA_3 处理可抑制花青素积累 抑制果实颜色变黄 其中以 $1.0\ 2.0\ 3.0\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ GA_3 处理效果最显著。

2.3 GA_3 处理对色泽形成相关酶活性的影响

2.3.1 GA_3 处理对果皮叶绿素酶活性的影响 随着芒果成熟 叶绿素酶活性逐渐增强 植物体内的叶绿素则会降解 芒果果皮会退绿变浅^[26]。由图 7 可知 随着贮藏时间延长 芒果果实的叶绿素酶活性呈逐渐上升趋势。贮藏期间 GA_3 处理浓度越高 芒果果实叶绿素酶活性上升趋势越慢 $1.0\ 2.0\ 3.0\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ GA_3 处理叶绿素酶活性上升最慢 CK 处理类叶绿素酶活性上升最快。贮藏 28 d $1.0\ 2.0\ 3.0\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ GA_3 处理的叶绿素酶活性比 CK 低 $0.084\ 0.141\ 0.151\ \text{mmol} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$ (FW)。CK 处理的芒果果实的叶绿素酶活性显著高于 0.5 ,

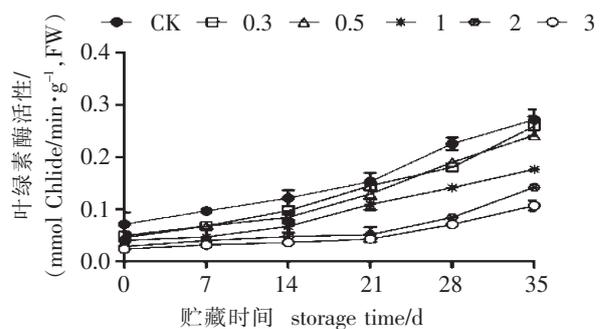


图 7 GA_3 处理对‘红贵妃’芒果果皮叶绿素酶活性的影响
Fig.7 Effect of GA_3 on chlorophyllase activity of ‘Hong Guifei’ mango fruit peel

$1.0\ 2.0\ 3.0\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ GA_3 处理 ($P < 0.05$)。说明 GA_3 处理可降低叶绿素酶活性 抑制果实叶绿素的降解 其中以 $1.0\ 2.0\ 3.0\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ GA_3 处理效果最显著。

2.3.2 采前 GA_3 处理对‘红贵妃’芒果果皮苯丙氨酸解氨酶 (PAL) 活性的影响 PAL 能催化花青素与花色苷的合成 是植物花、果实和叶片颜色的重要组成部分 而且这些物质合成都与 PAL 的活性密切相关^[13]。由图 8 可知 随着贮藏时间延长 芒果果实的 PAL 活性呈先上升后下降趋势。贮藏期间 GA_3 处理浓度越高 芒果果实 PAL 活性上升趋势越慢 $2.0\ 3.0\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ GA_3 处理花青苷含量上升最慢 CK 处理花青苷含量上升最快。贮藏后期 ($21\sim 35\ \text{d}$) CK 处理的芒果果实的类胡萝卜素含量显著高于 $0.3\ 0.5\ 1.0\ 2.0\ 3.0\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ GA_3 处理 ($P < 0.05$)。 GA_3 处理可显著抑制 PAL 活性 降低花青素和花色苷的合成 其中以 $2.0\ 3.0\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ GA_3 处理效果较好。

2.3.3 采前 GA_3 处理对‘红贵妃’芒果果皮查尔酮 (CHI) 酶活性的影响 查尔酮酶是植物类黄酮物质合成途径中的第 1 个酶 也是植物次生代谢途径中的关键酶之一^[13]。图 9 可知 随着贮藏时间延长 芒果果实的

查尔酮酶活性呈逐渐上升趋势。第 28 天, CK 及 0.3, 0.5, 1.0, 2.0, 3.0 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ GA_3 处理的 CHI 活性依次为 26.047, 21.374, 19.211, 16.063, 12.140, 8.042 $\text{U} \cdot \text{g}^{-1}$ FW。不同浓度 GA_3 与贮藏时间处理的芒果果实查尔酮酶活性存在显著性差异 ($P < 0.05$)。CK 处理的芒果果实的查尔酮酶活性显著高于 0.3, 0.5, 1.0, 2.0, 3.0 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ GA_3 处理 ($P < 0.05$)。贮藏期间 GA_3 处理浓度越高, 芒果果实查尔酮酶活性上升趋势越慢。2.0, 3.0 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ GA_3 处理对查尔酮酶活性的抑制效果最显著。

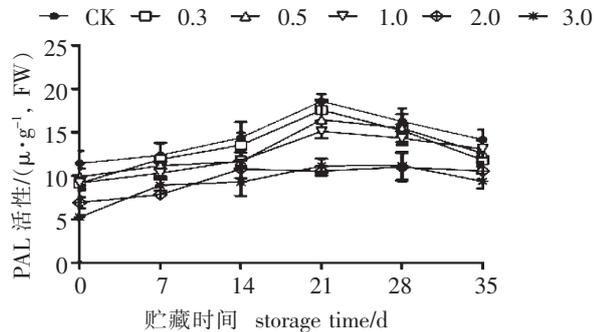


图 8 GA_3 处理对‘红贵妃’芒果果皮苯丙氨酸解氨酶(PAL)活性的影响

Fig.8 Effect of GA_3 on PAL activity of ‘Hong Guifei’ mango fruit peel

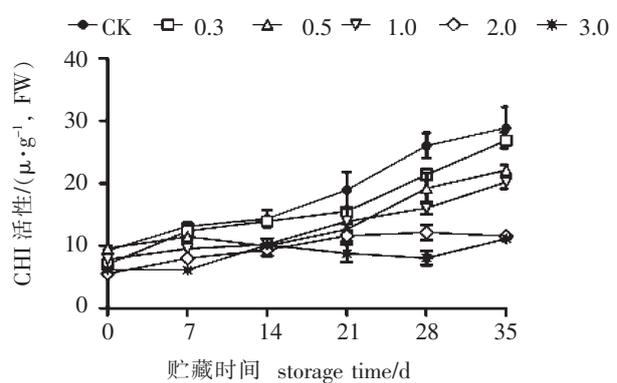


图 9 GA_3 处理对‘红贵妃’芒果果皮查尔酮(CHI)酶活性的影响

Fig.9 Effect of GA_3 on CHI activity of ‘Hong Guifei’ mango fruit peel

3 讨论

果实色泽由遗传性决定,因种类、品种而异。果皮中含有叶绿素,一些果实如苹果果肉中也有叶绿素。果实底色的变化是由叶绿素消失开始,随着叶绿素消失,花青苷和类胡萝卜素逐渐显现出来。芒果属于典型的呼吸跃变型热带水果,采后体内仍在进行一系列复杂的生理代谢过程。香水百合开花期外施赤霉素能够提高各时期的光合色素含量,减缓末花期叶绿素的下降趋势^[27]。外施赤霉素会延迟或影响苹果的着色^[28],可以有效保持柑橘类^[29]、葡萄^[30]、草莓^[31]以及芒果^[32]等果实果皮绿色,延缓果皮中叶绿素的降解。白果期赤霉素处理蓝莓果实,从果实开始转色到成熟过程中,赤霉素对花青苷的积累效果产生影响但作用不显著^[33]。75 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 赤霉素能促进天门冬叶片叶绿素的合成,减缓叶绿素下降^[34]。茭白 MAP 贮藏中,外源赤霉素延缓叶绿素分解抑制其呼吸作用^[35]。本研究结果表明,‘红贵妃’芒果果实随着贮藏时间的延长逐渐变软变黄,果皮由绿色变成红黄色,果皮叶绿素含量逐渐降低,类胡萝卜素及花青苷含量逐渐升高。与对照相比赤霉素处理芒果果皮叶绿素含量的分解减缓,花青苷及类胡萝卜素含量上升缓慢,赤霉素既能抑制叶绿素的降解,也能抑制花青苷及类胡萝卜素的合成,从而延缓芒果果皮退绿,抑制了果实果皮变黄。随着处理浓度的增高,赤霉素的抑制效应逐渐增强,有效延缓了芒果果实色泽的变化,与黄铭慧等^[3]结果一致。黄铭慧^[3]得出赤霉素处理浓度为 2.0 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$,对芒果色泽形成有不利的影响。本研究结果表明,处理浓度为 2.0, 3.0 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ GA_3 的芒果在贮藏后期果肉正常软化但是果皮叶绿素不能正常降解,花青苷及类胡萝卜素合成滞后,芒果果实出现绿熟现象。

苯丙氨酸解氨酶(PAL)催化苯丙氨酸生成肉桂酸,之后在 4-羟查尔酮异构酶(CHI)作用下生成花青苷的骨架无色的黄烷酮,最后生成花青素^[36]。PAL 是合成花青素的起始酶,CHI 是黄酮类生物合成途径上游的关键酶,CHI 活性减弱或基因表达被抑制,黄烷酮合成被阻断,花青素合成减少, PAL 和 CHI 是花青素合成的关键酶^[37-38]。不同品种‘泰山晚霞’、‘国光’和红色芽变苹果果实发育期间,叶绿素降解的同时花青苷大量合成,花青苷含量增加与 CHI 酶活性升高呈正相关^[39-40]。花青苷的合成与 PAL 酶活性关系不大,不是花青素积累的唯一调节因子^[41]。红色砂梨品种‘奥冠’和‘满天红’着色期花青苷含量先升高后降低;花青苷合成与 PAL 酶活性关系不密切,与 CHI 酶活性密切^[42]。在果实成熟过程中,‘妃子笑’荔枝果皮花青苷含量变化趋势与 UFGT 酶活性变化吻合呈正相关^[13]。有色小麦籽粒 CHI 和 PAL 活性变化与籽粒花青素含量变化趋于一致且呈显著正相关,是花青素合成的关键酶^[36]。本研究结果表明,芒果贮藏过程中果皮叶绿素含量逐渐下降,类胡萝卜素和花青苷含量逐渐升高,叶绿素酶活性逐渐升高,

CHI 酶活性逐渐升高, PAL 酶活性先升高后下降在第 21 天酶活达到峰值。由此可知叶绿素酶活性升高与叶绿素含量的降低呈负相关, CHI 酶活性的升高与花青苷含量升高呈正相关, PAL 酶活性与花青苷含量升高不同步。GA₃ 有效调节果实内与生长发育与果实成熟有关的酶的生理活性从而延缓果实后熟与保鲜效果, 在芒果^[3]、李^[4]、杏^[5]、番茄^[6-7]和柿^[8]等多种果实延缓后熟衰老研究中得到验证。本研究结果表明, 赤霉素处理可降低叶绿素酶、PAL 与 CHI 活性, 通过抑制果实叶绿素降解与变色, 降低花青素、花色素苷与类黄酮物质合成, 从而延缓果实后熟, 延长保鲜时效。赤霉素处理对芒果果实色泽与生理生化活性有显著性影响。贮藏期间高浓度赤霉素处理转黄较慢, 低浓度转黄较快, 果实色泽由绿到浅并转红黄, 最为明显, 叶绿素含量呈快速下降趋势, 类胡萝卜素、花青苷含量、叶绿素酶活性、PAL 活性、CHI 活性上升最快。综合考虑不同浓度赤霉素处理对芒果色素物质含量及相关酶活性影响, 2.0 3.0 g · L⁻¹ GA₃ 处理不利于芒果果实采后贮藏保鲜, 以 1.0 g · L⁻¹ GA₃ 处理对芒果果实腐烂病害的抑制效果最好, 保鲜时效较长, 对芒果采前色泽与保鲜调控具有重要意义。

参考文献:

- [1] 何昕孺. 赤霉素对摩尔多葡萄果实生长发育及品质的影响[D]. 银川: 宁夏大学, 2013.
- [2] 徐小玉, 张凤银, 曹阳. 赤霉素和乙烯利对美女樱种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 种子, 2014, 33(6): 72-74.
- [3] 黄铭慧, 冯舒涵, 冯颜, 等. 采前喷洒赤霉素对‘红贵妃’芒果贮藏品质和采后生理的影响[J]. 食品科学, 2015(10): 239-244.
- [4] 刘瑾, 毕阳, 李永才, 等. 采前赤霉素处理对李果冷害的抑制及膜脂过氧化和品质的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2010, 45(1): 134-137.
- [5] 郝庆, 杨波, 车玉红, 等. 硼和赤霉素对提高色买提杏座果率和果实品质的初步研究[J]. 新疆农业科学, 2007, 44(5): 571-574.
- [6] 任邦来, 靳文生. 赤霉素对番茄保鲜效果的影响[J]. 中国食物与营养, 2012, 18(4): 22-25.
- [7] 魏佳, 贾承国, 李振, 等. 利用突变体研究植物激素对番茄果实品质的影响[J]. 核农学报, 2009, 23(3): 521-525.
- [8] 和岳, 王明力, 张洪, 等. 壳聚糖复合膜的制备及其对草莓的保鲜效果[J]. 贵州农业科学, 2013, 41(5): 133-137.
- [9] 王雄, 陈金印, 刘善军. 喷施 GA 和 2,4-D 对留树保鲜脐橙落果和内源激素含量的影响[J]. 园艺学报, 2012, 39(3): 539-544.
- [10] 郑永华, 苏新国, 毛杭云. 纯阳处理草莓的保鲜效果初探[J]. 南京农业大学学报, 2001, 24(3): 85-88.
- [11] 朱春钊, 彭良志, 江才伦, 等. 塔罗科血橙果面色泽与果实品质相关性研究[J]. 中国南方果树, 2014, 43(1): 32-33.
- [12] 路文静, 李弈. 植物生理学实验教程[M]. 北京: 中国林业出版社, 2012: 34-37.
- [13] 王惠聪, 黄旭明, 胡桂兵, 等. 荔枝果皮花青苷合成与相关酶的关系研究[J]. 中国农业科学, 2001, 37(12): 2028-2032.
- [14] 陆胜民, 王阳光, 马子骏, 等. 气调包装和乙烯吸收剂对梅果叶绿素含量、叶绿素酶活性与乙烯释放的影响[J]. 果树学报, 2004, 21(1): 88-90.
- [15] Mosquera M I, Rojas B G, Guerrero L G. Measurement of chlorophyllase activity in olive fruit [J]. Biochem, 1990, 29(6): 1725-1728.
- [16] Asumi Fukasawaa. Effect of postharvest ethanol vapor treatment on activities and gene expression of chlorophyll catabolic enzymes in broccoli florets [J]. Postharvest Biology and Technology, 2010(55): 97-102.
- [17] Engelsma G. Regulation of Secondary Product and Plant Hormone Metabolism [C]. FEBS Federation of European Biochemical Societies: 12th Meeting, Dresden, 1979: 163-172.
- [18] Lister C E, Lancaster J E, Walker J R L. Developmental changes in enzymes of flavonoid biosynthesis in the skins of red and green apple cultivars [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1996, 71(3): 313-320.
- [19] Lister C E, Lancaster J E, Walker J R L. Phenylalanine ammonia-lyase (PAL) activity and its relationship to anthocyanin and flavonoid levels in New Zealand-grown apple cultivars [J]. J. Amer Hort Sci., 1996, 121(2): 281-285.
- [20] 李敏, 胡美姣, 高兆银, 等. 芒果采后及贮藏生理研究进展[J]. 热带农业科学, 2005(8): 400-402.
- [21] 杨晓棠, 张昭其, 庞学群. 果蔬采后叶绿素降解与品质变化的关系[J]. 果树学报, 2005, 22(6): 691-696.
- [22] 张金云. 芒果果实色素与色泽变化规律及调控的研究[D]. 海口: 海南大学, 2010.
- [23] 崔艳涛. 李果实发育中内源激素与果实色泽形成的关系[D]. 保定: 河北农业大学, 2006.
- [24] 李兴国, 于泽源. 花青苷的研究进展[J]. 北方园艺, 2003(4): 6-8.

- [25] 李铭, 郑强卿, 窦中江, 等. 果实中花色素合成代谢的调控机制及影响因素[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(16): 8381-8384, 8387.
- [26] 纵伟, 张沙沙, 赵光远, 等. 热处理下鲜枣红变与叶绿素酶活性相关性的研究[J]. 食品科技, 2012(7): 44-46.
- [27] 孙位, 潘远智, 覃琳岚. GA₃ 和 CEPA 对香水百合开花期光合生理和抗氧化酶活性的影响及其花期响应研究[J]. 草业学报, 2015, 24(8): 73-84.
- [28] 魏颖超. ABA 与乙烯对‘泰山早霞’苹果果实成熟的影响[D]. 泰安: 山东农业大学, 2013.
- [29] Porat R, Feng X, Huberman M, et al. Gibberellic acid slows postharvest degreening of Oroblanco citrus fruits[J]. Hort-Science, 2001, 36(5): 937-940.
- [30] McDonald R E, Greany P D, Shaw P E, et al. Preharvest applications of gibberellic acid delay senescence of Florida grape fruit[J]. J Hort Sci., 1997, 72: 461-468.
- [31] Martinez G A, Chaves A R, Anon M C. Effect of gibberellic acid on ripening of strawberry Fruits(*Fragaria annanassa* Duch.) [J]. J. Plant Growth Regulation, 1994, 13: 87-91.
- [32] Khader S E S A. Effect of gibbercellic acid and vapor guard on ripening amylase and peroxides activities and quality of mango fruits during storage[J]. J. Horti Sci., 1992, 67: 855-860.
- [33] 孙莹, 侯智霞, 苏淑钗, 等. ABA, GA₃ 和 NAA 对蓝莓生长发育和花青苷积累的影响[J]. 华南农业大学学报, 2013, 34(1): 6-11.
- [34] 王延芹, 徐秀琼, 谢梅凤. 不同浓度赤霉素对天门冬切叶的保鲜效应[J]. 热带生物学报, 2016, 7(1): 64-69.
- [35] 陈文煊, 鄯海燕, 周拥军, 等. 植物生长调节剂对保鲜茭白生理品质的影响[J]. 浙江农业学报, 2003, 15(3): 185-188.
- [36] 王海伟. 遮光与赤霉素处理对有色小麦籽粒色素积累与相关酶活性的影响[D]. 泰安: 山东农业大学, 2011.
- [37] 黄鸿曼, 袁利兵, 彭志红, 等. 花青素的生物合成与环境调控研究进展[J]. 湖南农业科学, 2011(7): 118-120.
- [38] 程媛媛. 生长调节剂对葡萄延后成熟、着色及无核果实生长的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2010.
- [39] 王延玲. 新疆红肉苹果红色发育机理的初步研究 [D]. 泰安: 山东农业大学, 2011.
- [40] 刘晓静. ‘国光’苹果红色芽变果实品质评价及着色机理的初步研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2009.
- [41] 张夏萍, 吴少华, 张大生. 花色素与果实着色[J]. 福建果树, 2002(2): 23-25.
- [42] 冯守千. 红梨着色机理的研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2011.

Effect of Pre-harvest Spraying with Gibberellic Acid on Coloration and Related Enzyme Activities of ‘Hongguifei’ Mango Fruits

DONG Zhenzhen^{1,2}, ZENG Fen¹, XU Xiaolan¹, LI Wen^{1,2}

(1. College of Horticulture and Landscape Architecture, Hainan University, Haikou, Hainan 570228, China;

2. Ministry of Education Key Laboratory of Conservation, Development and Utilization of Tropical Bioresources, Haikou, Hainan 570228, China)

Abstract: Mango fruits of mango variety ‘Hongguifei’ with 80% maturity were collected from the mango trees aged 15 years old, and spray treated with gibberellic acid (GA₃) solution at different concentrations of 0, 0.3, 0.5, 1.0, 2.0, 3.0 g · L⁻¹ to observe their change in fruit color and its related enzyme activities. The results showed that with storage, the mango fruits treated with GA₃ at different concentrations increased gradually in decay index, color a* value, carotenoid content, anthocyanin content, and activities of chlorophyll enzyme, phenylalanine ammonia lyase (PAL) and chalcone isomerase (CHI), and declined gradually in the content of chlorophyll, and the fruit peel changed from dark to light green, and gradually to red or yellow. Compared to the control the treatment of GA₃ inhibited the change of color in the fruit peel at the concentrations of 0.3, 0.5 or 1.0 g · L⁻¹ and evidently at 2.0 or 3.0 g · L⁻¹, but the latter had poor impact on the fruit appearance and flavor of the ripening mango fruit. Considering the overall effect of the treatments and the fruit appearance it is better to treat the mango fruits with GA₃ at a concentration of 1 g · L⁻¹. According to the preservation effect and exterior quality, 1.0 g · L⁻¹ GA₃ solution was the appropriate for mango fruits.

Keywords: gibberellin acid (GA₃); mango; color; enzyme activity