

网络出版时间:2013-09-22 17:04

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20130922.1704.013.html>

β -氨基丁酸结合壳聚糖处理对苹果采后青霉病的防治效果与机理

张 维, 周会玲, 袁仲玉, 张春云, 温晓红

(西北农林科技大学 园艺学院, 陕西 杨凌 712100)

[摘 要] **【目的】**将 1.5% (质量分数,下同)壳聚糖(CTS)与 0.75 g/L β -氨基丁酸(BABA)结合使用防治苹果采后青霉病,探讨二者结合后的防治效果及机理。**【方法】**以“红富士”苹果为材料,设 4 个处理:①对照,不做任何处理;② 0.75 g/L BABA 浸泡 5 min;③ 1.5% CTS 浸泡 1 min;④ 0.75 g/L BABA 浸泡 5 min 后再用 1.5% CTS 浸泡 1 min。对处理过的苹果果实接种 $10 \mu\text{L } 1 \times 10^5 \text{ CFU/mL}$ 青霉病原菌孢子悬浮液,于 $(22 \pm 1)^\circ\text{C}$ 贮藏 4 d 后,统计发病率并测量病斑直径的大小。将 4 种不同处理的苹果晾干后于 $(22 \pm 1)^\circ\text{C}$ 贮藏,比较不同处理对苹果几丁质酶(CHT)、 β -1,3-葡聚糖酶(GLU)、过氧化物酶(POD)、苯丙氨酸解氨酶(PAL)活性及总酚、类黄酮含量的影响。采用平板培养法,在 10 mL PDA、9 mL PDA+1 mL 0.75 g/L BABA、9 mL PDA+1 mL 1.5% CTS、8 mL PDA+1 mL 0.75 g/L BABA+1 mL 1.5% CTS 4 种培养基上,于 $(22 \pm 1)^\circ\text{C}$ 下对青霉病原菌进行离体培养,测量菌落直径。**【结果】** $(22 \pm 1)^\circ\text{C}$ 贮藏 4 d 后,BABA 及 BABA+CTS 处理后的果实发病率和病斑直径均极显著低于对照($P < 0.01$),而单独使用 CTS 处理后的果实发病率和病斑直径却显著高于对照($P < 0.05$)。在各个时期,BABA+CTS 处理的菌落直径均极显著小于对照($P < 0.01$),BABA 单独处理虽低于对照但与对照差异不显著($P > 0.05$),CTS 处理极显著低于对照($P < 0.01$),但与 BABA+CTS 处理差异不显著($P > 0.05$)。BABA 及 BABA+CTS 处理果实的 CHT、GLU、POD、PAL 活性及总酚、类黄酮含量高于对照,而 CTS 处理的这几种酶活性和生化物质含量均低于对照。**【结论】**0.75 g/L BABA+1.5% CTS 虽能有效防治苹果采后青霉病病害的发生,但效果较单独使用 BABA 差,而 CTS 处理却加重了病害的发生。

[关键词] 苹果; β -氨基丁酸;壳聚糖;青霉病

[中图分类号] S436.611.1⁺6

[文献标志码] A

[文章编号] 1671-9387(2013)10-0149-08

Control effects and mechanisms of β -aminobutyric acid and chitosan on postharvest blue mold of red Fuji apple

ZHANG Wei, ZHOU Hui-ling, YUAN Zhong-yu,

ZHANG Chun-yun, WEN Xiao-hong

(College of Horticulture, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: **【Objective】**Effects of 1.5% chitosan (CTS) combined with 0.75 g/L β -aminobutyric acid (BABA) on control of postharvest blue mold of Fuji Apple and the possible mechanisms were investigated in this paper. **【Method】**Four treatments, 1) CK, 2) soaking in 0.75 g/L BABA for 5 min, 3) soaking in 1.5% CTS for 1 min, and 4) soaking in 0.75 g/L BABA for 5 min followed by in 1.5% CTS for 1 min were conducted. Fruits were then inoculated with $10 \mu\text{L } 1 \times 10^5 \text{ CFU/mL}$ spore suspension. Disease inci-

[收稿日期] 2012-11-27

[基金项目] 西北农林科技大学基本科研业务费专项资金项目(ZD2012005)

[作者简介] 张 维(1988—),女,河南济源人,硕士,主要从事采后生理及贮藏保鲜技术研究。E-mail: zhangwei880125@163.com

[通信作者] 周会玲(1969—),女,陕西丹凤人,副教授,博士,主要从事采后生理及贮藏保鲜技术研究。

E-mail: zhouhui ling@nwsuaf.edu.cn

dences and lesion diameters were measured after 4 days storage at $(22\pm 1)^\circ\text{C}$. Fruits were dried before being stored in $(22\pm 1)^\circ\text{C}$, and activities of CHT, GLU, POD, PAL and total phenol contents, and flavonoids contents were compared. Colony diameters were measured after pathogens were trained in different PDA plates for 4 days: 1) 10 mL PDA, 2) 9 mL PDA+1 mL 0.75 g/L BABA, 3) 9 mL PDA+1 mL 1.5% CTS, and 4) 8 mL PDA+1 mL 0.75 g/L BABA+1 mL 1.5% CTS. 【Result】 The disease incidences and lesion diameters of BABA and BABA combined with CTS were significantly lower than control ($P<0.01$), while that of CTS treatment were significantly higher than control. There was significant difference on colony diameters between BABA combined with CTS and control ($P<0.01$) and no significant difference between BABA and control. The colony diameters of CTS were significantly lower than control ($P<0.01$), while there was no significant difference between CTS and BABA combined with CTS. BABA significantly increased the activities of CHT, GLU, POD and PAL and total phenol contents and flavonoids contents, while CTS reduced these enzymes activities and biochemical substances contents. 【Conclusion】 0.75 g/L BABA showed a better control effect on blue mold than 1.5% CTS combined with 0.75 g/L BABA, and CTS increased the degree of disease.

Key words: apple; β -aminobutyric acid; chitosan; blue mold

果蔬采后腐烂大多由真菌引起^[1], 青霉病是苹果贮藏期间的主要真菌性病害之一, 即使在低温贮藏条件下, 苹果感病后也会发生腐烂^[2]。到目前为止, 生产实践中仍主要依靠人工合成杀菌剂来防治水果采后病害的发生, 但由于杀菌剂残留、环境污染等问题, 使其应用受到了限制^[3], 因此研究并利用新的安全有效的防治方法已势在必行。

近年来, 有关果蔬产品采后诱导抗性的研究较多^[4], β -氨基丁酸(BABA)是一种由番茄根系分泌的非蛋白质氨基酸, 其对于植株的诱导抗性具有广谱性, 且不存在环境污染和残留问题, 是真正意义上的绿色农用化学制剂^[5]。有学者早在 1960 年就发现, 用 BABA 处理番茄植株后, 能诱导番茄对晚疫病产生抗性^[6]。近年来的研究发现, BABA 能诱导葡萄柚、砂糖桔、马铃薯等多种作物对青霉病、晚疫病等产生抗性^[6-8]。虽然 BABA 可以有效防治果蔬采后病害的发生, 但有关其防治机理尚无完整详细的报道。壳聚糖(CTS)是天然保鲜剂, 经其溶液浸渍的果实表面能形成一层半透明膜, 可自动调节果实内外的气体交换, 抑制果实呼吸, 延缓衰老^[9]。CTS 不仅有良好的保鲜效果而且还有抑菌能力, 目前虽然对 CTS 的抑菌性有大量的研究报道, 但不同的研究者得到的结论并不一致, 甚至互相矛盾, 其原因可能与所使用 CTS 的分子聚合度大小、脱乙酰度高低、浓度等诸多因子有关。

本试验以“红富士”苹果为材料, 用 CTS 与 BABA 处理苹果果实, 探讨两者结合使用对青霉病的防治效果及可能的防治机理。

1 材料与方法

1.1 材 料

供试苹果品种为“红富士”, 采自陕西杨凌管理良好的果园。挑选大小均一、着色一致、无机械损伤、无病虫害的果实, 采摘后单果包装, 当天运回西北农林科技大学实验室, 于 0°C 冷库中贮藏备用。

扩展青霉(*Penicillium expansum*)购于西北农林科技大学植物保护学院, 在 PDA 培养基上分离纯化, 然后于 4°C 保存备用。

CTS(脱乙酰度 $\geq 90\%$, 相对分子质量 ≥ 20 万, 黏度 $<100\text{ mPa}\cdot\text{s}$)购于上海国药集团化学试剂有限公司; BABA(纯度 $\geq 97\%$)购于上海精纯试剂有限公司。

1.2 方 法

1.2.1 BABA 结合 CTS 处理对苹果采后青霉病的防治效果 将供试苹果用体积分数 75%乙醇溶液擦拭表面后, 做如下 4 个处理: 1) 对照(CK), 不做任何处理; 2) 0.75 g/L BABA 浸泡 5 min 后晾干; 3) 1.5% (质量分数, 下同) CTS 浸泡 1 min 后晾干; 4) 0.75 g/L BABA 浸泡 5 min 后再用 1.5% CTS 浸泡 1 min, 然后晾干, 用无菌铁钉在处理过的苹果果实阳面沿赤道方向刺 3 个 4 mm 深、3 mm 宽的伤口, 然后接种 $10\ \mu\text{L}\ 1\times 10^5\text{ CFU/mL}$ 青霉病原菌孢子悬浮液, 放在 $(22\pm 1)^\circ\text{C}$ 贮藏, 4 d 后统计发病率并测量病斑直径。

1.2.2 BABA 结合 CTS 处理对青霉病原菌的抑制作用 参照田春莲等^[10]的方法, 采用平板培养法,

在 $(22\pm 1)^\circ\text{C}$ 下对青霉病原菌进行离体培养,分别于培养 0,1,2,3,4,5 d 后测量菌落直径大小。培养基做如下处理:1) 10 mL PDA 培养基;2) 9 mL PDA+1 mL 0.75 g/L BABA;3) 9 mL PDA+1 mL 1.5% CTS;4) 8 mL PDA+1 mL 0.75 g/L BABA+1 mL 1.5% CTS。

1.2.3 BABA 结合 CTS 处理对果实的抗病诱导表现 将供试苹果用体积分数 75%乙醇溶液擦拭后,做如下 4 个处理:1) 对照(CK),不做任何处理;2) 0.75 g/L BABA 浸泡 5 min;3) 1.5% CTS 浸泡 1 min;4) 0.75 g/L BABA 浸泡 5 min 后再用 1.5% CTS 浸泡 1 min,将处理过的苹果晾干后放在 $(22\pm 1)^\circ\text{C}$ 贮藏,分别于贮藏 0,1,2,3,4,5 d 后测苹果几丁质酶(ChT)、β-1,3-葡聚糖酶(GLU)、过氧化物酶(POD)、苯丙氨酸解氨酶(PAL)活性及总酚、类黄酮含量。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 ChT 活性 参照黄雪玲等^[11]的方法,称取 2 g 左右的苹果果肉组织,加入 5 mL 0.05 mol/L 乙酸-乙酸钠缓冲液,pH 5.0,冰浴研磨成匀浆, 4°C 、12 000 g 离心 15 min,提取上清液即为酶液。吸取 0.4 mL 胶状几丁质,向其中加入 0.4 mL 酶液和 0.4 mL 醋酸钠缓冲液,对照不加酶液,多加 0.4 mL 缓冲液。在 37°C 水浴中反应 2 h 后放入沸水浴中灭活 5 min,然后在 10 000 r/min 离心 5 min。吸取上清液 0.7 mL,并加入 1 mL 二甲氨基苯甲醛(DMAB)和 1 mL 冰醋酸,在 37°C 水浴中保温 30 min,冷却并记录 585 nm 波长下的吸光值。根据标准曲线计算反应液中 N-乙酰葡萄糖胺的含量,以每小时每克鲜组织从胶状几丁质中释放 1 μg N-乙酰葡萄糖胺为 1 个酶活性单位(U)。

1.3.2 GLU 活性 参照曹建康等^[12]的方法,酶液提取方法同 ChT。取 2 支试管,分别加入 0.1 mL 4 g/L 的昆布多糖溶液。然后向一支试管中加入 0.1 mL 酶液,向另一支试管中加入 0.1 mL 经煮沸 5 min 的酶液作为对照,混匀。将反应管置于 37°C 保温 40 min。保温后向反应管中加入 1.8 mL 蒸馏水和 1.5 mL 3,5-二硝基水杨酸(DNS)试剂,在沸水浴中加热 3 min。再用蒸馏水将显色的反应液稀释至 25 mL,混匀。测定混合液在 540 nm 处的吸光度,重读 3 次。根据样品管反应液和对照管反应液的吸光度差值,在标准曲线上查出相应的葡萄糖质量(mg),以每小时每克样品中酶分解昆布多糖产生 1 mg 葡萄糖为 1 个酶活性单位(U)。

1.3.3 POD 活性 称取 1 g 左右的苹果果肉组织,

放入预冷的研钵中,加入 20 mL 100 mmol/L pH=6.4(内含 0.5 g 聚乙烯吡咯烷酮(PVPP))的磷酸缓冲液,在冰浴中研磨成匀浆,于 4°C 下 12 000 g 离心 30 min,分离出的上清液即为粗酶液。将 0.1 mL 粗酶提取液加入 2 mL 0.05 mol/L 愈创木酚(用 100 mmol/L (pH=6.4)的磷酸缓冲液配成)中,在 30°C 水浴中平衡 5 min,然后加 1 mL 体积分数 0.2% H_2O_2 (用 100 mmol/L pH=6.4 的磷酸缓冲液配成)混匀,以蒸馏水作为空白调零,6 min 后扫描 6 min 内 470 nm 处吸光值变化,以反应液中每克样品每分钟吸光值变化 0.01 为 1 个酶活性单位(U)。

1.3.4 PAL 活性 参照高俊凤^[13]的方法,称取 1 g 左右的苹果果肉组织,加入 5 mL 0.05 mol/L 乙酸-乙酸钠缓冲液,冰浴研磨成匀浆, 4°C 、12 000 g 离心 15 min,提取上清液即为酶液。取 4 支 10 mL 试管(3 支测定管,1 支对照管),分别加入 0.02 mol/L L-苯丙氨酸 1.0 mL(对照管不加,代之以蒸馏水),硼酸缓冲液(pH 8.8)2.0 mL,酶液 1.0 mL,总体积 4 mL。摇匀后置 30°C 恒温水浴锅保温 60 min,加 0.2 mL 6 mol/L HCl 终止反应,若有沉淀需过滤或离心。用对照管调零,在 290 nm 处检测反应液的吸光度 A_{290} ,以测定管反应液中每克样品每小时 A_{290} 增加 1 为 1 个酶活性单位(U)。

1.3.5 总酚和类黄酮含量 参照曹建康等^[12]的方法,称取 1 g 左右苹果果肉组织,加入少许经预冷的体积分数为 1% 的 HCl-甲醇溶液,在冰浴条件下研磨成匀浆后,转入 20 mL 刻度试管中,用体积分数 1% HCl-甲醇溶液冲洗研钵,一并转移到试管中,定容至刻度,混匀,于 4°C 避光提取 20 min,期间摇动数次,然后 4°C 下 12 000 g 离心 30 min,收集上清液。以体积分数 1% HCl-甲醇溶液作空白参比调零,取上清液于波长 280 和 325 nm 处测定溶液的吸光值,重复 3 次。总酚含量以每克样品在 280 nm 处的吸光值计,类黄酮含量以每克样品在 325 nm 处的吸光值计。

1.4 数据处理

数据采用 Excel 2003 软件进行整理,并用 SAS 8.1 软件进行差异显著性分析,Duncan's 法(也称新复极差法)检验差异显著性。

2 结果与分析

2.1 BABA 结合 CTS 处理对苹果采后青霉病的防治效果

由图 1 可知,不同处理的苹果果实于 $(22\pm 1)^\circ\text{C}$

℃贮藏 4 d 后,对照的发病率为 40.37%,病斑直径为 5.4 mm,BABA 及 BABA+CTS 处理后的果实发病率和病斑直径均显著低于对照($P<0.05$),而单独用 CTS 处理后的果实发病率和病斑直径却显

著高于对照($P<0.05$)。表明 CTS 与 BABA 结合处理可以有效防治果实青霉病的发生,但削弱了 BABA 的防治能力,而 CTS 处理却加重了青霉病害的发生。

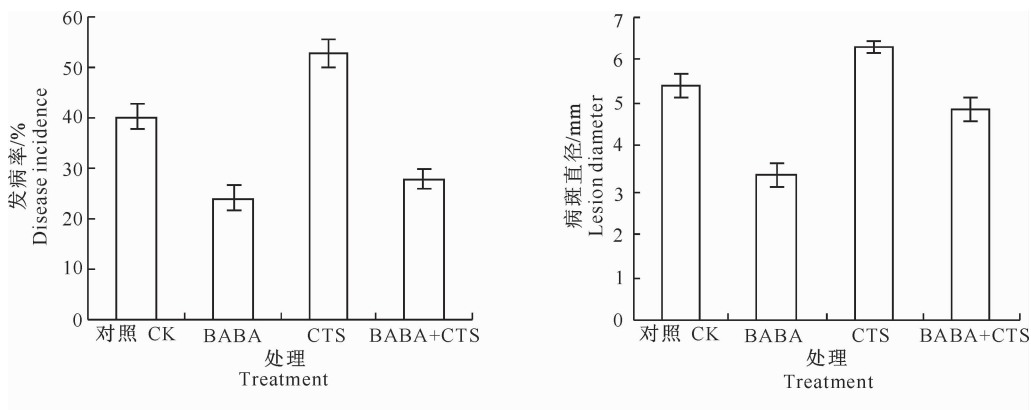


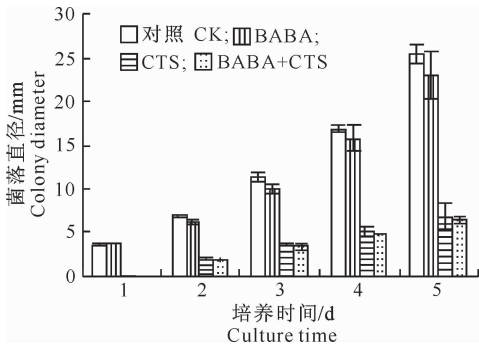
图 1 β-氨基丁酸(BABA)结合壳聚糖(CTS)处理对苹果采后青霉病的防治效果

Fig.1 Effects of BABA combined with CTS on the control of postharvest blue mold of Fuji apple

2.2 BABA 结合 CTS 处理对苹果采后青霉病的防治机理

2.2.1 BABA 结合 CTS 处理对青霉病原菌的抑制作用 由图 2 可知,随着培养时间的延长,各处理组和对照组的青霉病原菌菌落直径均逐渐增加,尤以对照增加最为显著。在各个时期,BABA+CTS 处理的菌落直径均极显著小于对照($P<0.01$),BABA 处理虽低于对照但差异不显著($P>0.05$),CTS 处理极显著低于对照($P<0.01$),但与 BABA+CTS 处理差异不显著($P>0.05$)。表明 BABA 结合 CTS 处理可以显著抑制青霉病原菌菌丝的生长,BABA 对病原菌菌丝生长没有直接抑制作用,CTS 直接抑制了菌丝的生长。

菌细胞壁的主要成分几丁质,从而对病原菌生长具有直接的抑制作用。果蔬的采后抗病性与 CHT 活性密切相关。由图 3 可知,不同处理苹果果实的 CHT 活性,随着贮藏时间的延长呈现先下降后上升的趋势。第 1 天时各处理组与对照差异不显著($P>0.05$),之后 BABA 及 BABA+CTS 处理的果实 CHT 活性始终极显著高于对照($P<0.01$),并且 BABA 处理显著高于 BABA+CTS 处理($P<0.05$),CTS 处理果实的 CHT 活性在第 2,3 天时显著低于对照($P<0.05$),第 4,5 天时却与对照差异不显著($P>0.05$)。表明 BABA 与 BABA+CTS 处理可以显著诱导果实 CHT 活性的提高,而 CTS 却抑制了 CHT 活性的升高。



2.2.3 BABA 结合 CTS 处理对果实 GLU 活性的影响 植物中的 GLU 能以随机作用方式将多聚糖水解成为糊精或寡聚糖,使真菌细胞壁受到损坏,从而抑制真菌的生长繁殖及对植物的侵染,特别是在与 CHT 的协同作用下,GLU 可明显抑制真菌的生长。由图 4 可知,不同处理的苹果果实 GLU 活性随着贮藏时间的延长,呈现先缓慢上升然后下降的趋势。各处理组和对照组 GLU 活性均在第 4 天达到峰值,BABA 及 BABA+CTS 处理的 GLU 活性峰值极显著高于对照($P<0.01$),并且 BABA 处理显著高于 BABA+CTS 处理($P<0.05$),而 CTS 处理的 GLU 活性峰值显著低于对照($P<0.05$)。表明 BABA 及 BABA+CTS 处理诱导了果实 GLU 活性的升高,而 CTS 却抑制了 GLU 活性的提高。

图 2 β-氨基丁酸(BABA)结合壳聚糖(CTS)处理对苹果采后青霉病原菌的抑制作用
Fig.2 Inhibition of BABA combined with CTS on *Penicillium expansum*

2.2.2 BABA 结合 CTS 处理对果实 CHT 活性的影响 高等植物体内广泛存在 CHT,能降解多种真

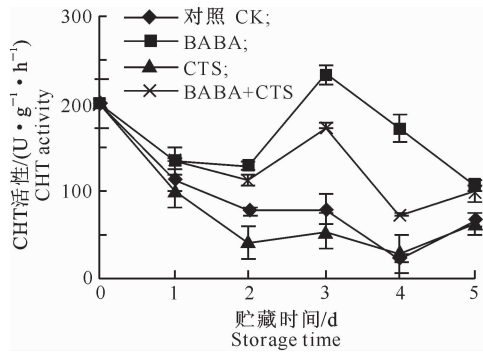


图 3 β-氨基丁酸(BABA)结合壳聚糖(CTS)处理对苹果几丁质酶(CHT)活性的影响

Fig. 3 Effects of BABA combined with CTS on CHT activities of Fuji apple

2.2.4 BABA 结合 CTS 处理对果实 POD 活性的影响 POD 是果蔬体内普遍存在的一种重要的氧化还原酶,该酶催化以 H_2O_2 为氧化剂的氧化还原反应,在氧化其他物质的同时,将 H_2O_2 还原为 H_2O ,用以清除细胞内的 H_2O_2 ,是植物体内的保护酶之一。由图 5 可知,不同处理苹果果实的 POD 活性,随着贮藏时间的延长呈现先上升后下降的趋势,BABA 及 BABA+CTS 处理的 POD 活性始终高于对照,CTS 处理的 POD 活性低于对照。各处理组和对照组均在贮藏第 1 天达到最大值,其中以 BABA 处理的峰值最大,其次是 BABA+CTS,这 2 个处理的峰值均极显著高于对照 ($P<0.01$),而 CTS 处理的峰值显著低于对照 ($P<0.05$)。表明 BABA 及 BABA+CTS 处理显著提高了果实 POD 活性,而 CTS 处理却抑制了 POD 活性。

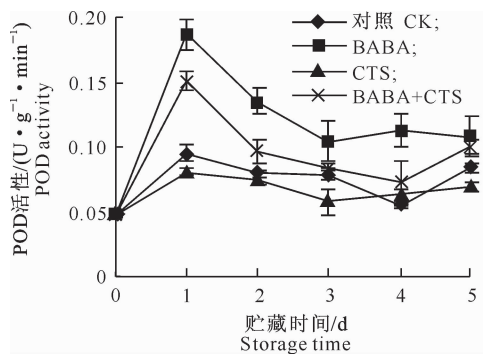


图 5 β-氨基丁酸(BABA)结合壳聚糖(CTS)处理对苹果过氧化物酶(POD)活性的影响

Fig. 5 Effects of BABA combined with CTS on POD activities of Fuji apple

2.2.6 BABA 结合 CTS 处理对果实总酚和类黄酮含量的影响 果蔬组织中存在着大量酚类物质、类黄酮类等次生代谢产物,其与果蔬的色泽发育、品质

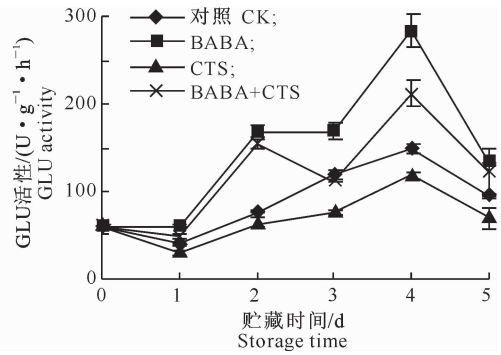


图 4 β-氨基丁酸(BABA)结合壳聚糖(CTS)处理对苹果 β-1,3-葡聚糖酶(GLU)活性的影响

Fig. 4 Effects of BABA combined with CTS on GLU activities of Fuji apple

2.2.5 BABA 结合 CTS 处理对果实 PAL 活性的影响 PAL 是许多植物次生物质如类黄酮物质、酚类物质、木质素和水杨酸等生物合成途径——苯丙烷代谢的关键酶,与植物的抗逆境胁迫和抗病性密切相关,在植物正常生长发育和抵御病原菌侵害的过程中起着重要作用。由图 6 可知,BABA 及 BABA+CTS 处理的 PAL 活性在贮藏 1 d 时达到峰值,且二者之间差异不显著,但与对照呈极显著差异 ($P<0.01$)。随着时间的延长,BABA 处理果实的 PAL 活性均显著高于对照 ($P<0.05$),而 BABA+CTS 处理与对照差异不显著 ($P>0.05$); CTS 处理果实的 PAL 活性在此期间则始终低于对照。表明 BABA 处理显著诱导了 PAL 活性的提高,BABA+CTS 在处理之初诱导了 PAL 活性的提高,而 CTS 却抑制了 PAL 的活性。

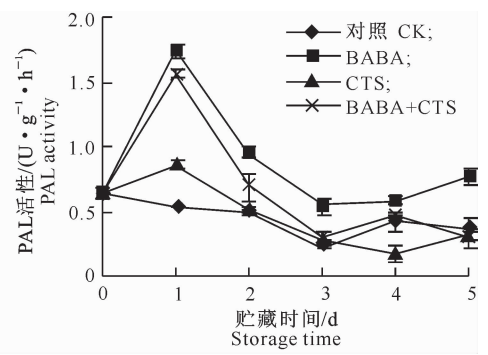


图 6 β-氨基丁酸(BABA)结合壳聚糖(CTS)处理对苹果苯丙氨酸解氨酶(PAL)活性的影响

Fig. 6 Effects of BABA combined with CTS on PAL activities of Fuji apple

和风味形成、成熟衰老过程、组织褐变、抗逆性及病性代谢等作用密切相关。由图 7 可知,不同处理苹果果实贮藏期间总酚和类黄酮含量的变化趋势基

本一致。BABA 及 BABA+CTS 处理果实的总酚和类黄酮含量始终显著高于对照 ($P<0.05$), 且 BABA 处理显著高于 BABA+CTS 处理 ($P<0.05$), CTS 处理果实的总酚和类黄酮含量始终显

著低于对照。表明 BABA 及 BABA+CTS 处理增加了果实总酚、类黄酮的含量, 而 CTS 降低了总酚、类黄酮的含量。

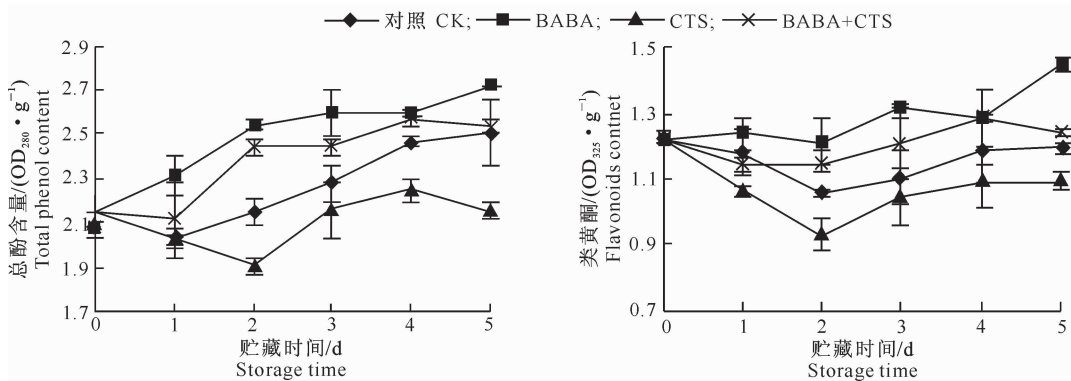


图 7 β -氨基丁酸(BABA)结合壳聚糖(CTS)处理对苹果总酚和类黄酮含量的影响

Fig. 7 Effects of BABA and CTS on total phenol contents and flavonoids contents of Fuji apple

3 讨 论

本试验经过前期预试验筛选出 0.75 g/L BABA 对苹果采后青霉病的防治效果最好。Zhang^[14]、汪跃华等^[7]研究表明,BABA 可以有效防治苹果和砂糖桔青霉病的发生。梁婷等^[15]研究表明,1.5% CTS 涂膜处理对红富士苹果的保鲜效果最好。田春莲等^[10]研究表明,在离体培养条件下,不同浓度 CTS 对柑橘绿霉病和青霉病 2 种病原菌都有一定的抑制能力。本试验研究了 0.75 g/L BABA 与 1.5% CTS 结合处理对苹果采后青霉病的防治效果是否优于其单独处理,结果表明,BABA 与 CTS 结合可以有效防治苹果采后青霉病的发生,但是防治效果较单独使用 BABA 差,而 CTS 单独处理反而加重了病害的发生。

植物及部分微生物产生的 CHT 可以降解病原真菌细胞壁中的几丁质,在植物抗真菌病害中起着重要的作用^[16]。在正常情况下,高等植物体中的 GLU 活性很低,而当植物体被真菌、细菌、病毒侵染或受到机械损伤时,其 GLU 含量和活性可提高几十倍至上百倍,以增强植物体对外界不良刺激产生抗性,特别是在与 CHT 的协同作用下,可明显抑制真菌生长。POD 参与酚的氧化反应并生成对病原菌毒性较高的醌类物质,同时参与木质素的合成,可使细胞壁增厚以抵御病原菌的侵入和扩展,从而抑制发病^[17]。PAL 是苯丙烷类代谢途径的关键酶和限速酶,其催化 L-苯丙氨酸直接脱氨产生反式肉桂酸,在木质素和酚类物质的合成中起重要作用,因而

与植物抗病性密切相关^[18]。天然酚类化合物是植物体内最丰富的次生代谢产物,具有抗氧化、杀菌、清除自由基、消炎等功能^[19]。这几种酶和生物物质在植物抵御病原菌侵染或者其他外界刺激的过程中起着至关重要的作用,是衡量植物抗病性强弱的重要指标。

本试验就 BABA 及 CTS 对苹果病害的防治机理进行了初步研究,结果表明,BABA 对苹果青霉病原菌菌丝的生长几乎没有影响,却显著提高了苹果果实中 CHT、GLU、POD、PAL 活性和总酚、类黄酮含量,这表明 BABA 是通过诱导果实的抗病性来防治病害发生的,而不是直接杀死病原菌;CTS 可以显著抑制病原菌菌丝的生长,却降低了这几种与抗病性有关的酶活性和生物物质含量;BABA 与 CTS 结合后不仅显著抑制了青霉病原菌菌丝的生长,也显著提高了果实中 CHT、GLU、POD、PAL 活性和总酚、类黄酮含量,但是二者结合对苹果病害的防治并没有起到协同增进的作用,可能是因为这 2 种不同物质结合产生了复杂的生理生化反应,这需要进一步研究。

Liu 等^[20]的研究结果表明,CTS 可以有效防治番茄采后青霉病和灰霉病的发生,并且显著提高了番茄果实中 PPO、POD 活性和总酚含量,这与本试验的研究结果不一致,可能与 CTS 的使用浓度不同有关。本试验采用的是 1.5% 的 CTS,可能由于 CTS 含量过高,反而加重了苹果采后病害的发生;也可能与 CTS 的脱乙酰度和相对分子质量有关,马鹏鹏等^[8]研究表明,分子质量在 50~200 ku 时,

CTS 对某些植物病原菌的抑菌效果随分子质量增加而降低。Liu 等^[21]研究认为,55~88 ku CTS 的抑菌效应随其分子质量的增加而降低,但其抑菌性均强于 88~155 ku。Qin 等^[22]研究认为,中等分子质量(约 50 ku)的 CTS 抑菌效果最好,50~400 ku CTS 抑菌效果较差,而水溶性低聚糖和 CTS 会促进细菌生长。马鹏鹏等^[23]认为,CTS 中的乙酰基有利于抑菌,但脱乙酰度值增加反而会降低 CTS 的抑菌活性。李美芹等^[24]分析了分子质量为 1 600 ku,脱乙酰度分别为 73%,80%,86%,90% 和 95% 的 CTS 对番茄叶霉病菌生长的抑制效果,发现 CTS 抑菌性随脱乙酰度的升高先增加后降低,且以脱乙酰度值为 86% 时效果最佳。本试验所采用的 CTS 脱乙酰度大于 90%,可能会导致抑菌性降低,还需要进一步探讨。

本试验只探讨了单一质量浓度 BABA 与单一质量分数 CTS 结合对苹果采后青霉病的防治效果,在以后的研究中还将进行正交试验,以确定两者结合的最佳浓度,并进一步探讨二者对青霉病害的防治机理。

4 结 论

1)0.75 g/L BABA 结合质量分数 1.5% CTS 处理虽然可以有效防治苹果采后青霉病的发生,但效果较单独使用 BABA 差,而 CTS 单独处理却加重了病害的发生。

2)0.75 g/L BABA 结合质量分数 1.5% CTS 处理可以有效防治病害的发生,是因为该处理不仅可以抑制病原菌菌丝的生长,也可以显著提高苹果果实中 CHT、GLU、POD、PAL 活性和总酚、类黄酮含量。

3)0.75 g/L BABA 对青霉病原菌菌丝的生长几乎没有影响,却显著提高了苹果果实中 CHT、GLU、POD、PAL 活性和总酚、类黄酮含量;质量分数 1.5% CTS 可以显著抑制病原菌菌丝的生长,却降低了这几种与抗病有关的酶的活性和生物物质的含量。

[参考文献]

[1] 张红印,蒋益虹,郑晓冬,等. 酵母菌对果蔬采后病害防治的研究进展 [J]. 农业工程学报,2003,19(4):23-27.
Zhang H Y, Jiang Y H, Zheng X D, et al. Research advances on the biological control of postharvest diseases of fruits and vegetables with yeast [J]. Transactions of the CSAE, 2003, 19(4): 23-27. (in Chinese)

[2] 李永才,尹 燕,陈松江,等. 热处理结合 β-氨基丁酸对苹果采后青霉病的控制 [J]. 食品科学,2011,32(6):265-269.
Li Y C, Yin Y, Chen S J, et al. Effect of hot water treatment combined with β-aminobutyric acid on incidence of blue mold rot disease in postharvest apple fruits [J]. Food Science, 2011, 32(6):265-269. (in Chinese)

[3] 杨志敏,毕 阳,李永才,等. 几种激发子处理对苹果采后青霉病的控制 [J]. 食品工业科技,2011,32(7):379-385.
Yang Z M, Bi Y, Li Y C, et al. Inhibiting effect of several elicitors treatment on blue mould of Pingguoli pea [J]. Science and Technology of Food Industry, 2011, 32(7):379-385. (in Chinese)

[4] Tian S P, Chan Z L. Potential of induced resistance in postharvest diseases control of fruits and vegetables [J]. Acta Phytopathologica Sinica, 2004, 34(5):385-394.

[5] 张永刚,范志金,刘秀峰,等. β-氨基丁酸诱导黄瓜抗黄瓜炭疽病筛选体系的构建 [J]. 农药,2006,45(4):239-242.
Zhang Y G, Fan Z J, Liu X F, et al. A screening system for β-aminobutyric acid induction on cucumber against colletotrichum lagenarium [J]. Agrochemicals, 2006, 45(4):239-242. (in Chinese)

[6] Ron P, Victor V, Batia W, et al. Induction of resistance to *Penicillium digitatum* in grapefruit by β-aminobutyric acid [J]. European Journal of Plant Pathology, 2003, 109(9):901-907.

[7] 汪跃华,徐兰英,庞学群,等. BABA 处理提高采后砂糖桔对青霉菌的抗病性 [J]. 食品科技,2011(3):34-37.
Wang Y H, Xu L Y, Pang X Q, et al. Postharvest BABA treatment induces resistance of mandarin (*Citrus reticulata* blanco cv. Shiyueju) fruit to *Penicillium digitatum* [J]. Food Science and Technology, 2011(3):34-37. (in Chinese)

[8] 马鹏鹏,何立千. 壳聚糖对植物病害的抑制作用研究进展 [J]. 天然产物研究与开发,2001,13(6):82-86.
Ma P P, He L Q. Progress of chitosan in suppression of plant disease [J]. Natural Product Research and Development, 2001, 13(6):82-86. (in Chinese)

[9] Erland L, Therése B, Lars Wand E A. Induced resistance in potato to *Phytophthora infestans*: Effects of BABA in greenhouse and field tests with different potato varieties [J]. European Journal of Plant Pathology, 2010, 127(2):171-183.

[10] 田春莲,陈阳波,刘 亮,等. 壳聚糖对柑橘青、绿霉病原菌的抑菌效果研究 [J]. 食品科学,2008,19(12):110-112.
Tian C L, Chen Y B, Liu L, et al. Bacteriostatic effects of Chitosan against *Penicillium italicum* Wehmer and *P. digitatum* Sacc [J]. Food Science, 2008, 19(12):110-112. (in Chinese)

[11] 黄雪玲,康振生. BTH 诱导小麦对小麦白粉病抗性的研究 [D]. 陕西杨凌:西北农林科技大学,2004.
Huang X L, Kang Z S. Benzothiadiazole-induced resistance in wheat against *Blumeria graminis* f. sp. *tritici* [D]. Yangling, Shaanxi: Northwest A&F University, 2004. (in Chinese)

[12] 曹建康,姜微波. 果蔬采后生理生化实验指导 [M]. 北京:中国轻工业出版社,2007:44-147.
Cao J K, Jiang W B. Postharvest fruit vegetables physiological

- and biochemical experiment guidance [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007; 44-147. (in Chinese)
- [13] 高俊凤. 植物生理学实验指导 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2006; 218-219.
- Gao J F. Plant physiological experiment guidance [M]. Beijing: Higher Education Press, 2006; 218-219. (in Chinese)
- [14] Zhang C F. Effects of β -aminobutyric acid on control of post-harvest blue mould of apple fruit and its possible mechanisms of action [J]. Postharvest Biology and Technology, 2011, 61: 145-151.
- [15] 梁 婷, 任园园, 祁岩龙, 等. 壳聚糖涂膜处理对红富士苹果贮藏品质和生理的影响 [J]. 新疆农业大学报, 2011, 34(3): 230-233.
- Liang T, Ren Y Y, Qi Y L, et al. Effect of chitosan coating on qualities and physiology of red Fuji apples at ambient storage [J]. Journal of Xinjiang Agricultural University, 2011, 34(3): 230-233. (in Chinese)
- [16] Chang W I, Chen C S, Wang S L. An antifungal chitinase produced by *Bacillus cereus* with shrimp and crab shell powder as a carbon source [J]. Current Microbiology, 2003, 47: 102-108.
- [17] 刘美迎, 周会玲, 吴主莲, 等. 纳他霉素复合涂膜剂对葡萄保鲜效果的影响 [J]. 农业工程学报, 2012, 28(10): 259-266.
- Liu M Y, Zhou H L, Wu Z L, et al. Effects of natamycin coating compounds on fresh-keeping of grape during storage [J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(10): 259-266. (in Chinese)
- [18] 弓志青, 刘春泉, 李大婧. 不同品种板栗贮藏过程中总酚与抗氧化活性研究 [J]. 中国食品学报, 2011, 11(1): 45-49.
- Gong Z Q, Liu C Q, Li D J. Total phenolic contents and antioxidant activity in different variety chestnuts during storage [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2011, 11(1): 45-49. (in Chinese)
- [19] 李胜海, 王 彬, 彭玉基, 等. 壳聚糖在果品贮藏保鲜中的应用进展 [J]. 食品研究与开发, 2008, 29(10): 111-114.
- Li S H, Wang B, Peng Y J, et al. Development of chitosan on fruit fresh-keeping and storage [J]. Food Research and Development, 2008, 29(10): 111-114. (in Chinese)
- [20] Liu J, Tian S P, Meng X H, et al. Effects of chitosan on control of postharvest diseases and physiological responses of tomato fruit [J]. Postharvest Biology and Technology, 2007, 44: 300-306.
- [21] Liu N, Chen X G, Park H J, et al. Effect of MW and concentration of chitosan on antibacterial activity of *Escherichia coli* [J]. Carbohydrate Polymers, 2006, 64: 60-65.
- [22] Qin C Q, Li H R, Liu Y, et al. Water-solubility of chitosan and its antimicrobial activity [J]. Carbohydrate Polymers, 2006, 63: 367-374.
- [23] 马鹏鹏, 何立千, 高天洲. 不同脱乙酰度壳聚糖对植物病原细菌的抑制作用研究 [J]. 北京联合大学学报: 自然科学版, 2003, 17(3): 28-31.
- Ma P P, He L Q, Gao T Z. The antibiotic activity of chitosan with different deacetylated degree [J]. Journal of Beijing Union University: Natural Sciences, 2003, 17(3): 28-31. (in Chinese)
- [24] 李美芹, 肖 慧, 孟祥红, 等. 壳聚糖对番茄叶霉病菌的抑制作用 [J]. 武汉大学学报: 理学版, 2007, 53(2): 244-248.
- Li M Q, Xiao H, Meng X H, et al. Anti-fungal activity of chitosan against *Fulvia fulva* (Cooke) Cifferri [J]. J Wuhan Univ: Nat Sci Ed, 2007, 53(2): 244-248. (in Chinese)

欢迎订阅 2014 年《中国粮油学报》

《中国粮油学报》2013 年成为美国《工程索引》(Engineering Index)源刊, 是中国科学技术协会主管、中国粮油学会主办的全国食品工业类中文核心期刊。主要刊载谷物、油脂化学、工艺学等方面的研究成果。栏目包括: 稻谷、小麦、玉米、大豆、杂粮、淀粉、蛋白、油脂、饲料、储藏、加工工艺、粮物流通、信息自动化、标准与检测方法及综述。

《中国粮油学报》是国内外公开发行的一级刊物, 邮发代号: 80-720; 国内统一刊号: CN 11-2864/TS; 国际标准连续出版物刊号: ISSN 1003-0174。月刊, 每月 25 日出版, 铜版印刷, 大 16 开 128 页, 每期定价 56 元, 全年定价 672 元(含平刷邮费)。

地址: 北京市西城区百万庄大街 11 号粮科大厦(100037)

银行汇款开户行: 交通银行北京百万庄支行, 户名: 中国粮油学会

账 号: 110060774018010013416

电 话: 010-68357510; 010-68357507

网 址: www.lyxuebao.net

E-mail: lyxuebao1@ccoonline.com; bjb@ccoonline.com