

伞形花内酯处理对美味猕猴桃果实品质和青霉病抗性的影响

郑 剑¹, 蒋镇焯¹, 戚雯焯¹, 潘 洁¹, 郑小林^{1,*}, 李博强^{2,*}

(¹浙江工商大学食品与生物工程学院, 浙江省果蔬保鲜与加工技术研究重点实验室, 杭州 310018; ²中国科学院植物研究所植物资源重点实验室, 北京 100093)

摘 要: 通过体外试验, 研究伞形花内酯对扩展青霉 (*Penicillium expansum*) 生长的影响; 同时以美味猕猴桃 ‘布鲁诺’ (*Actinidia deliciosa* ‘Bruno’) 为材料, 研究 0.5 mg · mL⁻¹ 伞形花内酯处理对猕猴桃果实品质和腐烂率, 以及果实损伤接种 *P. expansum* 后病斑直径和抗病相关酶活性及其基因表达的影响。结果表明, 伞形花内酯能够有效抑制 *P. expansum* 孢子萌发和菌落生长 (体外); 延缓猕猴桃果实可滴定酸和维生素 C 下降, 以及可溶性固形物含量上升, 降低果实的腐烂率; 降低贮藏后期果实损伤接种 *P. expansum* 后病斑直径, 延缓棒曲霉素的积累, 提高果肉几丁质酶 (CHT)、 β -1,3-葡聚糖酶 (GLU) 和苯丙氨酸解氨酶 (PAL) 的活性, 以及编码这些酶的基因相对表达量。结果表明伞形花内酯处理有助于保持猕猴桃采后果实品质, 并诱导提高果实对青霉病的抗性。

关键词: 猕猴桃; 果实; 伞形花内酯; 品质; 扩展青霉; 抗病性

中图分类号: S 663.4

文献标志码: A

文章编号: 0513-353X (2018) 04-0734-09

Effects of Umbelliferone Treatment on Quality and Disease Resistance to *Penicillium expansum* in Kiwifruit During Storage

ZHENG Jian¹, JIANG Zhenye¹, QI Wenyue¹, PAN Jie¹, ZHENG Xiaolin^{1,*}, and LI Boqiang^{2,*}

(¹College of Food & Biotechnology, Zhejiang Gongshang University, Key Laboratory of Fruit and Vegetables Postharvest and Processing Technology Research of Zhejiang Province, Hangzhou 310018, China; ²Key Laboratory of Plant Resources, Institute of Botany, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China)

Abstract: The effects of umbelliferone on controlling *Penicillium expansum* growth (*in vitro*) and on regulating the quality and disease resistance to *P. expansum* in kiwifruit (*Actinidia deliciosa* ‘Bruno’) were investigated. The results showed that, as compared with control, the spore germination and colony diameter of *P. expansum* were significantly reduced on potato dextrose broth (PDB) or potato dextrose agar (PDA) containing 0.5 or 1.0 mg · mL⁻¹ umbelliferone. Moreover, 0.5 mg · mL⁻¹ umbelliferone treatment slowed the decreases in titratable acid (TA) and vitamin C content, and the increase in soluble solid content (SSC), and reduced the natural decay incidence of kiwifruit during storage. Also, 0.5 mg · mL⁻¹ umbelliferone treatment significantly inhibited the progress of rot and patulin accumulation caused by *P.*

收稿日期: 2017-11-07; **修回日期:** 2018-04-03

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31371848); 国家重点研发计划课题 (2016YFD0400901); 浙江省食品科学与工程重中之重一级学科开放基金项目 (JYTsp20141102); 浙江工商大学研究生科研创新基金项目 (16020000376)

* 通信作者 Author for correspondence (E-mail: zheng9393@163.com, bqli@ibcas.ac.cn)

expansum, and induced increases in the activities of chitinase (CHT), β -1,3-glucanase (GLU), phenylalanine ammoniolyase (PAL), and up-regulated the expression of these defense-related enzymes in kiwifruit after inoculation of *P. expansum* suspension. Thus, it was suggested that the umbelliferone treatment could benefit the fruit quality and improved the disease resistance in kiwifruit against *P. expansum* during postharvest.

Keywords: kiwifruit; fruit; umbelliferone; quality; *Penicillium expansum*; disease resistance

猕猴桃是典型的呼吸跃变型果实, 采收后软化快, 由病原微生物侵染造成的腐烂是果实采后损失的主要原因 (Chan & Tian, 2005; Song et al., 2009)。扩展青霉 (*Penicillium expansum*) 容易从果实伤口及其他病原菌侵染点侵入, 过熟或长时贮藏的猕猴桃果实也易遭受 *P. expansum* 侵染, 发生青霉病 (Sommer et al., 1983; Hur et al., 2005)。 *P. expansum* 不仅导致果实腐烂, 而且产生真菌毒素——棒曲霉素而危及食品安全 (Neri et al., 2010)。将 4 种 *P. expansum* 菌株接种至苹果、梨、桃、杏、猕猴桃和草莓等果实中, 发现这些菌株能够引起所有果实青霉病害和棒曲霉素积累。Reddy 等 (2010) 研究发现接种 10 种 *P. expansum* 菌株, 都导致了猕猴桃果实腐烂和棒曲霉素积累。因此, 为了保障果品及其产品的品质和食用安全, 极有必要重视对青霉病及棒曲霉素控制的研究和检测。

伞形花内酯又名 7-羟基香豆素, 是一种香豆素类化合物, 属于多酚类物质。体外试验发现, 伞形花内酯对桃褐腐病菌、棉花红腐病菌、草莓灰霉病菌、辣椒炭疽病菌的生长均有抑制作用, 其最小抑制浓度 (The minimum inhibition concentration, MIC) 分别为 250、500、1 000 和 2 000 $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ (白雪娜 等, 2012)。赵磊等 (2012) 发现, 瑞香科狼毒属植物中的瑞香狼毒活性物质以伞形花内酯为主要成分, 能有效破坏草莓灰霉病菌孢子和菌丝体的形态结构。同时, 酚类化合物处理能有效控制苹果采后果实 *P. expansum* 病害和棒曲霉素的积累 (Sanzani et al., 2009)。王媛等 (2015) 发现多酚及植物精油对 *P. expansum* 生长和产毒有一定抑制作用。目前外源酚类物质能否控制猕猴桃采后青霉病的控制尚未见报道。研究伞形花内酯处理对猕猴桃果实品质和腐烂的影响, 特别是对果实刺伤接种 *P. expansum* 后抗病性的影响, 以期对猕猴桃采后果实品质和青霉病害控制提供理论依据。

1 材料与amp;方法

1.1 试验材料与处理

美味猕猴桃 ‘布鲁诺’ 果实于 2015 年 10 月 27 日采于浙江省温州市泰顺县尚进农业合作社猕猴桃种植基地。在扬花期后 160 d 采摘大小成熟度基本相同, 无病虫害, 无机械伤的果实, 当天运回杭州实验室 (大约 6 h)。

果实分别用清水 (对照) 和伞形花内酯 $0.5 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ (经预备试验从 0、0.5、1.0、1.5 和 $2.0 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 中确定的处理浓度, 伞形花内酯购买于阿拉丁试剂公司, 纯度为 99%) 溶液浸泡 10 min, 自然风干后分别放入已清洗消毒干净的塑料筐中, 筐外套上 0.05 mm 聚乙烯薄膜袋, 不封口, 置于 $(20 \pm 1) ^\circ\text{C}$ 恒温箱中 (型号: MIR-553), 每个筐 15 个果实, 对照和处理组各 24 筐。对照和处理组各固定 4 筐用于统计果实腐烂率, 每筐作为 1 个重复; 另取 4 筐用于取样测定果实的可溶性固形物 (SSC)、可滴定酸 (TA) 和维生素 C 的含量, 每 3 d 取样 1 次。

1.2 相关指标测定

1.2.1 伞形花内酯对 *P. expansum* 孢子萌发和菌落扩展影响的测定

参照朱玉燕等 (2015) 的方法制备 1.8×10^6 CFU · mL⁻¹ 的 *P. expansum* 孢子悬浮液待用。

孢子萌发率测定: 取 9 个 150 mL 锥形瓶, 3 个为 1 组分成 3 组, 分别含 0 (对照)、0.5 和 1.0 mg · mL⁻¹ 伞形花内酯溶液的 PDB 培养基, 每瓶 100 mL。每瓶加入 1 mL 孢子悬浮液, 在 25 °C 条件下 100 r · min⁻¹ 振荡培养 16 h, 然后在显微镜下观察, 统计其孢子萌发率。

体外菌落扩展测定: 经过 121 °C 灭菌的 PDA 培养基冷却至 45 ~ 55 °C 后, 倒入玻璃平皿, 每皿 20 mL。待冷却凝固后分别加入 200 μL 清水 (对照)、0.5 和 1.0 mg · mL⁻¹ 伞形花内酯溶液, 涂布均匀, 在平板中央放入直径 1 cm 的圆形滤纸片, 并在上面加入 200 μL 的孢子悬浮液, 在 28 °C 条件下培养。于培养 3、5、7 d 时用十字交叉法测定菌饼直径, 每组 5 个平板作为 5 次重复。

1.2.2 果实品质指标的测定

固定 4 筐, 每 3 d 从每筐取 3 个 (共 12 个果实), 去皮, 取不含种子的中部果肉, 切碎混匀。采用 Way-2S 数显阿贝折射仪 (上海彼爱姆光学仪器制造有限公司) 测定果肉的可溶性固形物 (SSC), 酸碱滴定法测定可滴定酸 (TA) 含量, 2,6 - 二氯酚靛酚滴定法测定维生素 C 含量。每个指标 3 次重复。

1.2.3 果实自然腐烂率的观测

对照和处理组各固定 4 筐, 每 3 d 观察 1 次发病情况, 果实可见腐烂病斑作为腐烂果实, 腐烂果实的百分率为果实自然腐烂率。

1.2.4 果实刺伤接种后病斑直径的测定

对照和处理组各 16 筐, 果实放置 48 h 后, 参照朱玉燕等 (2015) 的方法用灭菌的铁钉在果实赤道部位刺一个 3 mm × 3 mm 的伤口, 接种 15 μL 1.8×10^6 CFU · mL⁻¹ 的 *P. expansum* 孢子悬浮液, 继续贮藏 (20 ± 1) °C, 然后每 2 d 测定 1 次刺伤接种果实的病斑直径和果肉抗病相关酶活性的变化。

1.2.5 果肉中棒曲霉素的测定

分别取 5.0 g 腐烂果肉和距离病斑周围 5 ~ 15 mm 处的未腐烂果肉, 参考 Sanzani 等 (2009) 和朱玉燕等 (2015) 的方法测定腐烂果肉和未腐烂果肉的棒曲霉素含量。

1.2.6 果实刺伤接种后抗病相关酶活性的测定

分别从 15 个果中收集腐烂果肉和病斑外未腐烂果肉 (厚度约 2 cm), 切碎并混匀, 样品经液氮冷却后于 - 80 °C 保存备用。

CHT 的测定: 取 4 g 未腐烂果肉, 在 10 mL 0.1 mol · L⁻¹ 乙酸—乙酸钠提取缓冲溶液 (含 4% 的 PVP, 1 mmol · L⁻¹ 的聚乙二醇 6000, 1 mmol · L⁻¹ 的 EDTA, 0.05% 的 Triton X-100 和 5 mmol · L⁻¹ 的 β - 巯基乙醇, pH 5.2) 中冰浴研磨成匀浆, 然后在 4 °C, 10 000 × g 条件下离心 20 min, 取上清液置于冰浴中, 用于酶活性的测定 (Boller, 1983), 以单位时间单位果肉样品中的酶分解胶状几丁质生成 1 μmol N - 乙酰葡萄糖胺作为 1 个酶活性单位。

GLU 的测定: 取 1 g 未腐烂果肉, 在 5 mL 柠檬酸—磷酸氢二钠缓冲溶液 (pH 5.0) 中冰浴研磨成匀浆, 4 °C, 8 000 × g 条件下离心 30 min, 取上清液置于冰浴中, 用于酶活性的测定 (Abeles & Forrence, 1970), 以单位时间单位果肉样品中的酶分解昆布多糖生成 1 μmol 葡萄糖作为 1 个酶活性单位。

PAL 的测定: 取 2 g 未腐烂果肉, 在 5 mL 0.1 mol · L⁻¹ 硼酸—硼砂提取缓冲溶液 (含 40 g · L⁻¹ 的 PVP, 2 mmol · L⁻¹ 的 EDTA 和 5 mmol · L⁻¹ 的 β - 巯基乙醇, pH 8.8) 中冰浴研磨成匀浆, 4 °C,

12 000 × g 条件下离心 30 min, 取上清液置于冰浴中, 用于酶活性的测定 (曹建康 等, 2007), 以单位时间、单位果肉组织酶促反应体系吸光度值增加 0.01 为 1 个 PAL 活性单位。

1.2.7 果实损伤接种后抗病相关酶基因表达的测定

RNA 提取: 取 2 g 未腐烂果肉, 参考 Zhu 等 (2013) 的方法进行猕猴桃果肉总 RNA 提取。

逆转录试验: 用 SuperScript™ III First-Strand Synthesis Super Mix 进行逆转录试验。

Real-time PCR 检测: 用多重实时荧光定量 PCR 仪进行扩增, 引物及条件如表 1, 扩增总体积为 20 μL, 包括 8 μL SDW, 10 μL Power SYBR® Green Master Mix, 0.5 μL Forward Primer (10 μmol · L⁻¹), 0.5 μL Reverse Primer (10 μmol · L⁻¹) 和 1 μL cDNA; 反应条件: 95 °C 1 min; 40 个循环 (95 °C 15 s, 63 °C 25 s, 收集荧光); 55 ~ 95 °C 熔点曲线。

表 1 定量 PCR 引物序列及条件
Table 1 Real-time PCR primers and conditions

基因名称 Gene	引物序列 (5'→3') Primer sequence	扩增长度/bp Size	退火温度/°C Annealing temperature
<i>CHT</i>	F: GGCACCATCGGCACAGTTGA R: GGGGCACATGGGTAGTCAGTT	155	63
<i>GLU</i>	F: GCTGTCCCGTCTTGGAGAAATC R: GTTAAAGCCCGTGCCTCGTAC	91	63
<i>PAL</i>	F: GCCATGGCTGCTTATTGCTCTGA R: GGTGTGTTGCTCGGCACTTTG	82	63
<i>Actinidia 18S</i> (内参 Reference)	F: GCCCTATCAACTTTCGATGGTAGGA R: CCTGGATGTGGTAGCCGTTTCTCA	113	63

采用 Origin 9.0 和 SPSS 21.0 数据统计软件邓肯氏多重比较法进行统计分析, $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 伞形花内酯对 *P. expansum* 孢子萌发和菌落扩展的影响

伞形花内酯处理能够有效抑制 *P. expansum* 的孢子萌发率, 0.5 和 1.0 mg · mL⁻¹ 浓度处理的孢子萌发率分别为对照 (0 mg · mL⁻¹) 的 30.82% 和 20.24% (图 1, A)。 *P. expansum* 菌落直径随培养时间的延长而不断扩大, 但 0.5 和 1.0 mg · mL⁻¹ 浓度处理显著抑制了菌落直径的扩大 (图 1, B)。

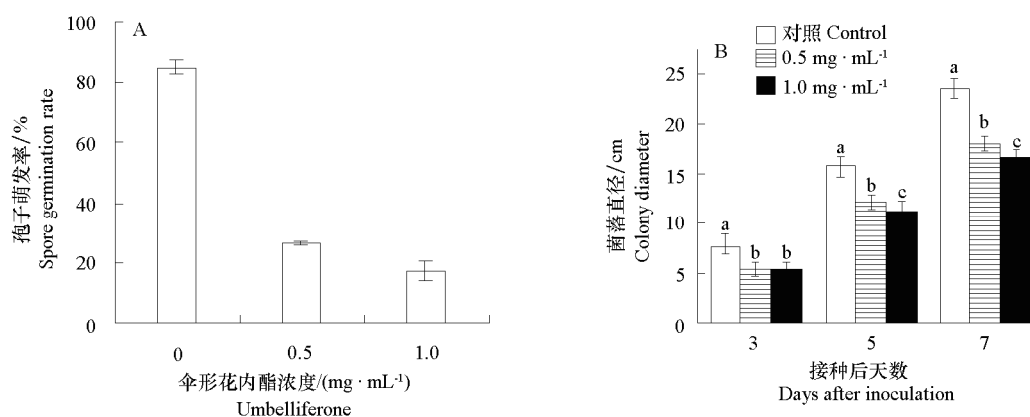


图 1 伞形花内酯对 *Penicillium expansum* 孢子萌发率 (A) 和菌落直径 (B) 的影响

Fig. 1 Effects of umbelliferone on spore germination rate of *Penicillium expansum* on PDB (A) and its colony diameter on PDA (B)

2.2 伞形花内酯处理对果实可溶性固形物、可滴定酸和维生素 C 含量的影响

果肉可溶性固形物含量在采后 1~7 d 不断增加, 之后对照果实的基本保持不变。在 4~10 d 贮藏期间, 伞形花内酯处理的果实可溶性固形物含量显著低于对照 (图 2, A)。

可滴定酸含量总体上呈现缓慢下降的趋势, 伞形花内酯处理果实在采后 4~10 d 显著高于对照 (图 2, B)。

伞形花内酯处理果实的维生素 C 含量在采后 4~10 d 显著高于对照 (图 2, C)。

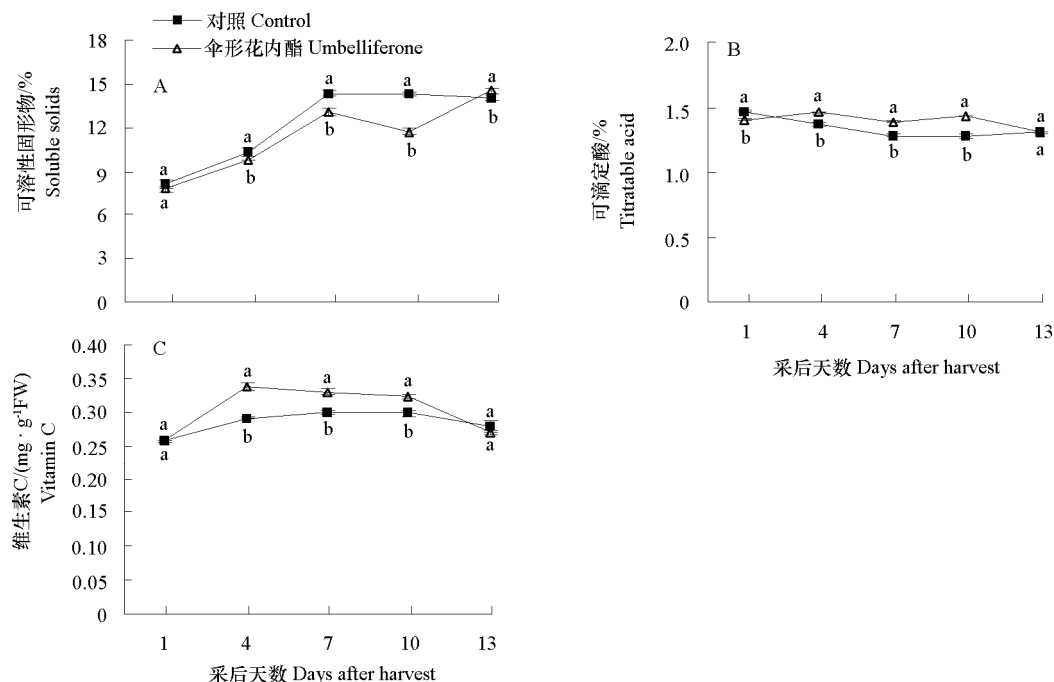


图 2 伞形花内酯处理对猕猴桃果实贮藏期间可溶性固形物 (A)、可滴定酸 (B) 和维生素 C (C) 含量的影响
Fig. 2 Effects of umbelliferone treatment on the contents of soluble solids (A), titratable acid (B), and vitamin C (C) in kiwifruit during storage

2.3 伞形花内酯处理对果实腐烂率、损伤接种后病斑直径的影响

对照和处理果实分别在采后 7 d 和 10 d 开始发生腐烂, 而后腐烂率不断增加, 但伞形花内酯处理果实的腐烂率显著低于对照 (图 3, A)。

果实接种 *P. expansum* 后 3 d 病斑直径开始扩大, 伞形花内酯处理的果实病斑直径在接种后 5~9 d 显著小于对照 (图 3, B)。

2.4 伞形花内酯处理对果肉中棒曲霉素含量积累的影响

分别于果实损伤接种 *P. expansum* 后 3 d 和 5 d 检测到棒曲霉素, 腐烂果肉的棒曲霉素含量是未腐烂果肉的近百倍 (图 4)。在腐烂果肉中, 伞形花内酯处理在贮藏期间不断增加, 而对照的棒曲霉素含量急剧增加在接种后 5 d 达到峰值, 之后降低又增加; 腐烂果肉中的棒曲霉素含量接种后 3~5 d 显著低于对照, 9 d 显著高于对照 (图 4, A)。在未腐烂果肉中, 棒曲霉素含量随着贮藏时间的增加总体上呈上升趋势, 但处理果实在接种后 5 d 和 9 d 显著低于对照; 其中, 9 d 时处理果实的棒曲霉素含量为 $0.20 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$, 比对照果肉减少了 36.49% (图 4, B)。

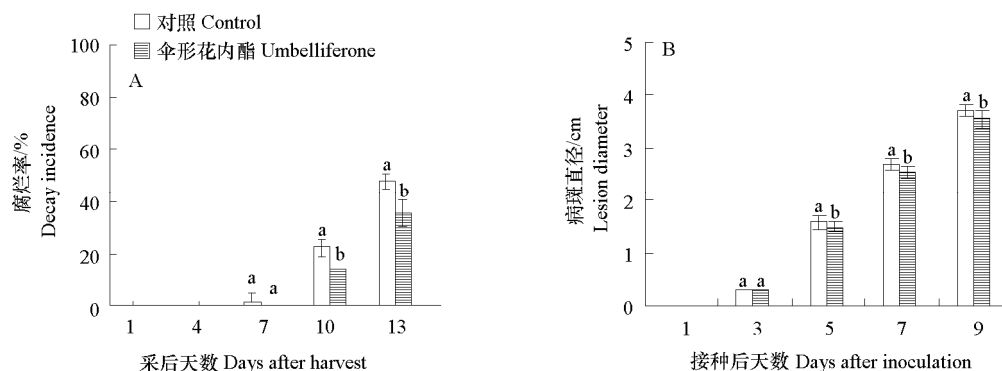


图 3 伞形花内酯处理对猕猴桃果实自然腐烂率 (A) 和果实损伤接种 *Penicillium expansum* 后病斑直径 (B) 的影响
Fig. 3 Effects of umbelliferone treatment on decay incidence (A) and lesion diameter (B) in kiwifruit with inoculation of *Penicillium expansum* during storage

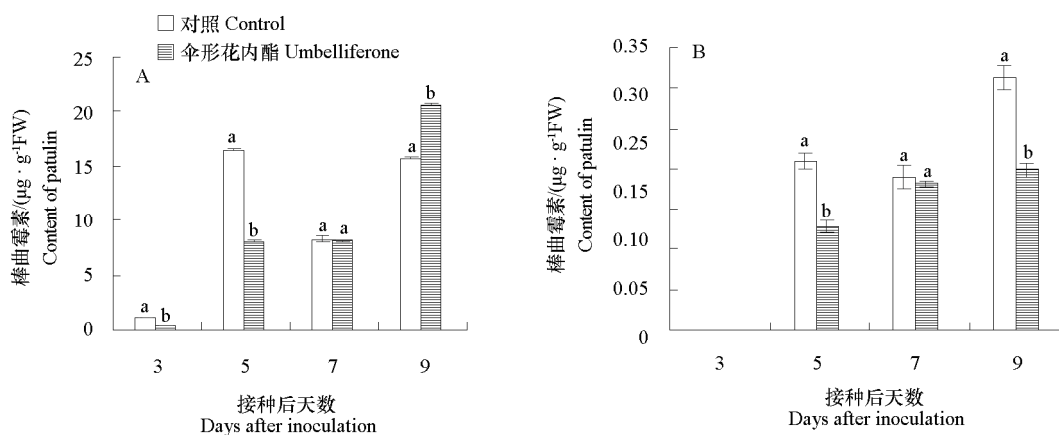


图 4 伞形花内酯处理对猕猴桃果实损伤接种 *Penicillium expansum* 后腐烂果肉 (A) 和病斑外未腐烂果肉 (B) 棒曲霉素含量的影响
Fig. 4 Effects of umbelliferone treatment on patulin accumulated of rotten part (A) and non-decayed part (B) in kiwifruit with inoculation of *Penicillium expansum* during storage

2.5 伞形花内酯处理对损伤接种 *P. expansum* 后果肉抗病相关酶活性的影响

对照和处理组果实的 CHT 活性急剧增加并在接种后 3 d 到达峰值, 而后不断降低; 处理果实在接种后 3~9 d 显著高于对照 (图 5)。

对照和处理组果实的 GLU 活性急剧增加并在接种后 7 d 到达峰值, 而后降低; 处理果实在接种后 3~7 d 显著高于对照 (图 5)。

对照和处理组果实的 PAL 活性大致呈增加趋势; 且处理果实在贮藏期间显著高于对照 (图 5)。

2.6 伞形花内酯处理对损伤接种 *P. expansum* 后果肉抗病相关酶基因表达的影响

随着贮藏时间的延长, CHT、GLU 和 PAL 基因相对表达量急剧增加, 但伞形花内酯处理分别在接种后 5~9 d、5~7 d 和 3~9 d 显著高于对照 (图 5)。

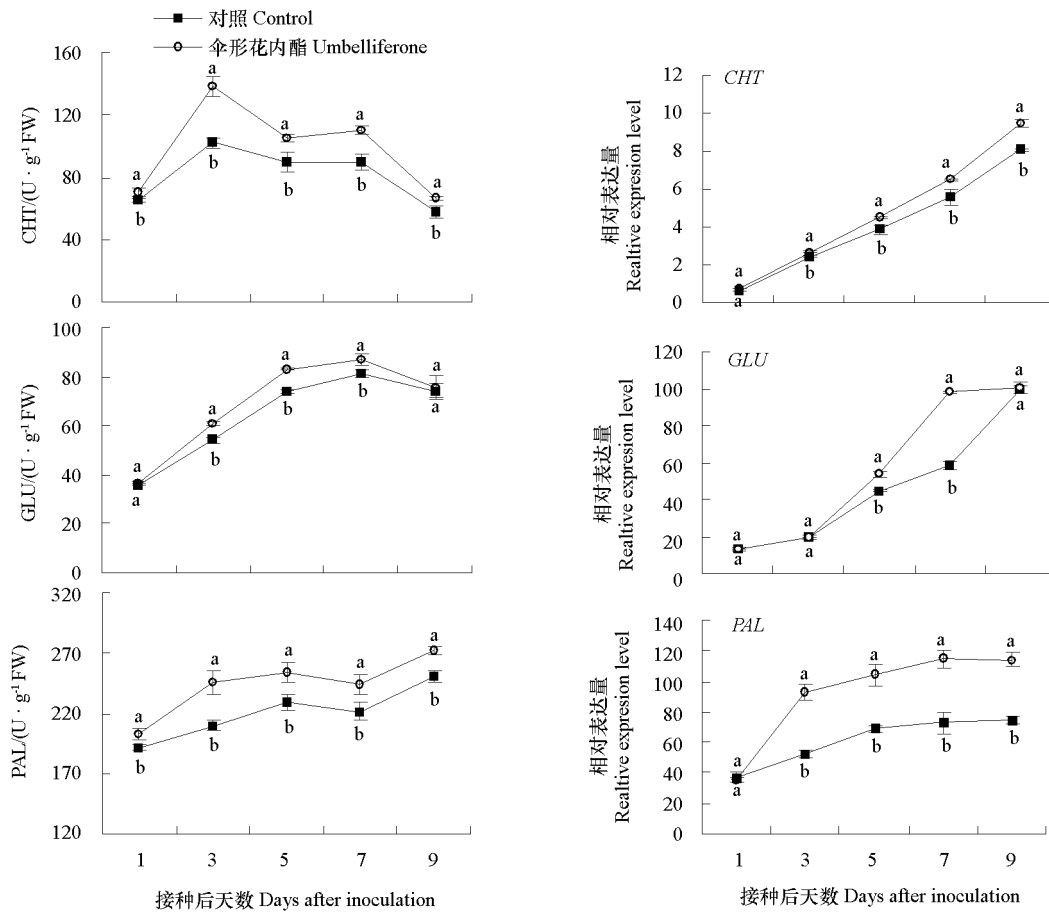


图5 伞形花内酯处理对猕猴桃果实损伤接种 *Penicillium expansum* 后果肉 CHT、GLU 和 PAL 活性 (左) 及其基因相对表达量 (右) 的影响

Fig. 5 Effects of umbelliferone treatment on activities (left) and relative gene expression level (right) of CHT, GLU and PAL in the flesh of kiwifruit with inoculation of *Penicillium expansum* during storage

3 讨论

可溶性固形物、可滴定酸含量是衡量果实最常规的营养指标, 维生素 C 含量是衡量猕猴桃果实品质的最重要指标。在常温贮藏下, 伞形花内酯处理有效抑制了猕猴桃果实可溶性固形物增加和可滴定酸降低, 并有助于保持维生素 C。表明伞形花内酯处理有助于保持猕猴桃果实采后的营养品质。

酚类物质作为植物中常见的次级代谢产物, 具有抗氧化作用, 而且对很多病原菌都有抗菌性 (Mahmoudi et al., 2016)。本试验结果表明 0.5 和 1.0 mg · mL⁻¹ 伞形花内酯有效抑制了 *P. expansum* 孢子萌发和菌落扩展; 同时, 0.5 mg · mL⁻¹ 伞形花内酯处理显著降低了猕猴桃果实的腐烂率, 抑制了损伤接种 *P. expansum* 后病情的发展。表明伞形花内酯能够有效抑制 *P. expansum* 等病原菌的生长, 从而降低果实采后腐烂率, 这与 Sanzani 等 (2009) 在苹果上的研究结果一致。

棒曲霉素作为一种有毒的真菌次级代谢产物, 主要由青霉菌属 (*Penicillium*)、丝衣霉属 (*Byssochlamys*)、曲霉属 (*Aspergillus*) 等多种真菌产生 (Ciegler, 1978)。腐烂果肉的棒曲霉素含量变化与其生物合成、降解和扩散, 以及病斑扩展相关。本试验中发现猕猴桃果实接种 *P. expansum*

3 d 后, 果实病斑扩展和腐烂果肉中棒曲霉素含量急剧增加, 而 5 d 后病斑不断扩展, 但棒曲霉素含量变化与病情发展并不同步, 说明 *P. expansum* 侵染果实后其产毒能力可能在前阶段较强, 7 d 时棒曲霉素含量降低可能是病斑扩展速率高于 *P. expansum* 的产毒速率而引起的稀释效应, 9 d 时又增加可能是棒曲霉素的累积效应。研究表明: 棒曲霉素可从苹果腐烂果肉中向未腐烂果肉中扩散并积累 (Bandoh et al., 2009), 而果实中维生素 C 和硫醇类等化合物对棒曲霉素具有一定的降解消除作用 (Neri et al., 2010)。本试验中发现: 猕猴桃未腐烂果肉在接种 *P. expansum* 5 d 时检测到了棒曲霉素, 但其含量水平远远低于腐烂果肉中的含量。表明棒曲霉素同样可从猕猴桃腐烂果肉向未腐果肉扩散, 但在未腐烂果肉中累积的效应不明显, 是因为棒曲霉素向猕猴桃未腐烂果肉扩散效率低, 还是果肉维生素 C 对棒曲霉素的降解, 这还需进一步研究。另外, 接种 *P. expansum* 后, 伞形花内酯处理果实腐烂果肉的棒曲霉素含量在 5 d 时显著低于对照, 在 9 d 时却显著高于对照, 说明伞形花内酯处理可抑制 *P. expansum* 侵染后前期的产毒能力, 缓解棒曲霉素在果肉中累积的速率。

植物受到病原菌侵染时产生一些病程相关蛋白来抵御其进一步的侵染, 其中 CHT 和 GLU 是两类重要的病程相关蛋白, 在抗病过程中发挥重要的作用。因为 CHT 能够降解大多数病原菌的细胞壁, 具有直接的抑菌作用 (Ji & Kuc, 1996; Mauch et al., 1988); GLU 能够降解病原菌菌丝细胞壁上的 β -1,3-葡聚糖, 间接起到抗病作用 (Ward et al., 1991)。PAL 是苯丙烷代谢途径的关键酶之一, 对植物抵抗病原菌的侵害有着重要的作用 (Wilson, 1998)。与对照相比, 伞形花内酯处理显著提高了美味猕猴桃‘布鲁诺’果实损伤接种 *P. expansum* 后果肉 CHT、GLU 和 PAL 等抗病相关酶活性及其基因相对表达量。说明伞形花内酯能够诱导提高美味猕猴桃果实对 *P. expansum* 的抗性, 进而抑制果实病情的发展。

为了明确伞形花内酯处理在猕猴桃果实贮藏保鲜中的应用, 有关伞形花内酯处理对猕猴桃果实采后主要病害的抑制效应, 以及对红阳、金艳及金魁等猕猴桃品种果实采后品质和病害的作用效应尚需进一步研究。

References

- Abeles F B, Forrence L E. 1970. Temporal and hormonal control of β -1,3-glucanase in *Phaseolus vulgaris* L. *Plant Physiology*, 45 (4): 395 - 400.
- Bai Xue-na, Bu chun-ya, Gu Ji-cheng, Liang Wei, Shi Guang-lu, Wang You-nian. 2012. Antifungal activity of umbelliferone to plant pathogenic fungi. *Plant Protection*, 38 (2): 42 - 45. (in Chinese)
- 白雪娜, 卜春亚, 谷继成, 梁 为, 师光禄, 王有年. 2012. 伞形花内酯对植物病原真菌的抑制作用. *植物保护*, 38 (2): 42 - 45.
- Bandoh S, Takeuchi M, Ohsawa K, Higashihara K, Kawamoto Y, Goto T. 2009. Patulin distribution in decayed apple and its reduction. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 63 (4): 379 - 382.
- Boller T, Gehri A, Mauch F, Vogeli U. 1983. Chitinase in bean leaves: induction by ethylene, purification, properties, and possible function. *Planta*, 157 (1): 22 - 31.
- Cao Jian-kang, Jiang Wei-bo, Zhao Yu-mei. 2007. Experiment guidance of postharvest physiology and biochemistry of fruits and vegetables. Beijing: China Light Industry Press. (in Chinese)
- 曹建康, 姜微波, 赵玉梅. 2007. 果蔬采后生理生化实验指导. 北京: 中国轻工业出版社.
- Chan Z L, Tian S P. 2005. Interaction of antagonistic yeasts against postharvest pathogens of apple fruit and possible mode of action. *Postharvest Biology and Technology*, 36 (2): 215 - 223.
- Ciegler A. 1978. Fungi that produce mycotoxins: conditions and occurrence. *Mycopathologia*, 65 (1): 5 - 11.
- Hur J S, Oh S O, Lim K M, Jung J S, Kim J W, Koh Y J. 2005. Novel effects of TiO₂ photocatalytic ozonation on control of postharvest fungal spoilage of kiwifruit. *Postharvest Biology and Technology*, 35 (1): 109 - 113.
- Ji C, Kuc J. 1996. Antifungal activity of cucumber β -1,3-glucanase and chitinase. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 49 (4): 257 - 265.

- Mahmoudi S, Khali M, Benkhaled A, Benamirouche K, Baiti I. 2016. Phenolic and flavonoid contents, antioxidant and antimicrobial activities of leaf extracts from ten Algerian *Ficus carica*, L. varieties. Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine, 6 (3): 239 - 245.
- Mauch F, Mauchmani B, Boller T. 1988. Antifungal hydrolases in pea tissue: II. Inhibition of fungal growth by combinations of chitinase and beta-1,3-glucanase. Plant Physiology, 88 (3): 936 - 942.
- Neri F, Donati I, Veronesi F, Mazzoni D, Mari M. 2010. Evaluation of *Penicillium expansum*, isolates for aggressiveness, growth and patulin accumulation in usual and less common fruit hosts. International Journal of Food Microbiology, 143 (3): 109 - 117.
- Reddy K R N, Spadaro D, Lore A, Gullino M L, Garibaldi A. 2010. Potential of patulin production by *Penicillium expansum* strains on various fruits. Society for Mycotoxin Research and Springer, 26 (4): 257 - 265.
- Sanzani S M, Girolamo A D, Schena L, Solfrizzo M, Ippolito A, Visconti A. 2009. Control of *Penicillium expansum* and patulin accumulation on apples by quercetin and umbelliferone. European Food Research and Technology, 228 (3): 381 - 389.
- Sommer N F, Fortlage R J, Edwards D C. 1983. Minimizing postharvest diseases of kiwifruit. California Agriculture, 37: 16 - 18.
- Song L L, Gao H Y, Chen H J, Mao J L, Zhou Y J, Chen W X, Jiang Y M. 2009. Effects of short-term anoxic treatment on antioxidant ability and membrane integrity of postharvest kiwifruit during storage. Food Chemistry, 114 (4): 1216 - 1221.
- Wang Yuan, Yuan Ya-hong, Yang Li-xia, Luo Ying, Wang Ling, Zhang Zhi-wei, Yue Tian-li. 2015. Study on the effect of polyphenol and essential oil on the growth and patulin production of *Penicillium expansum*. Journal of Food Safety and Quality, 6 (7): 2702 - 2707. (in Chinese)
- 王 媛, 袁亚宏, 杨丽霞, 骆 莹, 王 玲, 张志伟, 岳田利. 2015. 多酚及植物精油对扩展青霉生长及展青霉素生成的抑制作用研究. 食品安全质量检测学报, 6 (7): 2702 - 2707.
- Ward E R, Payne G B, Moyer M B, Williams S C, Dincher S S, Sharkey K C, Beck J J, Taylor H T, Ahlgoy P, Meins F, Ryals J A. 1991. Differential regulation of β -1,3-glucanase messenger RNAs in response to pathogen infection. Plant Physiology, 96 (2): 390 - 397.
- Wilson J P. 1998. Fungal pathogenesis in plants and crops. Molecular biology and host defense mechanics. Crop Protection, 17 (3): 267.
- Zhao Lei, Du Juan, Bu Chun-ya, Wang You-nian, Shi Guang-lu. 2012. Antifungal activity of extracts of *Stellera chamaejasme*, against *Botrytis cinerea*. Acta Phytopathologica Sinica, 42 (4): 411 - 417. (in Chinese)
- 赵 磊, 杜 娟, 卜春亚, 王有年, 师光禄. 2012. 瑞香狼毒活性物质对草莓灰霉病菌的抑制作用. 植物病理学报, 42 (4): 411 - 417.
- Zhu Yu-yan, Wu Bo-long, Jiang Tian-jia, Zheng Xiao-lin. 2015. Effects of exogenous oxalic acid on *Penicillium expansum* growth and patulin accumulation in harvest kiwifruit. Journal of Fruit Science, 32 (2): 298 - 303. (in Chinese)
- 朱玉燕, 邬波龙, 姜天甲, 郑小林. 2015. 外源草酸对猕猴桃采后果实扩展青霉生长及展青霉素积累的影响. 果树学报, 32 (2): 298 - 303.
- Zhu Z, Liu R L, Li B Q, Tian S P. 2013. Characterization of genes encoding key enzymes involved in sugar metabolism of apple fruit in controlled atmosphere storage. Food Chemistry, 141: 3323 - 3328.