

茉莉酸甲酯调控防御酶活性诱导猕猴桃果实抗采后软腐病

盘柳依¹, 赵显阳¹, 陈明¹, 付永琦¹, 向妙莲^{1*}, 陈金印^{1,2}

(1. 江西农业大学农学院, 江西省果蔬采后处理关键技术与质量安全协同创新中心, 江西省果蔬保鲜与无损检测重点实验室, 南昌 330045; 2. 萍乡学院, 萍乡 337055)

摘要 以‘金魁’猕猴桃果实为试验材料, 研究茉莉酸甲酯(methyl jasmonate, MeJA)调控防御酶活性抗猕猴桃采后软腐病的效应。测定了 MeJA 对猕猴桃软腐病斑直径、软腐病菌 *Botryosphaeria dothidea* 抑菌作用及超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)、抗坏血酸过氧化物酶(APX)和多酚氧化酶(PPO)等防御酶活性的影响。结果表明:在 0.001~10 mmol/L 浓度范围内, MeJA 对猕猴桃软腐病菌 *B. dothidea* 的抑制作用随浓度升高而增强; MeJA 对猕猴桃果实最佳诱导浓度和熏蒸时间分别为 0.1 mmol/L 和 24 h, 其诱导效果分别为 26.01% 和 26.85%; 猕猴桃果实经 0.1 mmol/L MeJA 熏蒸处理 24 h 后, SOD、POD、CAT、APX 和 PPO 活性提高, 其中 SOD 和 POD 活性分别较对照增加 33.85% 和 61.61%, 差异达显著水平 ($P < 0.05$)。以上结果暗示 MeJA 诱导猕猴桃果实抗采后软腐病可能与其提高防御酶活性有关。

关键词 茉莉酸甲酯; 猕猴桃; 软腐病; 诱导抗病; 防御酶

中图分类号: S 436.634 **文献标识码:** A **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2018172

Regulation of defense enzymes by methyl jasmonate to induce the resistance of kiwifruits against soft rot

PAN Liuyi¹, ZHAO Xianyang¹, CHEN Ming¹, FU Yongqi¹, XIANG Miaolian¹, CHEN Jinyin^{1,2}

(1. College of Agronomy, Jiangxi Agricultural University, Collaborative Innovation Center of Postharvest Key Technology and Quality Safety of Fruits and Vegetables in Jiangxi Province, Jiangxi Key Laboratory for Postharvest Technology and Non-destructive Testing of Fruits & Vegetables, Nanchang 330045, China; 2. Pingxiang University, Pingxiang 337055, China)

Abstract In this study, ‘Jinkui’ kiwifruits were used to investigate the effects of methyl jasmonate (MeJA) regulating the activities of defense enzymes on the induced resistance to soft rot (*Botryosphaeria dothidea*) of postharvest kiwifruit. The inhibition effects of MeJA against *B. dothidea* and the disease spot diameters as well as the activities of the related defense enzymes, including superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), peroxidase (POD), ascorbic acid peroxidase (APX) and polyphenol oxidase (PPO), were measured. The results showed that the inhibition effects of MeJA on *B. dothidea* increased with increasing concentration in the range of 0.001–10 mmol/L. In MeJA induction experiments, it was found that the best MeJA treatment concentration and duration were 0.1 mmol/L and 24 h, with an inductive effect of 26.01% and 26.85%, respectively. The activities of SOD, CAT, POD, APX and PPO in fruits treated with 0.1 mmol/L MeJA for 24 h were increased and the SOD and POD activities were significantly enhanced by 33.85% and 61.61% compared with those of the control ($P < 0.05$). These results indicated that the increased activities of defense enzymes might be involved in the resistant reactions of MeJA to soft rot in postharvest kiwifruits.

Key words methyl jasmonate; kiwifruit; soft rot; induced resistance; defense enzyme

收稿日期: 2018-04-20 修订日期: 2018-05-26

基金项目: 江西省果蔬采后处理关键技术及质量安全协同创新中心项目(JXGS-03); 江西省教育厅科学技术研究项目(GJJ160355); 江西省教育厅青年科学基金(GJJ13255)

* 通信作者 E-mail: mlxiang2010@126.com

猕猴桃果实皮薄汁多、质地柔软,在采收和贮运期间极易腐烂,其中软腐病是导致我国四川、陕西和江西等猕猴桃果实贮藏腐烂的关键原因之一^[1]。猕猴桃软腐病主要致病菌有葡萄座腔菌 *Botryosphaeria dothidea* 和拟茎点霉 *Phomopsis* sp. 等,病菌通过果皮或从果面伤口侵入果实,果实发病率高达 50% 左右,品质严重下降,造成巨大的经济损失^[2]。控制猕猴桃果实腐烂的发生是减少其采后流通过程商品价值损失的核心问题^[2-3]。目前猕猴桃果实采后腐烂的控制主要采用化学杀菌剂,但其给食品安全和环境保护带来潜在隐患^[4]。利用物理、化学或生物的方法诱导提高果实自身抗病性从而减轻腐烂的发生已成为采后病害控制的研究热点^[5-6]。

茉莉酸甲酯(methyl jasmonate, MeJA)是从素馨花 *Jasminum grandiflorum* 香精油中分离获得的一种植物内源生长调节物质,在植物生长发育和应激反应研究中发挥重要作用^[7]。外源 MeJA 作为重要逆境胁迫信号物质可诱导植物产生系列免疫响应,激发植物抗逆蛋白和防御基因表达。超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)和抗坏血酸过氧化物酶(APX)等防御酶是采后果实重要的活性自由基清除酶;PPO 通过催化木质素及醌类物质形成,产生抵御病菌侵入的保护屏障。研究表明,MeJA 通过调控 SOD、CAT、POD、APX 和 PPO 等防御酶活性,诱导梨^[8]、芒果^[9]、蓝莓^[10]和李^[11]等防御蛋白和木质素等抗病物质的合成并活化抗氧化代谢途径,增强果实的抗逆性,从而有效抵御病原菌的侵入,降低果实采后腐烂。在果蔬贮藏过程中,采后果实贮藏品质和抗病能力的评价与防御酶活性密切相关^[12],其相关酶活性高低是果实贮藏质量和品质衰老的重要参考指标^[13]。

前人大量研究表明,MeJA 在果实采后病害控制研究中发挥积极作用,但少有诱导猕猴桃抗采后软腐病的报道。本课题组在前期预备试验中发现 MeJA 熏蒸处理可有效诱导猕猴桃果实抗采后软腐病,因此本研究以‘金魁’猕猴桃果实为试验材料,筛选 MeJA 的合适处理浓度和时间,并分析 MeJA 诱导猕猴桃抗软腐病的效应与防御酶活性的关系,为猕猴桃果实采后软腐病的防治提供理论依据和技术参考。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试材料为‘金魁’猕猴桃 *Actinidia deliciosa*

‘Jinkui’果实,采自江西省奉新县农业局猕猴桃试验基地。当果实可溶性固形物含量达到 6.5%~7.0% 时采收,当日运抵实验室,选择大小均匀、无病虫害、无机械损伤的果实,发汗 24 h 后待用。

葡萄座腔菌 *Botryosphaeria dothidea* 由江西省果蔬采后处理关键技术与质量安全协同创新中心提供。使用前接种于 PDA 培养基上于 28℃ 活化 3~5 d,待用。

MeJA 购自美国 Sigma 公司,纯度 98%,以少量 0.1% 吐温-80 溶解,再用蒸馏水配成 10 mmol/L 的溶液,备用。

1.2 MeJA 对 *B. dothidea* 的抑菌作用

采用生长速率法。配制 MeJA 浓度为 0、0.001、0.01、0.1、1 和 10 mmol/L 的 PDA 培养基,在 *B. dothidea* 培养平板边缘用直径 7 mm 打孔器取菌饼,将其分别放置于含不同 MeJA 浓度的培养基中央,使带菌面与培养基充分接触,28℃ 恒温培养箱培养,逐日观察记录,待对照组病菌快长满培养皿时用游标卡尺测量病斑直径(约 5~7 d)。以蒸馏水 PDA 培养基为空白对照,同时做以含 0.1% 吐温-80 的蒸馏水 PDA 培养基对照,每个浓度重复 3 次,按以下公式计算抑制率:

$$\text{抑菌率} = \left[\frac{\text{空白对照病斑直径} - \text{处理病斑直径}}{\text{空白对照病斑直径}} \right] \times 100\%$$

1.3 猕猴桃果实接种 *B. dothidea*

猕猴桃果实表面经 75% 乙醇消毒后用无菌挑针刺破赤道部表皮,将直径 7 mm 的菌丝块置伤口处,表面覆盖棉球(无菌水湿润)保湿,相对湿度保持在 90%~95%,25~28℃ 恒温培养 5 d,测定果实病斑直径。

1.4 MeJA 诱导猕猴桃果实抗软腐病的效应

1.4.1 MeJA 诱导猕猴桃果实抗软腐病的浓度筛选

称取适量 MeJA 于灭菌滤纸片置密闭熏蒸室,使其浓度分别为 0、0.001、0.01、0.1 和 1 mmol/L,20℃ 下熏蒸处理猕猴桃果实。对照为无菌蒸馏水,每处理 15 个果实,3 次重复。24 h 后置超净工作台上通风 2 h 后接种。各处理接种方法同 1.3。根据下列公式计算 MeJA 对猕猴桃果实软腐病的诱导效果。

$$\text{诱导效果} = \left[\frac{\text{对照组病斑直径} - \text{处理组病斑直径}}{\text{对照组病斑直径}} \right] \times 100\%$$

1.4.2 MeJA 诱导猕猴桃果实抗软腐病的持续时间

猕猴桃果实用 0.1 mmol/L MeJA 于接种前 0、

12、24、48、72 h 熏蒸处理。其他方法同 1.3。测定 MeJA 诱导猕猴桃果实软腐病的抗性持久期。

1.4.3 MeJA 熏蒸处理与接种顺序对猕猴桃果实抗软腐病的影响

试验分以下 4 组处理。A 组:猕猴桃果实接种软腐病菌,作为试验对照(CK);B 组:猕猴桃果实先接种软腐病菌,24 h 后再用 0.1 mmol/L 的 MeJA 熏蒸;C 组:猕猴桃果实用 0.1 mmol/L 的 MeJA 熏蒸同时接种软腐病菌;D 组:猕猴桃果实先用 0.1 mmol/L 的 MeJA 熏蒸,24 h 后再接种软腐病菌;其余方法同 1.3。

1.5 防御酶活性测定

参考 1.4.1 方法,用浓度为 0.001、0.01、0.1 和 1 mmol/L MeJA 熏蒸处理猕猴桃果实,24 h 后接种 *B. dothidea*, 25~28℃ 恒温培养 5 d 后取病斑周围 10~15 mm 的果肉。以含 0.1% 吐温-80 为对照,每处理 3 次重复,每重复取样 15 个果实(混合取样法),用液氮将所取样品研磨成粉末,分装成 1.0~2.0 g/管后,立即置-80℃ 保存备用。

SOD 活性采用 NBT 还原法;POD 活性采用愈创木酚法;APX 活性、PPO 活性和 CAT 活性采用紫外比色法,上述测定指标以每克果实样品(鲜重)每分钟吸光度变化值为酶活性单位(U),具体参考曹建康等^[14]的方法。

1.6 数据处理与统计分析

采用 Excel 2013 和 DPS 软件对数据进行处理和分析,用单因素方差分析统计各处理平均值的差异,Duncan 氏新复极差法比较各处理间的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 MeJA 对 *B. dothidea* 的抑制作用

由表 1 可知,浓度为 0.001~10.0 mmol/L MeJA 对 *B. dothidea* 均有一定的抑制作用,抑菌效果随浓度的增大而增强。与空白对照相比,0.1% 吐温-80 抑菌率仅为 0.23%,0.001 mmol/L MeJA 抑菌率为 7.16%,当 MeJA 浓度增大至 10.0 mmol/L 时,对 *B. dothidea* 的抑菌率达 100%。

2.2 MeJA 对猕猴桃果实抗采后软腐病的诱导效应

MeJA 不同处理诱导猕猴桃果实抗采后软腐病的效果见表 2。0.001~1.0 mmol/L MeJA 熏蒸后,与对照相比,MeJA 处理浓度为 0.01~1 mmol/L

时,其诱导效果先上升后下降。0.001 mmol/L MeJA 处理组诱导效果为 3.77%,当 MeJA 浓度为 0.1 mmol/L 时,诱导效果达最高值 26.01%,随后诱导效果逐渐降低。

表 1 MeJA 对猕猴桃软腐病菌的抑制作用¹⁾

Table 1 Inhibition effects of MeJA against *Botryosphaeria dothidea*

MeJA 浓度/mmole · L ⁻¹ Concentration	抑菌率/% Inhibitory rate
CK	0 f
0.1% 吐温-80	(0.23±1.83)f
0.001	(7.16±2.49)e
0.01	(23.56±3.12)d
0.1	(56.35±1.83)c
1.0	(83.37±1.83)b
10	(100.00±0.00)a

1) 数据为平均值±标准误。同列数据后不同小写字母表示处理间经 Duncan 氏新复极差法检验,在 $P < 0.05$ 水平差异显著。下同。

Data in the table are mean±SE. Different lowercase letters in the same column indicate significant difference at the 0.05 level by Duncan's multiple range test. The same below.

0.1 mmol/L MeJA 于接种前 12~72 h 处理猕猴桃果实,接种前 12 h 熏蒸处理病斑直径与对照差异不显著($P < 0.05$),诱导效果仅为 3.70%;接种前 24、48、72 h 熏蒸组病斑直径显著低于对照,其中以接种前 24 h 诱导处理最好,其效果达 26.85%,与其他处理组差异达显著水平($P < 0.05$)。

如表 2 所示,MeJA 熏蒸处理与接种顺序对猕猴桃果实抗软腐病影响显著($P < 0.05$)。MeJA 诱导处理后再接种软腐病菌(D 组),病斑直径明显小于对照(A)和其他两组,诱导效果达 22.00%,而诱导处理与接种病菌(C)同时进行以及先接种病菌后诱导处理(B)的诱导效果仅为 8.41%和 1.08%。

2.3 不同浓度 MeJA 处理对猕猴桃果实防御酶活性的影响

2.3.1 MeJA 处理对猕猴桃果实 SOD 活性的影响

不同浓度的 MeJA 熏蒸处理后接种,猕猴桃果实 SOD 活性如图 1。在 0.001~1.0 mmol/L 范围内,除 0.001 mmol/L 处理外,其他 3 组浓度处理猕猴桃果实 SOD 均显著高于对照($P < 0.05$),其中当 MeJA 浓度为 0.1 mmol/L 时 SOD 活性达到最高,为对照组的 1.34 倍($P < 0.05$)。

2.3.2 MeJA 处理对猕猴桃果实 POD 活性的影响

猕猴桃果实经 MeJA 熏蒸处理后接种,其 POD

活性如图 1 所示。0.001 和 0.01 mmol/L 两组低浓度 MeJA 处理组 POD 活性与对照组差异不显著 ($P>0.05$), 而 0.1 mmol/L 处理组显著提高了 POD

活性, 为对照组的 1.62 倍 ($P<0.05$)。当 MeJA 浓度增大到 1.0 mmol/L 时, POD 活性则显著下降至对照的 67.39% ($P<0.05$)。

表 2 MeJA 诱导猕猴桃果实抗软腐病的效应¹⁾

Table 2 Effects of MeJA on induced resistance of kiwifruits to soft rot

24 h MeJA 处理浓度 Concentration of MeJA treatment for 24 h			0.1 mmol · L ⁻¹ MeJA 处理时间 Treatment duration with 0.1 mmol · L ⁻¹ MeJA			MeJA 处理与接种顺序 MeJA treatment and inoculation sequence		
浓度/mmol · L ⁻¹ Concentration	病斑直径/mm Diameter of lesion	诱导效果/% Inductive effect	时间/d Time	病斑直径/mm Diameter of lesion	诱导效果/% Inductive effect	不同处理 Treatment	病斑直径/mm Diameter of lesion	诱导效果/% Inductive effect
CK	(32.00±0.87)a	0	0	(35.17±0.29)a	0	CK(A)	(38.42±0.79)a	0
0.001	(30.83±1.59)ab	(3.77±2.39)c	12	(34.67±1.04)a	(3.70±2.88)d	B	(38.11±2.14)a	(1.08±0.71)c
0.01	(28.17±1.20)b	(12.04±1.57)b	24	(26.33±0.58)d	(26.85±1.60)a	C	(26.03±0.27)b	(8.41±1.45)b
0.1	(23.67±0.44)c	(26.01±0.71)a	48	(31.67±1.61)b	(12.03±1.46)c	D	(22.16±1.21)c	(22.00±2.69)a
1	(28.83±0.60)ab	(9.86±0.84)b	72	(28.67±0.29)c	(20.37±0.80)b	—	—	—

1) A 为猕猴桃果实接种软腐病菌; B 为猕猴桃果实先接种软腐病菌, 24 h 后再用 0.1 mmol/L 的 MeJA 熏蒸; C 为猕猴桃果实用 0.1 mmol/L 的 MeJA 熏蒸同时接种软腐病菌; D 为猕猴桃果实先用 0.1 mmol/L 的 MeJA 熏蒸, 24 h 后再接种软腐病菌。

A: Kiwifruit fruits were inoculated with *B. dothidea*; B: Kiwifruit fruits were inoculated with *B. dothidea* and then fumigated with 0.1 mmol/L MeJA 24 h later; C: Kiwifruit fruits were inoculated with *B. dothidea* and fumigated with 0.1 mmol/L MeJA at the same time; D: Kiwifruit fruits were fumigated with 0.1 mmol/L MeJA and then inoculated with *B. dothidea* 24 h later.

2.3.3 MeJA 处理对猕猴桃果实 CAT 活性的影响

不同浓度的 MeJA 熏蒸处理后接种, 对猕猴桃果实 CAT 活性影响见图 1。0.001、0.01 和 1 mmol/L 的 MeJA 处理降低 CAT 活性, 依次为对照组的 96.78%、67.75% 和 70.97%, 而 0.1 mmol/L 处理组 CAT 活性则增强至对照的 1.23 倍, 但与对照相比, 4 组浓度 MeJA 处理对猕猴桃果实 CAT 活性影响并不显著 ($P>0.05$)。

2.3.4 MeJA 处理对猕猴桃果实 APX 活性的影响

从图 1 可知, 与对照相比, 当 MeJA 浓度为 0.001~

0.1 mmol/L 时, 猕猴桃果实 APX 活性无明显差异 ($P>0.05$)。1 mmol/L 的 MeJA 熏蒸处理后, APX 活性显著提高至最高值, 为对照组的 1.38 倍 ($P<0.05$)。

2.3.5 MeJA 处理对猕猴桃果实 PPO 活性的影响

猕猴桃果实经不同浓度 MeJA 处理后, 其 PPO 活性变化如图 1 所示。在 0.001~1.0 mmol/L 范围内, PPO 活性先上升后下降, 其中 0.1 mmol/L 处理组 PPO 活性最高, 为对照的 1.40 倍, 其他 3 组浓度的 MeJA 处理后, PPO 活性均低于对照, 在 $P<0.05$ 水平下, 各处理与对照均未达到显著水平。

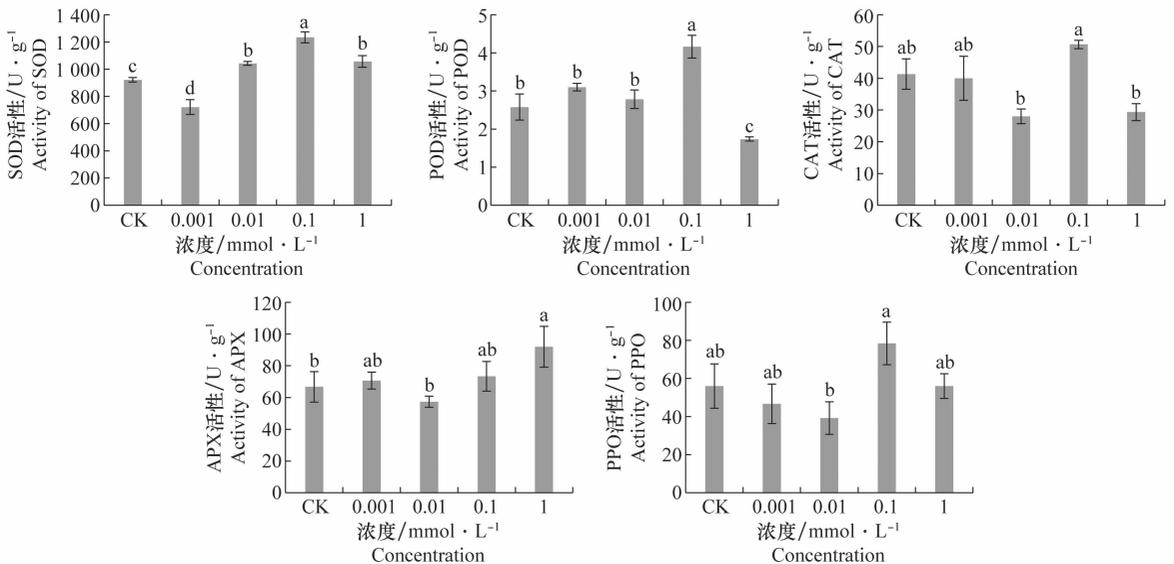


图 1 不同浓度 MeJA 处理对猕猴桃果实防御酶活性的影响

Fig. 1 Effects of different concentrations of MeJA on the activities of defense enzymes of kiwifruit fruits

3 讨论

JAs 作为植物代谢网络重要信号分子,既可直接抑制病原菌的生长,又能够激发果实的免疫系统,诱导植物防御反应物质的合成,提高果实抵御病原侵染的能力^[8,15]。MeJA 在转导植物信号过程中,与其他外源诱导物质类似,具有明显的浓度效应^[16]。本研究表明,0.001~10.0 mmol/L MeJA 对猕猴桃果实采后软腐病菌 *B. dothidea* 均有一定抑制作用,且抑菌效果随 MeJA 浓度升高而增强。当 0.001~1.0 mmol/L MeJA 接种前 24 h 熏蒸处理果实,其诱导效应由 0.1 mmol/L 时最高诱导效果 26.01% 下降至 1.0 mmol/L 时 9.86%,而前期试验中 10 mmol/L MeJA 则加重猕猴桃果实软腐病的发生,该结论与 MeJA 诱导辣椒幼苗抗青枯病^[17] 和葡萄果实采后病害^[18] 一致。另有研究表明,MeJA 诱导葡萄果实抗采后灰霉病^[19] 和芒果炭疽病^[9] 的适宜浓度均为 10 μmol/L,而 100 μmol/L MeJA 处理 10 min 对苹果果实青霉病的抑制效果最好^[7],但 MeJA 采前处理诱导梨果实抗黑斑病的最佳浓度为 7 mmol/L^[8]。此外,MeJA 熏蒸处理时间以接种前 24 h 为宜,而 MeJA 喷雾处理辣椒幼苗抗青枯病最佳时间为接种前 48 h^[17];MeJA 熏蒸处理与接种顺序对猕猴桃果实抗软腐病影响明显,MeJA 先熏蒸处理再接种软腐病菌的诱导效果显著高于先接种病菌再熏蒸处理以及熏蒸与接种同时处理的诱导效果,该结论与郭娟华等^[20] 应用生防菌控制柑橘青霉病结果类似。以上结果说明 MeJA 诱导果实抗病效应与其处理方式、果实种类、组织和器官密切相关。

大量研究表明,植物(果实)经 MeJA 处理后可系统诱导 SOD、POD 和 CAT 等防御蛋白的活性水平,而这些酶类物质可清除自由基,或催化抗病物质的合成,减缓采后果实细胞伤害,抵御病原菌侵入^[21]。SOD 专一清除生物氧化过程中产生的活性氧和自由基,保护植物细胞结构和功能不被破坏;POD 既可产生致死入侵病原物的氧化酚等毒性物质又可催化木质素的生物合成,促进受侵组织的木质化作用^[22];CAT 参与植物抗病等胁迫反应并和其他信号因子存在交互作用^[23]。在本试验中采用 0.001~1.0 mmol/L 的 MeJA 于接种前 24 h 熏蒸处理猕猴桃果实后,其 SOD、POD、APX、CAT 和

PPO 活性均高于对照,各种酶活性整体呈现先上升后下降趋势,其中 SOD 和 POD 活性分别较对照增加 33.85% 和 61.61%。本研究结果与 MeJA 处理提高蓝莓^[10] 和双孢蘑菇^[24] POD、SOD、CAT、PPO 和 APX 等酶活性结论一致,说明上述 5 种防御酶与 MeJA 诱导猕猴桃果实抗采后病害密切相关,其中 SOD 和 POD 活性提高最显著,说明这两种酶在 MeJA 诱导猕猴桃抗软腐病过程可能发挥更重要的作用。另一方面,MeJA 诱导果实抗病效应对防御酶活性调控可能受果实、病原菌以及处理方式等多因素影响,各种酶活性变化不尽一致,如本试验发现 MeJA 可提高猕猴桃果实 CAT 活性,但另有试验表明 MeJA 处理抑制了苹果^[7] 和蓝莓^[10] 的 CAT 活性,而收获的豇豆经 1 μmol/L 的 MeJA 处理,其 CAT、POD 和 PPO 活性均降低^[25]。

综上所述,0.001~10.0 mmol/L MeJA 均可抑制猕猴桃果实采后软腐病菌 *B. dothidea* 的生长,0.1 mmol/L MeJA 于接种前 24 h 熏蒸处理可提高猕猴桃果实 POD、SOD、CAT、PPO 和 APX 等防御酶活性,从而降低软腐病的发生。有关 MeJA 诱导猕猴桃果实抗采后软腐病的分子机理有待进一步研究。

参考文献

- [1] 李黎,陈美艳,张鹏,等. 猕猴桃软腐病的病原菌鉴定[J]. 植物保护学报,2016,43(3):527-528.
- [2] ZHOU You, GONG Guoshu, CUI Yongliang, et al. Identification of Botryosphaeriaceae species causing kiwifruit rot in Sichuan Province, China [J]. Plant Disease, 2015, 99(5): 699-708.
- [3] MARI M, SPADONI A, CEREDI G. Alternative technologies to control postharvest diseases of kiwifruit [J]. Stewart Postharvest Review, 2015, 11(4): 1-5.
- [4] 张艳宜,任亚梅,宋小青,等. CPPU 和 1-MCP 处理对采后猕猴桃抗灰霉病的影响[J]. 中国食品学报, 2017(4): 140-146.
- [5] SHARMA S, PAREEK S, SAGAR N A, et al. Modulatory effects of exogenously applied polyamines on postharvest physiology, antioxidant system and shelf life of fruits: a review [J]. International Journal of Molecular Sciences, 2017, 18(8): 1789.
- [6] 邱德文. 我国植物免疫诱导技术的研究现状与趋势分析[J]. 植物保护, 2016, 42(5): 10-14.
- [7] 周燮. 新发现的植物激素[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 2010.
- [8] 王英珍,程瑞,张绍铃,等. 采前茉莉酸甲酯(MeJA)处理对梨果实抗病性的影响[J]. 果树学报, 2016, 33(6): 694-700.
- [9] 弓德强,黄训才,黄光平,等. 茉莉酸甲酯处理对采后芒果果实抗病性的影响[J]. 热带作物学报, 2016, 37(12): 2294-2299.

- [10] 黄晓杰, 李婧, 柴媛, 等. MeJA 处理对蓝莓果实采后灰霉病的影响及机理[J]. 食品科学, 2016, 37(22): 307-312.
- [11] ZAPATA P J, MARTINEZ-ESPLÁ A, GUILLÉN F, et al. Preharvest application of methyl jasmonate (MeJA) in two plum cultivars. 2. Improvement of fruit quality and antioxidant systems during postharvest storage[J]. Postharvest Biology and Technology, 2014, 98: 115-122.
- [12] SHADMANI N, AHMAD S H, SAARI N, et al. Chilling injury incidence and antioxidant enzyme activities of *Carica papaya* L. 'Frangi' as influenced by postharvest hot water treatment and storage temperature[J]. Postharvest Biology and Technology, 2015, 99: 114-119.
- [13] SHI Junyan, GAO Lipu, ZUO Jinhua, et al. Exogenous sodium nitroprusside treatment of broccoli florets extends shelf life, enhances antioxidant enzyme activity, and inhibits chlorophyll-degradation[J]. Postharvest Biology and Technology, 2016, 116: 98-104.
- [14] 曹建康, 姜微波, 赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007.
- [15] GLOWACZ M, ROETS N, SIVAKUMAR D. Control of anthracnose disease via increased activity of defence related enzymes in 'Hass' avocado fruit treated with methyl jasmonate and methyl salicylate [J]. Food Chemistry, 2017, 234: 163-167.
- [16] 田世平, 罗云波, 王贵禧. 园艺产品采后生物学基础[M]. 北京: 科学出版社, 2011: 43-55, 312-318.
- [17] 向妙莲, 赵显阳, 陈明, 等. 茉莉酸甲酯诱导辣椒抗青枯病与活性氧代谢的关系[J]. 园艺学报, 2017, 44(10): 1985-1992.
- [18] 姜璐璐. 茉莉酸甲酯对葡萄果实常温保鲜效果及其机理研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2015.
- [19] WANG Kaituo, LIAO Yunxia, KAN Jianquan, et al. Response of direct or priming defense against *Botrytis cinerea* to methyl jasmonate treatment at different concentrations in grape berries [J]. International journal of food microbiology, 2015, 194: 32-39.
- [20] 郭娟华, 陈明, 涂起红, 等. 类芽孢杆菌 YS-1 代谢产物粗提液对柑橘青霉病的生防效果[J]. 植物保护学报, 2013, 40(6): 573-574.
- [21] 陆建英, 杨晓明, 王昶, 等. 不同诱抗剂防治豌豆白粉病的效果及对防御酶的影响[J]. 植物保护, 2017, 43(5): 221-224.
- [22] 田国忠, 李怀方, 裘维蕃. 植物过氧化物酶研究进展[J]. 植物科学学报, 2001, 19(4): 332-344.
- [23] GRIGORAS A G. Catalase immobilization—A review [J]. Biochemical Engineering Journal, 2017, 117: 1-20.
- [24] MENG Demei, ZHANG Yaxuan, YANG Rui, et al. Arginase participates in the methyl jasmonate-regulated quality maintenance of postharvest *Agaricus bisporus* fruit bodies [J]. Postharvest Biology and Technology, 2017, 132: 7-14.
- [25] FAN Linlin, WANG Qing, LV Jiayu, et al. Amelioration of postharvest chilling injury in cowpea (*Vigna sinensis*) by methyl jasmonate (MeJA) treatments [J]. Scientia Horticulturae, 2016, 203: 95-101.

(责任编辑: 田 喆)

(上接 50 页)

- [14] LARKIN M A, BLACKSHIELDS G, BROWN N P, et al. Clustal W and Clustal X version 2.0 [J]. Bioinformatics, 2007, 23(21): 2947-2948.
- [15] TAMURA K, STECHER G, PETERSON D, et al. MEGA6: molecular evolutionary genetics analysis version 6.0 [J]. Molecular Biology and Evolution, 2013, 30: 2725-2729.
- [16] KIMURA M. A simple method for estimating evolutionary rates of base substitutions through comparative studies of nucleotide sequences [J]. Journal of Molecular Evolution, 1980, 16(2): 111-120.
- [17] MEYER C P, PAULAY G. DNA barcoding; error rates based on comprehensive sampling [J/OL]. PLoS Biology, 2005, 3(12): e422. DOI:10.1371/Journal.pbio.0030422.
- [18] PUILLANDRE N, LAMBERT A, BROUILLET S, et al. AB-GD, automatic barcode gap discovery for primary species delimitation [J]. Molecular Ecology, 2011, 21(8): 1864-1877.
- [19] HEBERT P D N, STOECKLE M Y, ZEMBLAK T S, et al. Identification of birds through DNA barcodes [J]. PLoS Biology, 2004, 2: 1657-1663.
- [20] BURNS J M, JANZEN D H, HAJIBABAEI M, et al. DNA barcodes of closely related (but morphologically and ecologically distinct) species of skipper butterflies (Hesperiidae) can differ by only one to three nucleotides [J]. Journal of the Lepidopterists Society, 2007, 61(3): 138-153.
- [21] BUCKLIN A, HOPCROFT R R, KOSOBOKOVA K N, et al. DNA barcoding of Arctic Ocean holozooplankton for species identification and recognition [J]. Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, 2010, 57(1/2): 40-48.
- [22] NARO-MACIEL E, REID B, FITZSIMMONS N N, et al. DNA barcodes for globally threatened marine turtles; a registry approach to documenting biodiversity [J]. Molecular Ecology Resources, 2009, 10(2): 252-263.
- [23] 傅美兰, 彭建军, 王莹, 等. DNA 条形码技术的应用与分析[J]. 河南师范大学学报(自然科学版), 2010, 38(4): 118-122.
- [24] LIPSCOMB D, PLATNICK N, WHEELER Q, et al. The intellectual content of taxonomy: a comment on DNA taxonomy [J]. Trends in Ecology and Evolution, 2003, 18(2): 65-66.
- [25] TAUTZ D, ARCTANDER P, MINELLI A, et al. A plea for DNA taxonomy [J]. Trends in Ecology & Evolution, 2003, 18(2): 70-74.
- [26] 李晓叶, 钱路, 陈茂华. DNA 条形码技术在几种苹果园鳞翅目害虫鉴定中的应用[J]. 西北农业学报, 2015, 24(5): 141-147.

(责任编辑: 田 喆)