

GA₃ 对冷藏枇杷果实木质化的影响

吴锦程¹,陈伟健²,卢海霞¹,谭 莉¹,林德贵¹

(1 莆田学院 环境与生命科学系, 福建 莆田 351100;2 莆田市农业检验监测中心, 福建 莆田 351100)

[摘 要] **【目的】**探讨外源赤霉素(GA₃)对减缓冷藏枇杷果实木质化的作用机理。**【方法】**以清水为对照(CK),采用不同质量浓度(25,50,100 mg/L)外源 GA₃ 处理“解放钟”枇杷(*Eriobotrya japonica* Lindl. cv. Jiefangzhong)果实,于 6 ℃下冷藏,研究 GA₃ 对采后枇杷果实木质化及相关酶活性的影响。**【结果】**随贮藏时间的延长,枇杷果实木质素含量呈增加趋势,贮藏 7~35 d 时,GA₃ 处理枇杷果实中木质素含量均显著低于 CK;GA₃ 处理枇杷果实可溶性糖含量高于 CK,但差异不显著。GA₃ 处理后,枇杷果实苯丙氨酸解氨酶(phenylalanine ammonia lyase, PAL)、过氧化物酶(peroxidase, POD)、肉桂醇脱氢酶(cinnamyl alcohol dehydrogenase, CAD)和 4-香豆酸辅酶 A 连接酶(4-coumarate coenzyme A ligase, 4-CL)活性均受到不同程度抑制。**【结论】**GA₃ 减缓冷藏枇杷果实木质化的作用机理与 GA₃ 对枇杷果实 PAL、多酚氧化酶(PPO)、CAD、4-CL 和 POD 活性的抑制作用有关,其中 PAL 和 POD 起主要的调节作用,由此抑制枇杷果实木质素生成,从而减轻了冷藏枇杷果实的木质化程度,以 50 和 100 mg/L GA₃ 处理对枇杷果实木质化程度的抑制效果较好。

[关键词] 枇杷;木质化;赤霉素(GA₃);苯丙氨酸解氨酶(PAL);过氧化物酶(POD)
[中图分类号] S667.309⁺.3;Q946.5 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1671-9387(2008)09-0138-07

Effect of gibberellic acid on lignification of loquat fruits during cold storage

WU Jin-cheng¹, CHEN Wei-jian², LU Hai-xia¹, TAN Li¹, LIN De-gui¹

(1 Department of Environment and Life Science, Putian University, Putian, Fujian 351100, China;
2 Agricultural Test and Inspection Centre of Putian, Putian, Fujian 351100, China)

Abstract: **【Objective】** The study was to explore the mechanism of Gibberellic acid (GA₃) on retardation of lignification of loquat (*Eriobotrya japonica* Lindl. cv. Jiefangzhong) fruits during cold storage. **【Method】** Pure water was used as control. The concentration (25,50,100 mg/L) effects of GA₃ on lignification of loquat fruits, stored at 6 ℃, were studied. **【Result】** The content of lignin increased during storage. The content of soluble sugar of loquat fruits treated by GA₃ was higher than that of the control. However, the difference between GA₃ treated and the control is not very significant ($P>0.05$). The activities of phenylalanine ammonia lyase (PAL, EC 4.1.3.5.), peroxidase (POD, EC 1.11.1.7.), cinnamyl alcohol dehydrogenase (CAD, EC 1.1.1.195.) and 4-coumarate acid coenzyme A ligase (4-CL, EC 6.2.1.12.) were inhibited after GA₃ treatments. **【Conclusion】** The results suggest that the retardation of the lignification of loquat fruits during cold storage is related to inhibition of PAL, PPO, CAD, 4-CL and POD. In particular, PAL and POD play a key role in the retardation of the lignification of loquat fruits during cold storage, which results in reduction of the formation of lignin of loquat fruits during cold storage. The results indi-

* **[收稿日期]** 2007-09-24
[基金项目] 福建省科技厅重点项目(2007I0021);福建省教育厅项目(3B05228);莆田市科技局重点项目(2007N26);福建省自然科学基金项目(2008J0071)
[作者简介] 吴锦程(1965—),男,福建莆田人,教授,主要从事植物资源及生理生化研究。E-mail: wjc2384@163.com

cate that the treatment with GA₃ at 50 and 100 mg/L are beneficial.

Key words: loquat; lignification; Gibberellic acid (GA₃); phenylalanine ammonia lyase (PAL); peroxidase (POD)

枇杷(*Eriobotrya japonica* Lindl.) 隶属蔷薇科枇杷属植物, 为原产于我国南方的特产果树, 有 2 000 多年的栽培历史, 枇杷果实营养丰富, 是消费者喜爱的鲜食水果。“解放钟”枇杷(*Eriobotrya japonica* Lindl. cv. Jiefangzhong) 是福建枇杷的主栽品种之一, 以果特大、品质优和外观美而闻名海内外; 但由于枇杷果实皮薄多汁, 成熟期较集中且适逢高温季节, 采后常温下随着贮藏期的延长果实糖酸含量迅速下降, 风味变淡, 失水皱缩, 木质化程度逐渐严重, 极易腐烂变质^[1]。目前, 枇杷生产上主要采用气调冷藏保鲜技术以延长鲜食和加工期。低温气调贮藏虽可有效控制果实腐烂的发生, 但经冷藏后枇杷果肉木质化严重, 质地生硬, 口感粗拙而失去食用价值。郑永华等^[2-3]认为, 低温下枇杷果肉发生木质化是一种冷害现象, 主要与其细胞壁代谢失常和苯丙氨酸解氨酶(PAL)活性增加有关, 采用 SO₂ 处理枇杷果实可维持活性氧代谢的平衡, 抑制活性氧的积累, 从而防止果实木质化的发生。吴锦程等^[4-5]分别采用不同贮藏温度和水杨酸处理, 对枇杷果实木质化的生理生化机理进行了初步探讨, 结果表明, 水杨酸处理可抑制冷藏过程中枇杷果肉苯丙氨酸解氨酶(PAL)、多酚氧化酶(PPO)、肉桂醇脱氢酶(CAD)和过氧化物酶(POD)活性的上升, 减轻果肉的木质化程度; 认为 PAL 和 POD 活性的上升是导致 4 ℃ 下贮藏枇杷果肉发生木质化的主要原因。枇杷果实木质化败坏, 是枇杷贮藏过程中发生的主要问题, 不同学者从不同角度探讨了冷藏枇杷果实木质化的问题, 但有关 GA₃ 在控制冷藏枇杷果实木质化机理方面的研究尚未见相关报道。本研究采用不同质量浓度的外源赤霉素(GA₃)处理, 并于 6 ℃ 下冷藏, 从植物苯丙烷代谢途径来探讨冷藏枇杷果肉木质化与相关酶活性变化的关系, 以期 GA₃ 在枇杷贮藏保鲜中的应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试材料为来自福建莆田常太镇的“解放钟”枇杷(*Eriobotrya japonica* Lindl. cv. Jiefangzhong) 果实, 于正常食用成熟度采收。选取成熟度一致、大小均匀、无果皮受伤或绒毛脱落的枇杷果实, 分别采用

25, 50 和 100 mg/L 的 GA₃ 浸果 30 min, 对照(CK) 采用清水浸果 30 min。果实晾干后分装于 0. 02 mm 厚聚乙烯袋(每袋平均 1. 5 kg), 用橡皮筋绕两道扎袋口而不密封, 于 6 ℃ 下冷藏 35 d。每 7 d 取样 1 次, 将样品于 -40 ℃ 的超低温冰箱保存待测。

主要化学试剂: ATP 和 CoA(辅酶 A) 购自 Sigma 公司, 尼克酰胺二核苷嘌呤三磷酸(NADP) 为美国 Sanland 公司提供, 其他试剂为国产分析纯或生物级试剂。

主要仪器: 日本三洋 MDF-U4086S 型超低温冰箱; 德国 Eppendorf 5415R 型冷冻离心机; 日本岛津(苏州生产)UV-1240 型可见紫外分光光度计。

1.2 测定项目及方法

1.2.1 木质素含量的测定 参照朱海英等^[6] 的木质素含量测定方法, 重复 3 次, 取平均值。

1.2.2 多酚氧化酶(PPO)活性的测定 参照文献^[4] 的方法, 反应液于 410 nm 处测定吸光值; 酶活性以 1 min 变化 0. 001 吸光值为一个酶活力单位, 结果以 U/g 表示, 重复 3 次, 取平均值。

1.2.3 苯丙氨酸解氨酶(PAL)活性的测定 参照薛应龙^[7] 的方法, 反应液于 290 nm 处测定吸光值, 酶活性以反应液 1 h 变化 0. 001 吸光值为一个酶活性单位, 结果以 U/g 表示, 重复 3 次, 取平均值。

1.2.4 可溶性糖含量的测定 参照张宪政等^[8] 的蒽酮法, 重复 3 次, 取平均值。

1.2.5 4-香豆酸辅酶 A 连接酶(4-CL)活性的测定 参照吴锦程等^[9] 的方法, 反应液于 333 nm 处测定吸光值, 酶活性以 1 min 变化 0. 000 1 吸光值为一个酶活力单位, 结果以 U/g 表示, 重复 3 次, 取平均值。

1.2.6 肉桂醇脱氢酶(CAD)活性的测定 参照吴锦程等^[4] 的方法, 于 340 nm 处测定吸光值, 酶活性以 1 min 变化 0. 001 吸光值为一个酶活性单位, 结果以 U/g 表示, 重复 3 次, 取平均值。

1.2.7 过氧化物酶(POD)活性的测定 参照陈建勋等^[10] 的愈创木酚法, 反应液在 470 nm 处测定吸光值, 酶活性以 1 min 变化 0. 001 吸光值为一个酶活性单位, 结果以 U/g 表示, 重复 3 次, 取平均值。

1.3 数据处理

试验数据用 Duncan's 新复极差法进行方差分析, 检验差异显著性。

2 结果与分析

2.1 GA_3 对冷藏枇杷果实木质素含量的影响

从图 1 可以看出,冷藏枇杷果实木质素含量随着贮藏时间的延长而增加。经不同质量浓度 GA_3 浸果处理的枇杷果实木质素含量,在贮藏前 7 d 与 CK 差异不显著($P>0.05$)。在贮藏 7~35 d,不同质量浓度 GA_3 处理的枇杷果实木质素含量均低于 CK,差异达显著水平($P<0.05$),其中以 100 mg/L GA_3 处理贮藏 35 d 的枇杷果实木质素含量最低。结果表明,经 GA_3 浸果处理的枇杷果实木质素含量低于 CK,达显著差异水平($P<0.05$)。因而不同质量浓度 GA_3 浸果处理,可减缓冷藏后期枇杷果实木质化进程。

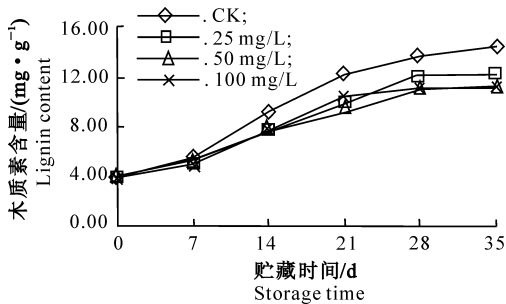


图 1 GA_3 对冷藏枇杷果实木质素含量的影响
Fig. 1 Effects of GA_3 on lignin content of loquat fruits

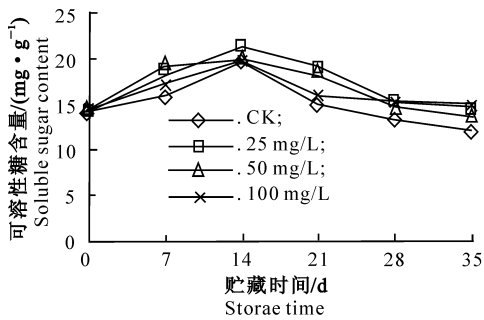


图 2 GA_3 对冷藏枇杷果实可溶性糖含量的影响
Fig. 2 Effects of GA_3 on soluble sugar of loquat fruits

2.4 GA_3 对冷藏枇杷果实 POD 活性的影响

图 4 显示, GA_3 处理与 CK 的枇杷果实 POD 活性在贮藏 0~7 d 呈下降趋势,7~28 d POD 活性快速上升并达活性峰值,28~35 d POD 活性急剧下降,在贮藏期的前 28 d,经 GA_3 处理的枇杷果实 POD 活性低于 CK,差异达显著水平($P<0.05$),其

2.2 GA_3 对冷藏枇杷果实可溶性糖含量的影响

从图 2 可以看出,经不同质量浓度 GA_3 浸果处理的枇杷果实,可溶性糖含量与 CK 的变化趋势相同,冷藏 0~14 d 果实可溶性糖含量上升并于 14 d 达到峰值,14~35 d 可溶性糖含量呈下降趋势。经 GA_3 浸果处理的枇杷果实可溶性糖含量总体上高于 CK,其中以 25 mg/L GA_3 处理的果实可溶性糖含量最高,在 21~35 d 时 50 mg/L GA_3 处理果实可溶性糖含量急剧下降,且低于 25 和 100 mg/L GA_3 处理。结果显示, GA_3 可抑制冷藏后期枇杷果实可溶性糖含量下降,但 GA_3 各处理的枇杷果实可溶性糖含量与 CK 差异不明显($P>0.05$)。

2.3 GA_3 对冷藏枇杷果实 PAL 活性的影响

从图 3 可以看出,CK 枇杷果实 PAL 活性在 0~14 d 平缓上升,14~21 d PAL 活性急剧上升到峰值,21~35 d PAL 活性下降。经 GA_3 处理的枇杷果实 PAL 活性在 0~21 d 呈现缓慢上升并在 21 d 达到高峰,21 d 后 PAL 活性开始下降。 GA_3 处理与 CK 的枇杷果实 PAL 活性在 0~14 d 差异不显著($P>0.05$);而在 14~35 d GA_3 处理的果实 PAL 活性低于 CK,差异达显著水平($P<0.05$)。 GA_3 各处理中,以 50 和 100 mg/L GA_3 处理的枇杷果实 PAL 活性相对较低,且两者 PAL 活性水平差异不明显($P>0.05$),而 25 mg/L GA_3 处理的果实 PAL 活性较前两者相对较高。表明 GA_3 各处理对冷藏枇杷果实 PAL 活性表现出不同程度的抑制作用。

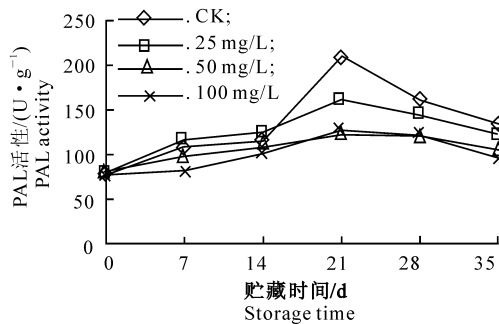


图 3 GA_3 对冷藏枇杷果实 PAL 活性的影响
Fig. 3 Effects of GA_3 on PAL activity of loquat fruits

中以 25 mg/L GA_3 处理的枇杷果实 POD 活性处于相对较低水平;28 d 后 GA_3 各处理的枇杷果实 POD 活性与 CK 差异不明显($P>0.05$)。表明 GA_3 处理能抑制冷藏枇杷果实的 POD 活性,其抑制作用主要表现在果实冷藏的早、中期,而冷藏后期对枇杷果实 POD 的活性影响较小。

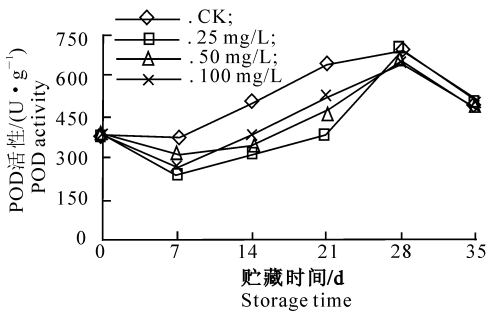


图 4 GA₃ 对冷藏枇杷果实 POD 活性的影响

Fig. 4 Effects of GA₃ on POD activity of loquat fruits

2.5 GA₃ 对冷藏枇杷果实 PPO 活性的影响

由图 5 可以看出,不同质量浓度 GA₃ 对枇杷果实 PPO 活性具有不同的影响,100 mg/L GA₃ 处理枇杷果实 PPO 活性一直高于 CK;50 mg/L GA₃ 处理枇杷果实 PPO 活性低于 CK;25 mg/L GA₃ 处理枇杷果实,在贮藏期的前 14 d PPO 活性总体上低于 CK,而贮藏 14~35 d PPO 活性高于 CK。

2.6 GA₃ 对冷藏枇杷果实 CAD 活性的影响

图 6 表明,冷藏期间经 GA₃ 处理的枇杷果实 CAD 活性与 CK 均呈“先降后升再降”的变化规律,而不同质量浓度 GA₃ 浸果处理对枇杷果实 CAD 活性的影响存在差异,经 25 mg/L GA₃ 处理的枇杷果实 CAD 活性一直低于 CK,但 50 和 100 mg/L GA₃ 处理的枇杷果实在 14~21 d CAD 活性高于 CK,之

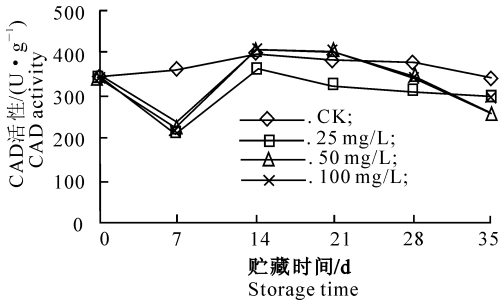


图 6 GA₃ 对冷藏枇杷果实 CAD 活性的影响

Fig. 6 Effects of GA₃ on CAD activity of loquat fruits

3 讨论

由本研究结果可知,在贮藏早期采用不同质量浓度 GA₃ 浸果处理,对冷藏枇杷果实木质素含量影响较小,但在一定程度上抑制了冷藏期间特别是后期(贮藏 21 d 后)枇杷果实木质素的合成,其中以 50 和 100 mg/L GA₃ 处理枇杷果实木质素含量低于 CK,且差异达显著水平。表明 GA₃ 处理对控制枇杷果实木质化败坏具有一定作用。

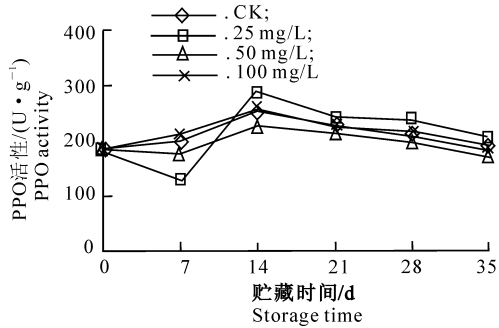


图 5 GA₃ 对冷藏枇杷果实 PPO 活性的影响

Fig. 5 Effects of GA₃ on PPO activity of loquat fruits

后 CAD 活性则急剧下降并低于 CK,总体而言,经 GA₃ 处理的枇杷果实 CAD 活性低于 CK,说明 GA₃ 处理,对冷藏枇杷果实 CAD 活性具有抑制作用。

2.7 GA₃ 对冷藏枇杷果实 4-CL 活性的影响

从图 7 可以看出,冷藏 0~14 d GA₃ 处理与 CK 的枇杷果实 4-CL 活性总体上呈快速上升趋势,并于 14 d 达到活性高峰,14~35 d 4-CL 活性呈下降趋势。经 100 mg/L GA₃ 处理枇杷果实的 4-CL 活性低于 CK,且差异达显著水平($P<0.05$);而 25 和 50 mg/L GA₃ 处理枇杷果实的 4-CL 活性低于对照,但差异不明显($P>0.05$)。采用 100 mg/L GA₃ 处理对冷藏枇杷果实的 4-CL 活性具有显著的抑制作用。

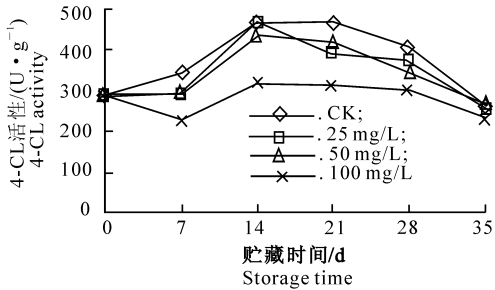


图 7 GA₃ 对冷藏枇杷果实 4-CL 活性的影响

Fig. 7 Effects of GA₃ on 4-CL activity of loquat fruits

木质素是植物苯丙烷代谢途径的主要终产物之一,苯丙氨酸解氨酶(PAL,EC 4.1.3.5.)是催化苯丙烷类代谢第一步反应的酶,是苯丙烷类代谢途径的关键酶和限速酶^[11]。朱海英等^[6]和 Lin 等^[12]研究认为,在木质化开始时 PAL 活性就迅速上升到一个很高水平,PAL 可作为木质化开始的标志酶。相关研究表明,GA₃ 可显著降低 PAL 和 POD 活性,抑制其在木质化过程中的作用^[13]。本试验结果显示,GA₃ 处理抑制了冷藏枇杷果实 PAL 活性,以 50

和 100 mg/L GA₃ 处理果实的木质化败坏程度相对较低。25, 50 和 100 mg/L GA₃ 处理的枇杷果实中, PAL 活性与木质素含量之间的相关系数(r)分别为 0.722, 0.768 和 0.831*, 说明 PAL 活性与枇杷果实木质化程度密切相关。

4-香豆酸辅酶 A 连接酶(4-CL, EC 6.2.1.12.) 因处在苯丙烷类代谢向形成不同类型产物的转折点而备受关注。Grand 等^[14]研究发现, 在木质化程度较高的杨树茎木质部 4-CL 活性较高, 而在薄壁组织中活性很低, 可见 4-CL 在木质素的生物合成中有重要作用。本试验中, 经不同质量浓度 GA₃ 处理的枇杷果实 4-CL 活性都受到抑制, 其中以较高质量浓度 100 mg/L GA₃ 处理的 4-CL 活性处于最低水平, 从而在一定程度上抑制了枇杷果实内木质素的合成。25, 50 和 100 mg/L GA₃ 处理的枇杷果实中, 4-CL 活性与木质素含量之间的相关系数(r)分别为 0.147, 0.206 和 0.194。可见 4-CL 可能是导致 GA₃ 处理冷藏枇杷果实发生木质化的一个因素, 但不起主要作用, 这与吴锦程等^[5]研究的结果相一致。

多酚氧化酶(PPO, EC 1.10.3.2.) 为广泛存在于植物体内的多功能酶类, 由核基因编码, 能催化多酚类氧化成醌类的含铜金属质体酶, 参与酚类物质的代谢转化, 它通过参与酚类物质(如绿原酸、香豆素等)的氧化作用而促进木质素合成^[15-16]。席玑芳等^[17]认为, PPO 促进了竹笋采后木质素的合成; 而陆胜民等^[18]研究认为, PPO 并没有对雷笋的木质化起促进作用。在本试验中, 25, 50 和 100 mg/L GA₃ 处理枇杷果实中, PPO 活性与木质素含量的相关系数(r)分别为 0.490, 0.164 和 0.182, 说明 PPO 活性与枇杷果实木质化相关性较小, 在果实木质化进程中作用较小。

肉桂醇脱氢酶(CAD, EC 1.1.1.195.) 是催化木质素前体合成反应的最后一步, 是木质素代谢途径中的一个重要环节^[19-20]。本试验中, GA₃ 各处理对枇杷果实 CAD 活性均有不同程度的抑制作用, 从而抑制了木质素的生成; 经相关性分析, 25, 50 和 100 mg/L GA₃ 处理的枇杷果实, CAD 活性与木质素含量的相关系数(r)分别仅为 0.116, 0.113 和 0.130。目前转基因研究结果表明, CAD 活性被强烈抑制, 植物体仍可维持正常木质素水平, 因此许多学者认为, 在木质素生物合成中 CAD 并非限速步骤, 可能极低的内源 CAD 活性就能满足植物体木质素合成的需要^[21-22]。CAD 对冷藏枇杷果肉的木质化可能不起主要作用。

过氧化物酶(POD, EC 1.11.1.7.) 是植物重要的保护酶之一, 其参与清除体内多余的 H₂O₂。在 H₂O₂ 的参与下 POD 催化木质素合成的最后一步, 即木质素单体的脱氢聚合反应, 在木质素合成中起关键作用^[19, 23-24]。GA₃ 处理对枇杷果实冷藏 0~28 d 的 POD 活性具有明显的抑制作用。外源 GA₃ 可能通过参与清除果实内积累的 H₂O₂, 而抑制木质素生成。25, 50 和 100 mg/L GA₃ 处理的枇杷果实, POD 活性与木质素含量的相关系数(r)分别为 0.740, 0.763 和 0.815*, 说明 POD 活性与木质素合成之间存在较高的相关性。POD 活性的下降是减缓冷藏枇杷果肉发生木质化的主要原因之一。

陈慧斌等^[25]对采后绿芦笋木质化研究认为, 木质素和纤维素合成可能与可溶性糖的降解有关。枇杷果实贮藏初期, 作为贮藏物质的淀粉发生降解, 分解成可溶性糖和还原糖, 从而使可溶性糖和还原糖含量增加, 果实口感变甜。贮藏后期可溶性糖发生降解或转化, 导致果实可溶性糖含量下降。25, 50 和 100 mg/L GA₃ 处理枇杷果实的可溶性糖含量与木质素含量呈负相关性, 相关系数(r)分别为 -0.134, -0.223 和 -0.172, 可溶性糖含量的下降可能参与木质素的合成, GA₃ 处理可抑制果实可溶性糖含量下降, 对改善冷藏枇杷果实品质有一定作用。

PAL、PPO、CAD、4-CL 和 POD 是植物莽草酸-苯丙烷代谢途径中, 与木质素合成有关的重要酶类。冷藏枇杷果实发生木质化是多因素综合作用的结果, 不同生理状态下不同植物材料 PAL、PPO、CAD、4-CL 和 POD 的生理特性存在差异。对以上各种酶在枇杷果肉木质化中的作用还有待更深入研究。

4 结 论

冷藏枇杷果实 PAL、PPO、CAD、4-CL 和 POD 活性的变化与枇杷果实木质化败坏的发生相关, 它们可能在不同贮藏阶段对冷藏枇杷果实木质化的发生起作用, 但所起的作用不尽相同; PAL 和 POD 活性变化与木质素合成之间存在较高的相关性, 在枇杷果实木质化进程中起主要作用, 而 PPO、CAD 和 4-CL 可能不起主要作用。

GA₃ 处理对冷藏枇杷果实 PAL 和 POD 活性具有明显的抑制作用, GA₃ 减缓冷藏枇杷果肉木质化的主要原因是其抑制 PAL 和 POD 活性。本试验以 50 和 100 mg/L GA₃ 处理对减轻冷藏枇杷果肉

木质化程度的效果较为明显。

[参考文献]

- [1] 郑永华,苏新国,易云波,等. SO₂对枇杷冷藏效果的影响[J]. 南京农业大学学报,2000,23(2):89-92.
Zheng Y H, Su X G, Yi Y B, et al. Effects of SO₂ on loquat fruits stored at 1 °C [J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2000, 23(2): 89-92. (in Chinese)
- [2] 郑永华,苏新国,李三玉,等. SO₂对冷藏枇杷果实品质及活性氧和多胺代谢的影响[J]. 植物生理学报,2000,26(5):397-401.
Zheng Y H, Su X G, Li S Y, et al. Quality, active oxygen polymines metabolic changes in cold-stored loquat fruits as affected by postharvest SO₂ treatment [J]. Acta Phytophysiological Sinica, 2000, 26(5): 397-401. (in Chinese)
- [3] 郑永华,李三玉,席巧芳. 枇杷冷藏过程中果肉木质化与细胞壁物质变化的关系[J]. 植物生理学报,2000,26(4):306-310.
Zheng Y H, Li S Y, Xi Y F. Changes of cell wall substances in relation to flesh woodiness in cold-stored loquat fruits [J]. Acta Phytophysiological Sinica, 2000, 26(4): 306-310. (in Chinese)
- [4] 吴锦程,陈群,唐朝晖,等. 外源水杨酸对冷藏枇杷果实木质化及相关酶活性的影响[J]. 农业工程学报,2006,22(7):175-179.
Wu J C, Chen Q, Tang C H, et al. Effects of exogenous salicylic acid on lignification and related enzymes activities of loquat at cold-stored [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2006, 22(7): 175-179. (in Chinese)
- [5] 吴锦程,唐朝晖,陈群,等. 不同贮藏温度对枇杷果肉木质化及相关酶活性的影响[J]. 武汉植物学研究,2006,24(3):235-239.
Wu J C, Tang C H, Chen Q, et al. The effects of different storage temperatures on lignification and related enzymes activities in loquat pulp [J]. Journal of Wuhan Botanical Research, 2006, 24(3): 235-239. (in Chinese)
- [6] 朱海英,李人圭,王隆华,等. 丝瓜果实发育中木质素代谢及有关导管分化的生理生化研究[J]. 华东师范大学学报,1997(1):87-94.
Zhu H Y, Li R G, Wang L H, et al. Physiological and biochemical studies on lignin metabolism and its vessel elements differentiation of fruit of *Luffa cylindrica* [J]. Journal of East China Normal University, 1997(1): 87-94. (in Chinese)
- [7] 薛应龙. 植物生理学实验指导[M]. 上海:高等教育出版社,1980:104-108.
Xue Y L. Guide of plant physiological experiments [M]. Shanghai: Higher Education Press, 1980: 104-108. (in Chinese)
- [8] 张宪政,陈凤玉,王荣富. 植物生理学实验技术[M]. 沈阳:辽宁科学技术出版社,1994:144-145.
Zhang X Z, Chen F Y, Wang R F. Technology of plant physiological experiments [M]. Shenyang: Liaoning Science and Technology Press, 1994: 144-145. (in Chinese)
- [9] 吴锦程,唐朝晖. 枇杷4-香豆酸 CoA 连接酶的某些特性[J]. 植物生理学通讯,2006,42(3):431-434.
Wu J C, Tang C H. Some characteristics of 4-coumarate coenzyme A ligase in loquat (*Eriobotrya japonica* Lindl. cv. Jiefanzhong) [J]. Plant Physiology Communications, 2006, 42(3): 431-434. (in Chinese)
- [10] 陈建勋,王晓峰. 植物生理学实验指导[M]. 广州:华南理工大学出版社,2002:119-121.
Chen J X, Wang X F. Guide of plant physiological experiments [M]. Guangzhou: South China University of Technology Press, 2002: 119-121. (in Chinese)
- [11] 陈晓亚. 植物次生代谢及其调控[C]//余叔文,汤章城. 植物生理与分子生物学. 2版. 北京:科学出版社,1998:390-399.
Chen X Y. Secondary metabolism and its regulation in plant [C]//Yu S W, Tang Z C. Phytophysiology and molecular biochemistry. 2th ed. Beijing: Science Publication House, 1998: 390-399. (in Chinese)
- [12] Lin Q, Northcote D H. Expression of phenylalanine ammonia-lyase gene during streptococcal element differentiation from cultured mesophyll cell of *Zinnia elegans* L. [J]. Planta, 1990, 182: 591-598.
- [13] 刘尊英,姜微波. 常温下 GA₃ 处理对绿芦笋采后木质化的影响[J]. 中国农业科学,2005,38(2):383-387.
Liu Z Y, Jiang W B. Effects of GA₃ on postharvest lignification of green asparagus [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2005, 38(2): 383-387. (in Chinese)
- [14] Grand C, Boudet A, Boudet A M. Isoenzymes of hydroxycinnamate CoA ligase from poplar stems properties and tissue distribution [J]. Planta, 1983, 158: 225-229.
- [15] 吴振先,韩冬梅,季作梁,等. SO₂对贮藏龙眼果皮酶促褐变的影响[J]. 园艺学报,1999,26(2):91-95.
Wu Z X, Han D M, Ji Z L, et al. Effect of sulphur dioxide treatment on enzymatic browning of longan pericarp during storage [J]. Acta Horticulturae Sinica, 1999, 26(2): 91-95. (in Chinese)
- [16] Campbell M M, Sederoff R R. Variation in lignin content and composition [J]. Plant Physiology, 1996, 110: 3-13.
- [17] 席巧芳,罗自生,程度,等. 竹笋采后木质化与多酚氧化酶、过氧化物酶和苯丙氨酸解氨酶活性的关系[J]. 植物生理学通讯,2001,37(4):294-295.
Xi Y F, Luo Z S, Cheng D, et al. Relationship between lignification of excised bamboo shoot and activities of polyphenol oxidase, peroxidase and phenylalanine ammonia lyase [J]. Plant Physiology Communications, 2001, 37(4): 294-295. (in Chinese)
- [18] 陆胜民,孔凡春. 低氧气调包装对去壳雷笋褐变和木质化的影响[J]. 植物生理与分子生物学报,2004,30(4):387-392.
Lu S M, Kong F C. Effects of low oxygen-modified atmosphere packaging on browning and lignification of peeled bamboo shoots [J]. Journal of Plant Physiology and Molecular Biology, 2004, 30(4): 387-392. (in Chinese)
- [19] Douglas C J. Phenylpropanoid metabolism and lignin biosynthesis: from weeds to trees [J]. Trends Plant Science, 1996, 1(6): 171-178.

[20] Sancho M A,Forchetti S M,Pliego,et al. Peroxidase activity and isoenzymes in the culture medium of NaCl adapted tomato suspension cell [J]. Plant Cell Tissue Organ Culture,1996,44:161-167.

[21] Halpin C,Knight M E,Foxon G A,et al. Manipulation of lignin quality by down-regulation of cinnamyl alcohol dehydrogenase [J]. The Plant Journal,1994,6:339-350.

[22] Baucher M,Chabbert B,Pilate G,et al. Red xylem and higher lignin extractability by down-regulating a cinnamyl alcohol dehydrogenase in poplar (*Populustremula* and *Populusalba*) [J]. Plant Physiology,1996,112:1479-1490.

[23] 王爱国.植物的氧代谢[C]//余叔文,汤章诚.植物生理与分子生物学.2版.北京:科学出版社,1998:366-389.
Wang A G. Plant oxygen metabolization [C]//Yu S W,Tang Z C. Phytophysilogy and molecular biochemistry. 2th ed. Beijing:Science Publication House,1998:366-389. (in Chinese)

[24] Grima-Pettenati J,Goffner D. Lignin genetic engineering revisited [J]. Plant Science,1999,145:51-65.

[25] 陈慧斌,刘雪玉,王则金,等. MA 抑制绿芦笋木质化和护绿效果的研究 [C]. 2005 福建省冷藏技术研讨会论文资料集. 福州:福建省制冷学会,2005:123-129.
Chen H B,Liu X Y,Wang Z J,et al. Study on lignification and color-protection of *Asparagus officinalis* L with modified atmosphere storage [C]. Academic Proceeding from the 2005 Fujian Cold Storage Technology Symposium. Fuzhou:Fujian Association of Refrigeration Science Society,2005:123-129. (in Chinese)

(上接第 137 页)

[9] 房玉林,陶永胜,李 华. H₂CN₂ 和 CaCN₂ 对酿酒葡萄萌芽开花及成熟期的影响 [J]. 中国农学通报,2005,21(2):219-224.
Fang Y L,Tao Y S,Li H. Effect of CaCN₂ and H₂CN₂ on bud-breaking,blossoming and fruit maturing of wine grape [J]. Chinese Agriculture Science Bulletin,2005,21(2):219-224. (in Chinese)

[10] 陶永胜,房玉林,李 华. 破眠剂对攀西地区酿酒葡萄萌芽率的影响[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2007,35(1):189-192.
Tao Y S,Fang Y L,Li H. Effects of budbreaking chemicals on sprouting percentage of winemaking grape varieties under dry-hot climate in Southwest of China [J]. Journal of Northwest A&F University: Natural Science Edition,2007,35(1):189-192. (in Chinese)

[11] Or E,Nir G,Vilozny L. Timing of hydrogen cyanamide application to grape buds [J]. Vitis,1999,38:1-6.

[12] Pires E J P,Monteiro T M,Pommer C V,et al. Effect of increasing concentrations of hydrogen cyanamide in breaking bud dormancy and in the yield of grapevine Italia (*Vitis vinifera* L.) [J]. Bulletin de l'OIIV,1993,66:348-363.

[13] Pires E J P,Terra M M,Pommer C V,et al. Adjustment of ideal H₂CN₂ concentration for breaking dormancy of grapevine in less warm region [J]. Acta Horticulture,1995,395:169-176.

[14] Faust M,Erez A,Rowland L J,et al. Bud dormancy in perennial fruit trees: Physiological basis for dormancy induction, maintenance,and release [J]. Hortscience,1997,32:623-629.

[15] Uzun H I,Kuden A B,Dennis F G J. Effects of hydrogen cyanamide application at various time, during dormancy on phenological stages and fruit characteristics of grapes [J]. Acta Horticulture,1997,44:201-206.

[16] 张振文. 葡萄品种学[M]. 西安:西安地图出版社,2000:59-61.
Zhang Z W. Ampelography [M]. Xi'an: Xi'an Map Press,2000:59-61. (in Chinese)

[17] Tohbe M,Mochioka R,Horiuchi S,et al. Roles of ACC and glutathione during breaking of dormancy in grapevine buds by high temperature treatment [J]. J Japan Soc Hort Sci,1998,67(6):897-901.

[18] Reginato M G,Pinilla D C,Camus C J L. Effects of hydrogen cyanamide plus mineral oil sprays in vitis vinifera [J]. Agriculture Technology (Chile),1994,54:192-198.

[19] Dokoozlian N K,Ebisuda N C,Neja R A. Surfactants improve the response of grapevines to hydrogen cyanamide [J]. Hortscience,1998,33:857-859.