

采后伽师瓜和 86-1 甜瓜果实抗链格孢菌侵染研究

Infection of *Alternaria alternata* in postharvest Jiashi melon and 86-1 melon

玛尔哈巴·帕尔哈提¹ 白羽嘉^{1,2} 王 瑾¹

MAERHABA Paerhati¹ BAI Yu-jia^{1,2} WANG Jin¹

朱婉彤¹ 阿迪莱·图尔荪¹ 冯作山¹

ZHU Wan-tong¹ ADILAI Tuersun¹ FENG Zuo-shan¹

(1. 新疆农业大学食品科学与药学院, 新疆 乌鲁木齐 830000;

2. 新疆农业大学作物学博士后流动站, 新疆 乌鲁木齐 830000)

(1. College of Food Science and Pharmacy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjiang 830000, China;

2. Postdoctoral Mobile Station of Crop Science, Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjiang 830000, China)

摘要:以伽师瓜和 86-1 甜瓜为试材,通过损伤接种链格孢菌的方法,从甜瓜果实病斑直径、病程相关蛋白活性及保护酶活性三方面比较了二者之间的差异。结果表明,伽师瓜的病斑直径小于 86-1 甜瓜的,果皮病斑直径小于果肉。整个贮藏期间,接种链格孢菌后伽师瓜和 86-1 2 种甜瓜的病程相关蛋白活性和保护酶活性得到提高,在抵御链格孢菌侵染的过程中起到了重要作用。尤其在侵染中后期作用显著,且伽师瓜接种果皮和果肉活性均高于 86-1 甜瓜。

关键词:链格孢;甜瓜;抗病性;病程相关蛋白;保护酶

Abstract: Jiashi melon and 86-1 melon were used as experiment material in this paper. After inoculated with *Alternaria alternata* by injury, the differences between the two were compared in terms of lesion diameter, pathogen-induced plant protein and protective enzyme activity. The results showed that the lesions of Jiashi melon were less than 86-1, and the diameter of the pericarp was smaller than the sarcocarp. After inoculated with *Alternaria alternata*, pathogen-induced plant protein and protective enzyme activity of two melons were increased during whole storage period. It played an important role in resisting the infection of *Alternaria alternata*, especially in the middle and late stages of infection. The activity of inoculated pericarp and sarcocarp in Jiashi melon was higher than 86-1 melon.

Keywords: *Alternaria alternata*; melon; disease resistance; pathogen-induced plant protein; protective enzyme

甜瓜(*Cucumis melo* L.)是新疆重要的果品特产之一^[1-2]。在整个生长期,甜瓜均可能受到链格孢菌(*Alternaria alternata*)侵染而引发黑斑病。黑斑病发病初期呈浅黄褐色,后期病斑明显变黑,病、健组织之间分界明显,伴随表皮凹陷,果肉呈海绵状黑色团块^[3-5]。伽师瓜和 86-1 甜瓜是新疆主要甜瓜品种,多产于新疆喀什地区,其中伽师县产量位居第一^[6]。

当植物受到病原菌侵染时,往往分泌几丁质酶(CTH)与 β -1,3-葡聚糖酶(GLU)等病程相关蛋白,来提高自身防御能力。目前果实采后病程相关蛋白的研究也主要集中在 CTH^[7-8]和 GLU 上^[9-10]。也有研究^[11-13]表明,抗坏血酸过氧化物酶(APX)、超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、多酚氧化酶(PPO)在植物抗病性方面起着重要作用。植物受病害侵染可诱导这些保护酶产生变化,增强抗病能力^[14]。目前,有关甜瓜抗病菌侵染的研究^[15-17]多见于其果肉组织上,本研究拟以伽师瓜和 86-1 甜瓜为试材,取其果肉及果皮组织为试验对象,比较二者抵抗病原菌侵染能力的差异,以期选择培育优良甜瓜品种和甜瓜采后病害控制提供依据。

1 材料与与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

伽师瓜、86-1 甜瓜:采摘自新疆喀什地区伽师县三乡,选取无病虫害、无机械损伤果实,伽师瓜单果重 (4.0 ± 0.5) kg,全生育期 110~120 d,中心可溶性固形物 14.0%,边部可溶性固形物 9.0%。86-1 甜瓜单果重 (3.5 ± 0.5) kg,全生育期 115 d 左右,中心可溶性固形物 14.0%,边部可溶性固形物 9.8%;

基金项目:国家自然科学基金项目(编号:31460413)

作者简介:玛尔哈巴·帕尔哈提,女,新疆农业大学在读硕士研究生。

通信作者:冯作山(1963—),男,新疆农业大学教授,博士。

E-mail: fengzuosha@126.com

收稿日期:2018-09-23

链格孢:分离自伽师瓜自然发病的果实,用马铃薯葡萄糖琼脂培养基于 4℃保存;

冰醋酸、无水醋酸钠、聚乙二醇 6000、聚乙烯吡咯烷酮(K30)、曲拉通、愈创木酚、30% H₂O₂溶液、邻苯二酚、磷酸氢二钠、磷酸二氢钠、丙酮、浓盐酸、盐酸、乙醇、五水合四硼酸钾、对二甲氨基苯甲醛、磷酸氢二钾、磷酸二氢钾、抗坏血酸:分析纯,天津市光复精细化工研究所;

二硫苏糖醇、乙二醇四乙酸、乙二醇四乙酸二钠、L-蛋氨酸、氮蓝四唑、核黄素:分析纯,生工生物工程(上海)股份有限公司;

几丁质:分析纯,美国西格玛奥德里奇公司;

脱盐蜗牛酶、β-巯基乙醇:分析纯,上海索莱宝生物科技有限公司;

葡萄糖、琼脂:生物试剂,北京奥博星生物技术有限公司。

1.1.2 主要仪器设备

电子天平:FA2104N 型,上海民桥精密科学仪器有限公司;

pH 计:FE20 型,梅特勒-托利多仪器有限公司;

无菌操作台:NBCJ-B 型,上海鸿都电子科技有限公司;

恒温霉菌培养箱:MHP-250 型,上海鸿都电子科技有限公司;

立式压力蒸汽灭菌器:LDZX-50KBS 型,上海申安医疗器械厂;

显微镜:XSP-2C 型,上海蔡康光学仪器有限公司;

高速分散器:XHF-DY 型,宁波新芝生物科技股份有限公司;

高速冷冻离心机:TGL-16G 型,上海安亭科学仪器厂;

紫外—可见分光光度计:TU-1810PC 型,北京普析通用公司;

超声波清洗器:SK2200H 型,上海科导超声仪器有限公司;

电热恒温水浴锅:DZKW-S-4 型,北京市永光明医疗仪器厂;

气体传输泵:2XZ-2 型,临海市谭氏真空设备有限公司。

1.2 方法

1.2.1 样品处理

(1) 马铃薯葡萄糖琼脂培养基的制备:将马铃薯去皮切块,称取 200 g 放入 1 000 mL 蒸馏水中煮沸至发软,用纱布过滤,补加蒸馏水至 1 000 mL。加入 20 g 葡萄糖与 15 g 琼脂,搅拌溶解,分装至 250 mL 锥形瓶,121℃ 高压灭菌 20 min,倒平板备用。

(2) 孢子悬浮液的制备:将保藏链格孢菌种的培养基在无菌操作台打开,用高温灭菌过的镊子取适量菌落,转移至马铃薯葡萄糖琼脂培养基,27℃ 黑暗培养 7 d 后用显微镜观察菌落特征,确认为所需菌种,收集孢子。用含有 0.01% Tween-80 的无菌水配制浓度为 1×10⁶ 个/mL 孢子悬浮液备用。

(3) 甜瓜预处理:用自来水冲洗,再用 2% 过氧化氢清洗

并浸泡 30 s 消毒,最后用无菌水冲洗 3 遍,晾干备用,放入 7℃ 冷库预冷。

(4) 接种与取样:在甜瓜果实赤道等距刺入 3 个深度为 5 mm 的伤口(直径 3.5 mm),吸取 20 μL 上述孢子悬浮液接入,对照组接入等量无菌水,用塑料胶条封住,装箱,置于 7℃、相对湿度 85%~90% 冷库贮藏。

(5) 取样:在 0,3,6,9,12,15,18,21,24,27,30 d 后观察,取伤口周围 5 mm 处果皮和果肉组织,液氮速冻,-80℃ 保存。每处理用果实 10 个。

1.2.2 病斑直径测量 将接种链格孢菌的甜瓜沿 3 个伤口处切开,每次取 4 个瓜,切开的两半瓜都测取,取平均值。

1.2.3 CHT 和 GLU 活性测定 参照文献[18]。

1.2.4 保护酶活性测定

(1) APX 活性测定:参照文献[19]。

(2) SOD 活性测定:采用氮蓝四唑光化还原法^[20]。

(3) POD 活性测定:参照 Zauberman 等^[21] 方法并做修改。称取 10 g 冷冻果肉组织和 5 g 冷冻果皮组织,分别加入 10,20 mL 提取缓冲液(50 mmol/L pH 5.5 醋酸缓冲液,1 mmol/L 聚乙二醇 6000,4 g/100 g 聚乙烯吡咯烷酮 K30,1 g/100 g 曲拉通),充分研磨成匀浆后,于 4℃、8 000×g 离心 30 min,上清液即为 POD 酶提取液。酶促反应体系:25 mmol/L 愈创木酚溶液 3 mL,0.5 mL 酶提取液,0.5 mol/L H₂O₂溶液 200 μL。以蒸馏水为空白,立即在波长 470 nm 处测定吸光度值,然后每隔 1 min 测定 1 次,连续测定 6 min。以每克鲜重样品每分钟吸光度值增加 1 时为 1 个 POD 活性单位(U),结果以 U/g 表示。

(4) PPO 活性测定:参照 Zauberman 等^[21] 的方法并做修改。称取 10 g 冷冻果肉组织和 5 g 冷冻果皮组织,分别加入 10,20 mL 提取缓冲液(100 mmol/L pH 5.5 醋酸缓冲液,1 mmol/L 聚乙二醇 6000,4 g/100 g 聚乙烯吡咯烷酮 K30,1 g/100 g 曲拉通),充分研磨成匀浆后,于 4℃、8 000×g 离心 30 min,上清液即为 PPO 酶提取液。酶促反应体系:50 mmol/L、pH 5.5 醋酸缓冲液 4 mL,50 mmol/L 邻苯二酚溶液 1 mL,100 μL 酶提取液。以蒸馏水为参比空白,立即在波长 420 nm 处测定吸光度值,然后每隔 1 min 测定 1 次,连续测定 6 min。以每克鲜重样品每分钟吸光度变化值增加 1 时为 1 个 PPO 活性单位(U),结果以 U/g 表示。

1.3 数据处理

使用 SPSS 20.0 软件进行差异性显著分析,P<0.05 表示差异显著,利用 Excel 2016 进行数据处理及绘图,试验重复 3 次。结果以“平均值±标准差”表示。

2 结果与分析

2.1 链格孢侵染甜瓜果实病斑直径的变化

病斑直径可直接反映果实的病情变化。由图 1 可知,第 12 天 2 种甜瓜均开始出现黑色病斑,由果皮向果肉发散扩大,与蒋黎艳等^[22] 对温州蜜柑的研究结果相一致。果皮和果肉的病斑直径随着贮藏天数的增加均逐渐扩大,果肉病斑直径始终大于果皮。但与 86-1 甜瓜相比,伽师瓜病斑直径

扩展相对较慢。第 30 天,86-1 甜瓜果皮和果肉病斑直径分别是伽师瓜果皮和果肉的 1.14,1.06 倍。从甜瓜组织分析,果皮较果肉可显著抑制甜瓜的链格孢病斑直径扩大($P<0.05$),病斑直径增长速度比果肉慢,与其它品种相比,伽师瓜比 86-1 甜瓜对抵御链格孢病菌侵染具有更强能力,且病斑直径增长速度低于 86-1 甜瓜。同时本试验还发现,伽师瓜和 86-1 甜瓜果皮和果肉在同一天开始出现病斑,与张培岭等^[23]的研究结果一致。

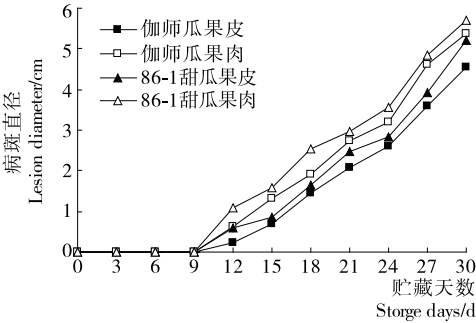


图 1 链格孢侵染对 2 种甜瓜病斑直径的影响
Figure 1 Effects of *Alternaria alternata* infection on the lesions diameter of two melons

2.2 链格孢侵染对甜瓜果实病程相关蛋白活性的影响

2.2.1 CHT 活性 病原菌引起植物抗病性机制不是单一的,存在着多种机制甚至是多种机制协同作用的结果^[24]。大部分病原菌细胞壁的主要成分含有几丁质,而 CHT 可以有效地将其分解,从而破坏病原菌结构达到抑制病原菌的作用^[25]。由图 2 可知,贮藏期间 2 种甜瓜果皮和果肉的 CHT 活性都呈先上升后下降的趋势。伽师瓜和 86-1 甜瓜接种果皮分别在 18~30,15~21 d CHT 活性保持较高水平,说明甜瓜自身的抗病系统在这段时间发挥显著作用,导致酶活性升高。9 d 前各处理增长缓慢,在此之后迅速增长并相继出现高峰,高峰之后缓慢下降,且 2 种甜瓜接种果皮均高于对照。伽师瓜接种果皮在第 21 天出现明显高峰,是对照峰值的 1.75 倍。86-1 甜瓜接种果皮 CHT 活性峰值提前 3 d 出现,是对照峰值的 1.77 倍,但仅为伽师瓜接种果皮峰值的 50.74%。2 种甜瓜接种果肉 CHT 活性变化较对照果肉更明显。伽师瓜接种果肉 CHT 活性变化在第 9 天后迅速增大,在第 18~24 天保持较高 CHT 活性。86-1 甜瓜接种果肉从第 3 天后 CHT 活性明显增加,在第 6~9 天活性高于伽师瓜接种果肉,但差异不显著,第 18 天出现 CHT 活性峰值,是伽师瓜接种果肉峰值的 79.17%。单春会^[26]将青霉菌接种于伽师瓜发现果实中 CHT 在不同侵染阶段启动相应反应,这与本研究结果相似。

2.2.2 GLU 活性 GLU 存在于大部分高等植物中,与 CHT 协同作用下可明显抑制病原菌的生长^[27]。由图 3 可知,整个贮藏期间 2 种甜瓜果皮和果肉 GLU 活性都呈先上升后下降的趋势,与果实 CHT 活性有着相似变化。对于果皮,伽师瓜接种果皮 GLU 活性持续上升,在第 24 天出现峰值,86-1 甜瓜接种果皮 GLU 活性缓慢上升,提前 3 d 达到最

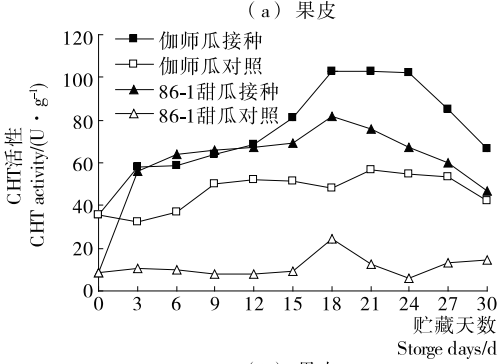
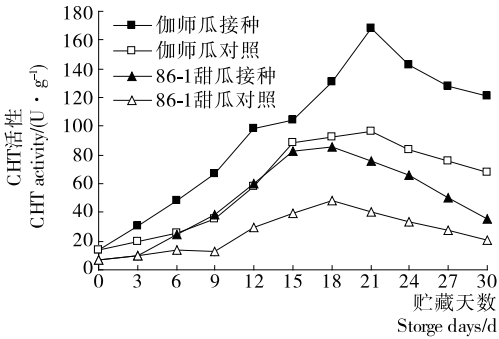


图 2 链格孢侵染对 2 种甜瓜 CHT 活性的影响
Figure 2 Effects of *Alternaria alternata* infection on CHT activity of two melons

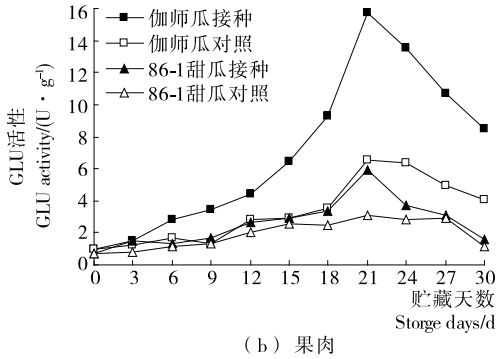
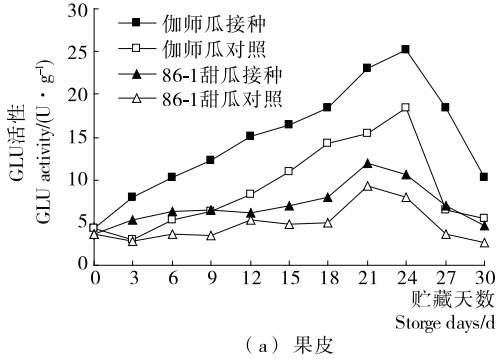


图 3 链格孢侵染对 2 种甜瓜 GLU 活性的影响
Figure 3 Effects of *Alternaria alternata* infection on GLU activity of two melons

大活性值。伽师瓜和 86-1 甜瓜接种果皮均高于对照($P<0.05$)。果肉趋势与果皮相似,2 种甜瓜果肉接种组均在第 21 天出现 GLU 活性峰值。伽师瓜接种果肉在第 9 天迅速升高后出现明显峰值,是对照的 2.42 倍,这与 CHT 在伽师瓜

接种果肉中活性变化表现相似,说明 CHT 可以和 GLU 协同,产生强烈抵抗作用,共同抵御链格孢菌侵染。86-1 甜瓜接种果肉在贮藏前期 GLU 活性表现平缓,第 21 天达到 GLU 活性高峰后缓慢下降。柴喜荣等^[28]发现黄瓜抵御疫病过程中,果实中 GLU 与 CHT 均显著增加,并与黄瓜品种抗病性呈正相关。这表明,当植物受到病原菌侵染时,往往分泌 CHT 与 GLU 等病程相关蛋白,来提高自身防御能力。

2.3 链格孢侵染对甜瓜果实保护酶活性的影响

2.3.1 APX 活性 保护酶也与植物体抗病、抗病原菌入侵能力密切相关。APX 可以有效清除细胞内多种胁迫环境下产生的过多活性氧,使果实体系处于相对平衡状态,对细胞产生保护作用^[29]。由图 4 可知,随着贮藏天数的延长,2 种甜瓜果皮和果肉的 APX 活性都不断上升,在第 30 天有最大活性值。对于果皮,伽师瓜接种果皮在第 15 天迅速升高,而 86-1 甜瓜接种果皮总体缓慢上升,在上升期间,前者约是后者的 2 倍。对于果肉,伽师瓜接种果肉 APX 活性在第 9 天明显升高,同时期 86-1 甜瓜接种果肉增长缓慢,说明 APX 在伽师瓜接种果肉贮藏前期就起到保护作用,一直维持到贮藏结束。有研究^[30]表明,经吡唑并嘧啶衍生物诱导的黄瓜接种尖孢镰孢菌后,保护酶 APX 活性有所提高,且有 APX 基因表达。

2.3.2 SOD 活性 由图 5 可知,贮藏期间 2 种甜瓜果皮和果肉 SOD 活性都呈先上升后下降的趋势。对于果皮,伽师瓜接种果皮 SOD 活性涨幅趋势明显,其他处理 SOD 活性变化波动不大,可能是受链格孢菌侵染,伽师瓜接种果皮在这段时间内产生大量活性氧,诱导 SOD 活性提高,起到了防御

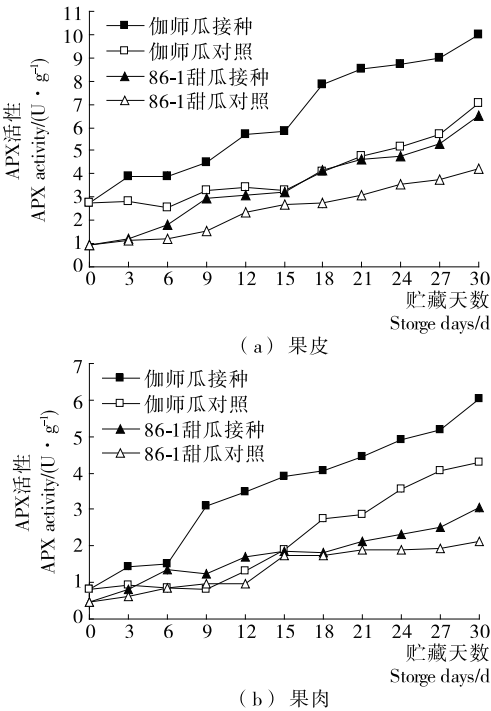


图 4 链格孢侵染对 2 种甜瓜 APX 活性的影响
Figure 4 Effects of *Alternaria alternata* infection on APX activity of two melons

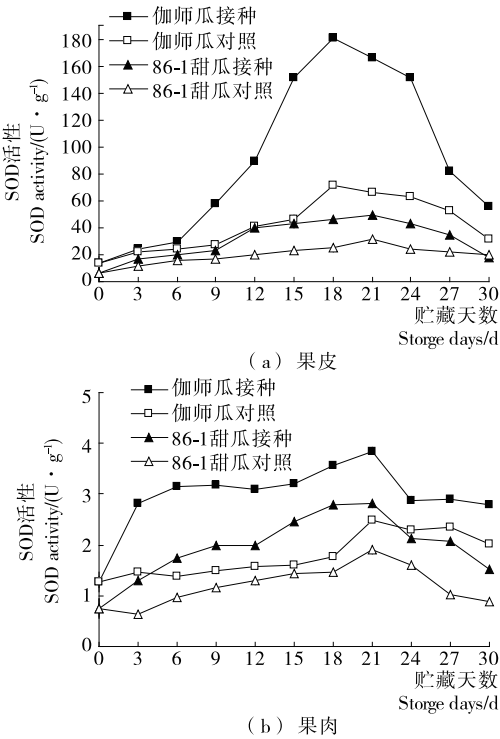


图 5 链格孢侵染对 2 种甜瓜 SOD 活性的影响
Figure 5 Effects of *Alternaria alternata* infection on SOD activity of two melons

氧自由基产生的第一道防线作用^[31]。伽师瓜和 86-1 甜瓜接种果皮分别在第 18 天和第 21 天出现活性高峰,前者是后者的 3.67 倍。对于果肉,伽师瓜和 86-1 甜瓜接种果肉 SOD 活性变化相似,峰值均在贮藏第 21 天出现,伽师瓜接种果肉 SOD 活性整体显著高于 86-1 甜瓜的($P<0.05$)。2 种甜瓜果肉组 SOD 活性变化较果皮组平缓,可能是甜瓜受链格孢病菌侵染后,果皮比果肉发挥更积极的抵御作用。研究^[32]发现,对不同感抗品种柑橘经毒素处理,抗性品种柑橘 SOD 活性分别在处理初期和末期出现 2 次活性最大值。

2.3.3 POD 活性 POD 一方面在清除、阻止活性氧形成起着重要作用,另一方面,它与一些抗性物质如总酚、黄酮、木质素等的合成有紧密联系^[33-34]。由图 6 可知,贮藏期间伽师瓜和 86-1 2 种甜瓜果皮和果肉 POD 活性都呈先上升后下降的趋势。对于果皮,伽师瓜接种果皮在第 12~18 天连续出现较高 POD 活性,并在第 12 天出现 POD 活性峰值,整个贮藏期间 POD 活性均高于对照($P<0.05$)。86-1 甜瓜接种果皮在第 18 天缓慢上升到峰值后迅速下降,除第 24 天和第 27 天外,POD 活性均高于对照($P<0.05$)。对于果肉,伽师瓜接种果肉在贮藏前期 POD 活性直线上升,第 12 天出现 POD 活性峰值随后急剧下降。86-1 甜瓜接种果肉在第 6 天迅速达到 POD 活性高峰后缓慢下降。同样的结果在香蕉果实中也有发现^[35]。

2.3.4 PPO 活性 PPO 活性的增加是果实受病原菌侵染后发生的典型变化,PPO 与 POD 两者协同可以为果实细胞提供防御,以减少病原菌造成的伤害,因此被认为是植物的保护酶之一^[36]。由图 7 可知,贮藏期间 2 种甜瓜果皮和果肉的

PPO 活性都呈先上升后下降的趋势。对于果皮,伽师瓜果皮 PPO 活性峰值较 86-1 甜瓜晚 12 d 出现,除第 12 天外,伽师瓜接种果皮 PPO 活性均大于 86-1 甜瓜,说明 PPO 在贮藏后期对伽师瓜果皮抵御病原菌侵染起了主要作用,且抵抗作用

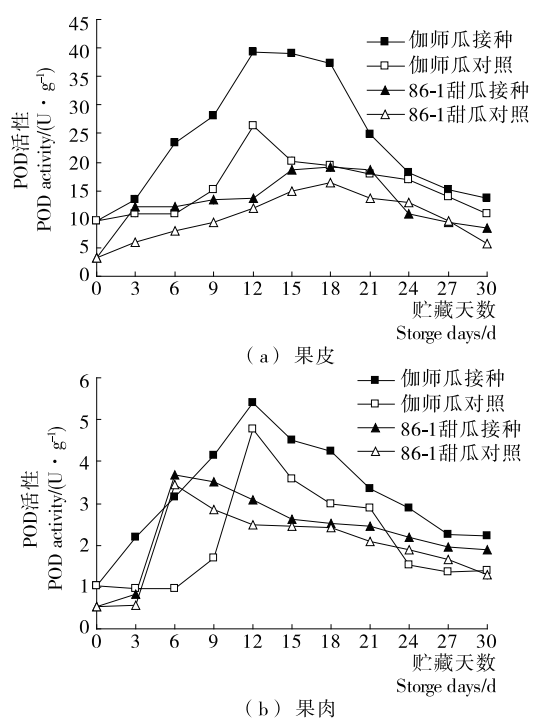


图 6 链格孢侵染对 2 种甜瓜 POD 活性的影响
Figure 6 Effects of *Alternaria alternata* infection on POD activity of two melons

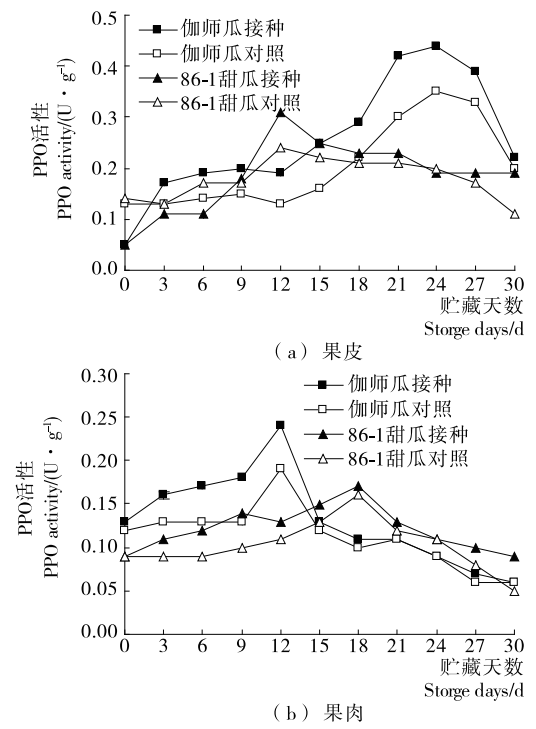


图 7 链格孢侵染对 2 种甜瓜 PPO 活性的影响
Figure 7 Effects of *Alternaria alternata* infection on PPO activity of two melons

大于 86-1 甜瓜。对于果肉,伽师瓜接种果肉在第 12 天出现明显 PPO 活性峰值,是对照的 1.26 倍。86-1 甜瓜接种果肉在第 18 天出现 PPO 活性峰值,是对照的 1.06 倍。第 15 天开始,86-1 甜瓜接种和对照果肉均高于伽师瓜接种和对照果肉,这是因为伽师瓜在前期表现较强烈的抵御作用,随着时间的推移慢慢减少,导致 PPO 活性低于 86-1 甜瓜。同样在不同品种苹果果实对抗灰霉病时,PPO 活性表现为高抗品种高于感病品种高于高感品种^[37]。

3 结论

本研究结果表明,伽师瓜病斑直径小于 86-1 甜瓜,果皮病斑直径小于果肉,说明伽师瓜比 86-1 甜瓜能更好地抵御链格孢侵染,其果皮也比果肉能更好保护果实不受病原菌损害。整个贮藏期间,增强的 CHT、GLU、APX、SOD、POD 和 PPO 活性与甜瓜果实对链格孢侵染抗病性紧密相关。与 86-1 甜瓜相比,伽师瓜果实中 CHT、GLU、APX、SOD、POD 和 PPO 活性更高。说明伽师瓜比 86-1 甜瓜有更积极的防御链格孢侵染作用,尤其在贮藏中后期作用显著。今后的研究重点可以从同工酶电泳和分子水平等方向深入阐述甜瓜果实对链格孢侵染的抗病性机制,挖掘影响甜瓜抗病性的关键基因及代谢途径。

参考文献

[1] 杨渡. 浅谈新疆甜瓜产业发展[J]. 新疆农业科学, 2002, 39(1): 1-5.

[2] 张新慧. 哈密瓜产业发展中存在的问题及对策措施[J]. 新疆农业科技, 2002(z1): 63.

[3] 林德佩. 新疆野生甜瓜的研究[J]. 新疆农业大学学报, 1984 (1): 6.

[4] 陈存坤, 王文生, 高元惠, 等. 新疆厚皮甜瓜采后病害及主要病原真菌的分离与鉴定[J]. 保鲜与加工, 2008, 8(6): 54-56.

[5] 叶彩玲, 丁胜利. 新疆甜瓜上的几种主要病害及其防治[J]. 植物保护, 2001, 27(5): 34-35.

[6] 新疆维吾尔自治区统计局. 2017 年新疆统计年鉴[Z]. 北京: 中国统计出版社, 2017: 354-357.

[7] PAVONCELLO D, LURIE S, DROBY S, et al. A hot water treatment induces resistance to *Penicillium digitatum* and promotes the accumulation of heat shock and pathogenesis-related proteins in grapefruit flavedo[J]. *Physiologia Plantarum*, 2001, 111(1): 17-22.

[8] SELS J, MATHYS J, CONINCK B, et al. Plant pathogenesis-related (PR) proteins: a focus on PR peptides[J]. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2008, 46(11): 941-950.

[9] WARD E R, PAYNE G B, MOYER M B, et al. Differential regulation of β -1, 3-glucanase messenger RNAs in response to pathogen infection[J]. *Plant Physiology*, 1991, 96(2): 390-397.

[10] 王合春, 陈新利, 隋炯明, 等. 花生 β -1, 3-葡聚糖酶基因启动子的克隆及功能分析[J]. 植物遗传资源学报, 2013, 14(5): 864-870.

[11] 李娇. 链格孢菌侵染对芒果贮藏品质及生理的影响[D]. 福州: 福建农林大学, 2016: 29-36.

[12] KAVITA S, SAREETA N. Heat exposure alters the express-

ion of SOD, POD, APX and CAT isozymes and mitigates low cadmium toxicity in seedlings of sensitive and tolerant rice cultivars[J]. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2012, 57: 106-113.

[13] 李纪顺, 陈凯, 李玲, 等. 木霉融合子 Tpf-2 的定殖及其对番茄防御酶系的影响[J]. *植物保护*, 2018, 44(4): 65-69, 91.

[14] CHEN Fang, WANG Min, ZHENG Yu, et al. Quantitative changes of plant defense enzymes and phytohormone in biocontrol of cucumber Fusarium wilt by *Bacillus subtilis* B579[J]. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, 2010, 26(4): 675-684.

[15] 白羽嘉, 张培岭, 黄伟, 等. 链格孢菌侵染采后甜瓜果实组织几丁质酶和 β -1,3-葡聚糖酶基因表达分析[J]. *食品科学*, 2018, 39(2): 185-191.

[16] 葛永红, 毕阳, 杨冬梅. 诱抗剂处理对“银帝”甜瓜采后粉霉病和黑斑病的抑制效果[J]. *食品科学*, 2006, 27(1): 246-249.

[17] 刘芳芳, 李范洙, 张先, 等. 生物质热解液对甜瓜炭疽菌的抑菌及保鲜作用[J]. *食品与机械*, 2018, 34(5): 123-127, 147.

[18] 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: 139-145.

[19] NAKANO Y, ASADA K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate specific peroxidase in spinach chl-oro-plasts[J]. *Plant Cell Physiology*, 1981, 22(5): 867-880.

[20] BEAUCHAMP C, FRIDOVICH I. Superoxide dismutase: improved assays and an assay applicable to acrylamide gels[J]. *Analytical Biochemistry*, 1971, 44(1): 276-287.

[21] ZAUBERMAN G, RONEN R, AKERMAN M, et al. Post-harvest retention of the red colour of litchi fruit pericarp[J]. *Scientia Horticulturae*, 1991, 47(1/2): 89-97.

[22] 蒋黎艳, 龚蕾, 盖智星, 等. 人工接种温州蜜柑后链格孢霉毒素的产生及分布规律[J]. *食品科学*, 2017, 38(8): 251-257.

[23] 张培岭, 黄伟, 马玲, 等. 链格孢侵染对甜瓜病程相关蛋白活性及基因表达的影响[J]. *食品工业科技*, 2017, 38(18): 290-294.

[24] 刘丽, 马永毅, 张志明, 等. 玉米不同防卫酶系对纹枯病作用的研究[J]. *玉米科学*, 2009, 17(3): 99-102.

[25] SHEWRY P R, LUCAS J A. Plant proteins that confer resistance to pests and pathogens [J]. *Journal of Experimental Botany*, 1997, 26(238): 135-170.

[26] 单春会. 哈密瓜响应青霉菌侵染的转录组和蛋白组研究及相关抗性酶变化分析[D]. 无锡: 江南大学, 2015: 107-111.

[27] WESSELS J G H, SIETSMA J H. Fungal cell walls: a survey[M]. New York: *Plant Carbohydrates II*, 1981: 352-394.

[28] 柴喜荣, 林洁, 杨暹, 等. 黄瓜品种抗疫病鉴定及其防御相关酶系研究[J]. *广东农业科学* 2018, 459(7): 16-21.

[29] 李超兰, 杨其亚, 张红印, 等. 活性氧影响拮抗菌及果蔬采后抗病性的研究进展[J]. *食品科学*, 2014, 35(21): 264-269.

[30] 张慧慧. 一种吡唑并嘧啶衍生物对黄瓜枯萎病的诱导抗病表达及抗病机理初探[D]. 北京: 中国农业科学院, 2018: 32-38.

[31] 王馨, 胡文忠, 陈晨, 等. 活性氧在果蔬采后成熟衰老过程中的作用及几种气体处理对其影响的研究进展[J]. *食品工业科技*, 2017, 38(5): 375-379.

[32] 王玲杰. 柑橘褐斑病菌毒素提取、产毒特性及对寄主防御酶的影响[D]. 重庆: 西南大学, 2015: 39-47.

[33] 周琦, 陈季旺, 高俊, 等. 鲜切雷竹笋冷藏过程中木质化机理的研究[J]. *食品科学*, 2012, 33(14): 307-311.

[34] 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.

[35] 李丽, 何雪梅, 李昌宝, 等. 炭疽病菌侵染对香蕉采后品质变化及抗病相关酶活性的影响[J]. *现代食品科技*, 2017(9): 83-90.

[36] WOJTASZEK P. Oxidative burst: an early plant response to pathogen infection [J]. *Biochemical Journal*, 1997, 322(3): 681-692.

[37] 唐永萍. 不同品种苹果采后对灰霉病抗性差异研究[D]. 榆林: 西北农林科技大学: 2017: 3-21.

(上接第 90 页)

[6] 陈航. 探索突破 让用户更快预见未来家[EB/OL]. (2017-03-10) [2018-12-17]. <http://ec.zjol.com.cn/system/2017/03/10/021463080.shtml>.

[7] 林洋, 谢永, 皮艳华, 等. 智能图案设计系统的研究与实现[J]. *江西理工大学学报*, 2006(3): 27-30.

[8] 诸葛源, 潘云鹤. 基于计算机气象的美术图案构图知识表达[J]. *软件学报*, 1997, 8(10): 738-744.

[9] 武波. 专家系统[M]. 2 版. 北京: 北京理工大学出版社, 2011: 58.

[10] 崔伟. 模式建模基础[M]. 北京: 中国纺织服装出版社, 2014: 29-33.

[11] HUANG Hua, ZHANG Yi-lai, YU Xiang. Study and Implementation of Ceramic Pattern Intelligent Design[C]// 2010 International Conference on Computing, Control & Industrial Engineering. Wuhan: IEEE, 2010: 132-135.

[12] GLASGOW J I. The Imagery Debate Revisited: A Computational Perspective[J]. *Computational Intelligence*, 1993, 9(4): 255-263.

[13] 刘泽明. 现代图案设计[M]. 重庆: 西南师范大学出版社, 2011: 8.

[14] 王爱红, 陈汗青. 日用陶瓷产品设计在信息时代的发展趋势[J]. *包装工程*, 2013, 32(11): 92.

[15] UNFOLD Design Studio. Ceramic 3d Printing[EB/OL]. (2009-12-12) [2018-12-18]. <http://unfold.be/pages/the-transaction-project>.

[16] JASON F McLennan. The Philosophy of Sustainable Design[M]. Seattle: Ecotone Publishing Company LLC, 2004: 15.

[17] 吴岩. 没有发起性的人工智能不可能取代人类[N]. *光明日报*, 2017-07-22(07).

[18] 殷卫海. 人工智能不可能取代人类[EB/OL]. (2016-04-20) [2017-09-18]. http://www.sohu.com/a/192717897_358040.

[19] 李立新. 价值论: 设计研究的新视觉[J]. *南京艺术学院学报: 美术与设计*, 2011(2): 1-3, 161.

[20] 李依轩, 张继娟. 基于情感慰藉的治愈系产品及其设计原则[J]. *湖南包装*, 2018(5): 19-21.