

24-表油菜素内酯调控苯丙烷代谢增强杏果实抗病性的研究

李丽花, 张瑞杰, 姚远丽, 朱璇

(新疆农业大学食品科学与药学学院, 新疆乌鲁木齐 830052)

摘要: 为了探究 24-表油菜素内酯 (24-epibrassinolide, 24-EBR) 对杏果实抗病性及苯丙烷代谢的影响。以新疆“赛买提”杏为试材, 于 0.05 MPa 的压力下, 用 0.9 mg/L 的 24-表油菜素内酯对绿熟期的杏果实进行减压渗透处理, 以蒸馏水处理为对照, 处理后的杏果实放置 24 h 后损伤接种链格孢菌 (*Alternaria alternata*), 置于温度为 4 °C, 相对湿度为 90%~95% 条件下贮藏, 定期测定苯丙氨酸解氨酶 (PAL)、肉桂酸-4-羟化酶 (C4H)、4-香豆酰-辅酶 A 连接酶 (4-CL) 的活性及木质素、总酚和类黄酮含量, 并统计果实的发病率及病斑直径。结果表明: 24-表油菜素内酯处理能显著提高杏果实 PAL、C4H、4-CL 的活性和木质素、总酚的含量, 在贮藏后期增加类黄酮含量, 降低杏果实损伤接种的病害发生率及病斑直径。说明 24-表油菜素内酯有可能通过诱导杏果实苯丙烷代谢增强来提高果实的抗病性。

关键词: 24-表油菜素内酯; 杏果实; 抗病性; 苯丙烷代谢

文章编号: 1673-9078(2017)9-71-76

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2017.9.010

24-Epibrassinolide Enhances Disease Resistance in Apricot Fruits via Regulation of Phenylpropanoid Metabolism

LI Li-hua, ZHANG Rui-jie, YAO Yuan-li, ZHU Xuan

(College of Food Science and Pharmacy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

Abstract: The effects of 24-epibrassinolide (24-EBR) treatment on disease resistance and phenylpropanoid metabolism in apricot fruits were investigated. Mature-green Xinjiang ‘Saimaiti’ apricot fruits were processed by vacuum osmotic treatment with 0.9 mg/L 24-EBR, or distilled water as a control, at a pressure of 0.05 MPa. Twenty-four hours after treatment, the apricot fruits were inoculated with *Alternaria alternata* and stored at a temperature of 4 °C and a relative humidity of 90%~95%. The phenylalanine ammonia lyase (PAL), cinnamic acid hydroxylase (C4H), and 4-*p*-coumaric acyl coenzyme A ligase (4-CL) activities and lignin, total phenolic, and flavonoid content of the apricot fruits were measured periodically. The disease incidence and lesion diameters of the apricot fruits were also recorded. The results showed that 24-EBR treatment significantly increased the activities of PAL, C4H, and 4-CL and the lignin and total phenolic content, increased the flavonoid content towards the end of the storage period, and decreased the disease incidence and lesion diameter of apricot fruits. These results indicate that 24-EBR treatment can enhance the resistance of fruits to postharvest disease by inducing phenylpropanoid metabolism.

Key words: 24-epibrassinolide; apricot fruits; disease resistance; phenylpropanoid metabolism

杏 (*Prunus armeniaca*), 李属, 呼吸跃变型果实, 据 2015 年新疆统计年鉴显示, 杏果实在新疆种植面积为 13.24 万公顷, 占全疆林果业种植面积的 13.93%, 杏产量 128.16 万吨, 占全疆水果产量的 14.93%^[1], 由于杏果采收季节正值高温夏季, 后熟期短, 易受病原

收稿日期: 2017-02-06

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (31460414); 公益性行业 (农业) 科研专项 (201303075); 南京农业大学-新疆农业大学联合基金项目 (KYJY 201605)

作者简介: 李丽花 (1992-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 果蔬贮藏与保鲜

通讯作者: 朱璇 (1971-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 果蔬贮藏与保鲜

菌的侵染, 导致严重的采后损失。由链格孢 (*Alternaria alternata*) 引起的黑斑病, 是杏果实采后的主要病害^[2]。目前广泛采用化学杀菌剂抑制和缓解杏果采后病害, 但面临着使用不当会造成环境污染、病原菌易产生耐药性及药物残留给人体健康造成危害等问题, 因此, 需要寻找一种安全及有效的病害控制技术。

油菜素内酯 (Brassinosteroids, BRs) 是一种普遍存在于植物中的天然植物激素, 它已经被公认为第六类植物激素, 对植物的生长和发育, 生物和非生物胁迫的发展起着至关重要的作用^[3]。随着研究的不断深入, 近年来, 油菜素内酯也被用于调控果蔬采后的抗

病性。研究表明油菜素内酯不仅能够显著抑制青椒^[4]、番茄^[5]和茄子^[6]果实冷害的发生,还能提高枣^[7]、西葫芦^[8]和葡萄^[9]等的采后抗病性。苯丙烷代谢是植物和果蔬中次生代谢产物合成的主要途径,其代谢产物木质素、酚类物质和类黄酮等与植物抗病性密切相关^[10]。研究证实,有些生物调节剂能够通过诱导果实的苯丙烷代谢来增强果实的抗病性^[11-13]。但果蔬抗病性的效果因生物调节剂的种类、浓度、果蔬种类、诱导时间及诱导处理方法的不同而不同。24-表油菜素内酯在杏果实上调控苯丙烷代谢对杏果实抗病性的影响还未见报道。

本研究以新疆“赛买提”杏为试验材料,探究 24-表油菜素内酯(24-epibrassinolide, 24-EBR)调控苯丙烷代谢对杏果实采后抗病性的影响,以期对杏采后抗病提供新的思路和方法。

1 材料与方法

1.1 材料和菌种

赛买提杏采自新疆库车县乌恰镇杏果园,采收后 12 h 内运回新疆农业大学果蔬采后生理研究室,选择大小均匀,硬度为 $1.3(\pm 0.1)$ kg/cm²,可溶性固形物为 12.5(±0.5)%,无病害、虫害及机械损伤的杏果实作为实验样品。

链格孢菌:参考贾盼盼^[14]方法,采集典型孢链格孢菌发病的杏果实,取病健交界处组织放置于 75%乙醇溶液中约 30 s,用以杀灭杂菌,然后用无菌水反复冲洗组织,将冲洗干净的组织移到配置好的马铃薯葡萄糖琼脂(PDA)培养基上,置于无菌的恒温培养箱中 25 °C 保温培养。待菌落形成后采用稀释法进行单孢分离、培养,并进行鉴定和回接试验。将纯化好的菌种接种到斜面 PDA 培养基上,于 4 °C 保存待用。

1.2 试验方法

1.2.1 油菜素内酯处理

在预实验的基础上,筛选出 24-EBR 对杏果实病害控制的浓度为 0.9 mg/L。将杏果实用浓度为 0.9 mg/L 的 24-EBR(分子量为 480.68,高纯,92%;购自上海源叶生物科技有限公司)溶液,参照郭科燕^[15]的方法进行减压渗透处理,即将杏果实完全浸没到 24-EBR 溶液中进行抽气,至压力降到 0.05 MPa 时保持 2 min,然后恢复到常压状态,让杏果实在常压下继续浸泡 5 min,取出自然晾干。以蒸馏水处理的杏果实作为对照(CK)。将处理后且完全晾干的杏果实

置于温度为 4 °C、相对湿度为 90%~95%的冷库贮藏。

1.2.2 链格孢菌孢子悬浮液的配置

参考 Bi^[16]方法进行修改,将纯化好的链格孢菌接种到 PDA 培养基中,于 25 °C 培养 7 d,加入 10 mL 的含有 0.01% Tween-80 的无菌水,用接种环将 PDA 平板上的孢子刮下,倒入 50 mL 的锥形瓶中形成孢子悬浮液,然后放置在微型旋涡混合器上振荡 15 s,再用灭菌的双层纱布过滤混合均匀的孢子悬浮液,收集孢子悬浮液,最后用血球计数板在显微镜下计数,并且调节浓度使滤液中链格孢菌孢子的浓度达到 1×10^6 个/mL,4 °C 下保存备用。

1.2.3 损伤接种链格孢菌

将 24-EBR 处理后的杏果实和对照杏果实在 24 h~48 h 内进行损伤接种,实验全过程在无菌操作台中进行。先用 75%乙醇溶液擦洗消毒杏果实表面,再用经过灭菌的铁钉在杏果实中部刺孔 1 个(直径 3.5 mm,深度 3 mm),向刺孔内注入 20 μL 的孢子悬浮液,随后用胶带在注射孔的上方粘贴出个空室,预防其他微生物的进入,并保持局部湿度有利于病原菌的生长。接种完成后,将果实有孔的一面向上放置,整齐地置于塑料管内且杏果实之间保持距离,置于 4 °C、RH 90%~95%的冷库中贮藏。每次处理用果 30 个,3 次重复。定期取杏果实进行发病率、病斑直径的统计及苯丙氨酸解氨酶(PAL)、肉桂酸羟化酶(C4H)、4-香豆酰-辅酶 A 连接酶(4-CL)的活性及木质素、总酚和类黄酮的含量的测定。

1.3 测定指标及方法

1.3.1 果实接种发病率及病斑直径

利用十字交叉法测量病斑直径,当注射孔菌斑直径大于 0.4 cm 时即为发病。果实接种发病率计算公式如下:

$$\text{接种发病率}(\%) = \frac{\text{果实发病总孔数}}{\text{果实总个数}} \times 100\%$$

1.3.2 PAL 活性的测定

参照曹建康等^[17]的方法。

1.3.3 4-CL 活性的测定

参照范存斐等^[18]的方法。

1.3.4 C4H 活性的测定

参照范存斐等^[18]的方法。

1.3.5 总酚和类黄酮的测定

参照 Pirie 等^[19]的方法。

1.3.6 木质素的测定

参照 Morrison^[20]的方法。

1.4 数据统计分析

试验数据采用 SPSS v18.0 软件进行方差分析和检验, 并利用 Duncan 多重比较, 进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 24-EBR 对杏果实损伤接种 *A. alternata* 发

病率及病斑直径的影响

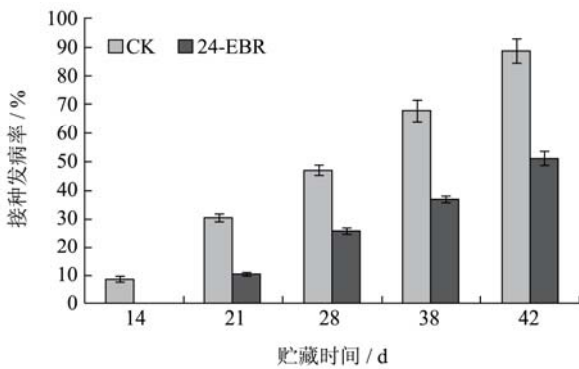


图1 24-表油菜素内酯处理对杏果实接种链格孢菌发病率的影

响 Fig.1 Effect of 24-epibrassinolide treatment on the incidence of disease in apricot fruits inoculated with *A. alternata*

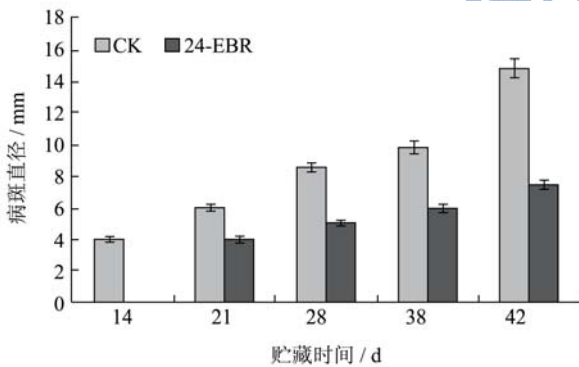


图2 24-表油菜素内酯处理对杏果实病斑直径的影响

Fig.2 Effect of 24-epibrassinolide treatment on lesion diameter in apricot fruits inoculated with *A. alternata*

如图1所示, 在整个贮藏期间, 24-EBR 处理对损伤接种 *A. alternata* 后杏果实的发病率呈现不断上升的趋势, 但 24-EBR 处理组杏果实接种发病率始终低于对照组。对照组杏果实接种的第 14 d 开始发病, 而 24-EBR 处理组未发现发病杏果实。在接种的第 21 d, 对照组与 24-EBR 处理组杏果实均发病, 对照组发病率为 30.25%, 而 24-EBR 处理组则为 10.56%, 相当于对照组的 1/3。到贮藏结束时(42 d), 对照组的接种发病率高达 88.96%, 但 24-EBR 处理组的果实发病率

为 51.23%, 仅为对照组的 57.58% ($p < 0.01$)。

对照组杏果实损伤接种 *A. alternata* 后病斑直径随着贮藏时间不断扩大, 但 24-EBR 处理对损伤接种 *A. alternata* 后杏果实病斑直径扩展有良好的抑制作用(图2)。在贮藏过程中 24-EBR 处理组病斑直径均小于对照组, 接种后第 35 d 和第 42 d 24-EBR 处理组病斑直径分别为 6.00 mm 和 7.40 mm, 比对照组低 38.77%和 50.00% ($p < 0.01$)。说明 24-EBR 处理可以有效减轻杏果实病害的发生及延缓病斑的扩展。

2.2 24-EBR 处理对杏果实 PAL、C4H 和 4-CL

活性的影响

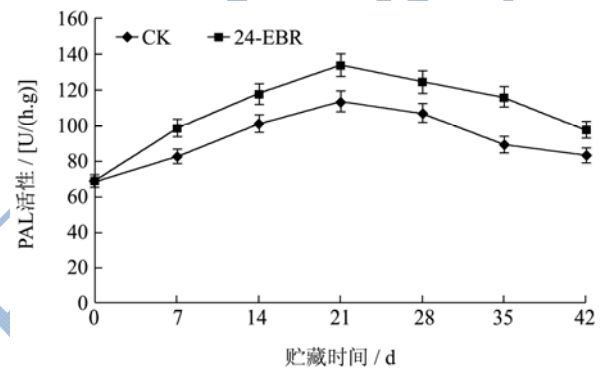


图3 24-表油菜素内酯处理对杏果实 PAL 活性的影响

Fig.3 Effect of 24-epibrassinolide treatment on phenylalanine ammonia ligase activity in apricot fruits

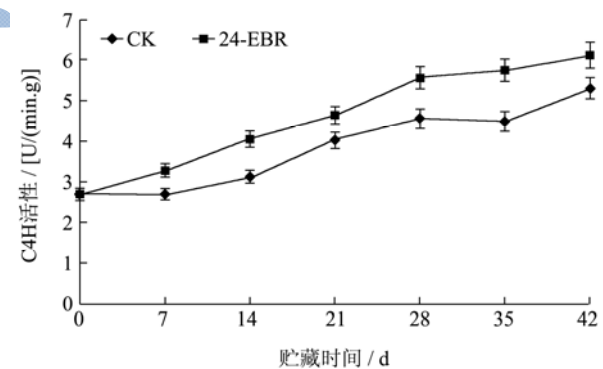


图4 24-表油菜素内酯处理对杏果实 C4H 活性的影响

Fig.4 Effect of 24-epibrassinolide treatment on cinnamic acid hydroxylase activity in apricot fruits

由图3可知, PAL 活性总体呈现先上升后下降的变化趋势。24-EBR 处理组 PAL 活性明显高于对照组。在损伤接种 *A. alternata* 的前期 PAL 活性迅速上升并且在第 21 d 时达到最高活性, 此时 24-EBR 处理组 PAL 活性值为 134.12 U/(h.g), 对照组的活性值为 113.28 U/(h.g), 24-EBR 处理组活性比对照组高 18.40% ($p < 0.05$); 随后杏果实 PAL 值缓慢下降, 在贮藏结束时 24-EBR 处理组 PAL 活性为 98.33 U/(h.g) 比对照

组高出 17.63% ($p<0.05$), 说明在杏果实贮藏期间 24-EBR 处理能够显著提高 PAL 的活性。

24-EBR 处理对杏果实 C4H 活性的影响如图 4 所示, 杏果实在贮藏期间 C4H 活性总体呈缓慢上升的趋势; 24-EBR 处理组的 C4H 活性较对照组的活性相对偏高, 在贮藏第 35 d 差异达到最高, 24-EBR 处理组为 5.74 U/(min·g), 对照组为 4.48 U/(min·g), 24-EBR 处理组高出对照组 28.12% ($p<0.05$)。说明 24-EBR 处理能显著提高杏果实在贮藏期间 C4H 的活性。

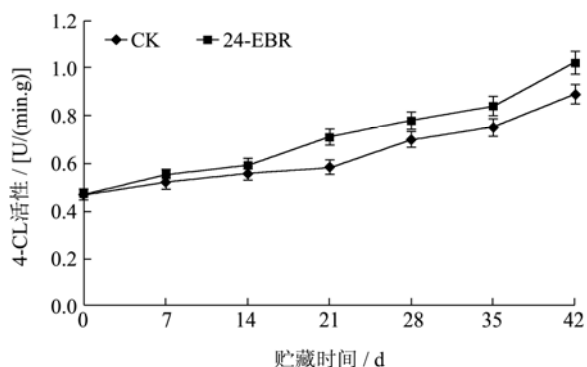


图 5 24-表油菜素内酯处理对杏果实 4-CL 活性的影响

Fig.5 Effect of 24-epibrassinolide treatment on 4-*p*-coumaric acyl coenzyme A ligase activity in apricot fruits

如图 5 所示, 在贮藏过程中 4-CL 总体活性呈现上升的趋势, 24-EBR 处理的杏果实 4-CL 活性显著高于对照组, 在贮藏第 21 d 时出现最大差异, 此时 24-EBR 处理组的 4-CL 活性为 0.71 U/(min·g), 对照组为 0.58 U/(min·g), 24-EBR 处理组活性高于对照组 22.41% ($p<0.05$)。在贮藏结束时 (42 d), 24-EBR 处理组活性比对照组高 14.61% ($p<0.05$), 说明在贮藏过程中, 24-EBR 处理能有效的提高杏果实 4-CL 的活性。

2.3 24-EBR 处理对杏果实总酚、木质素及类黄酮含量的影响

24-EBR 处理对杏果实总酚含量的影响如图 6 所示, 杏果实贮藏期间总酚含量呈缓慢上升的趋势。24-EBR 处理组的杏果实总酚含量始终高于对照组。在贮藏第 28 d 存在最大差异, 此时 24-EBR 处理组总酚含量为 1.33 OD_{280nm}/g FW, 对照组为 1.14 OD_{280nm}/g FW。24-EBR 处理组高于 CK 组 16.67% ($p<0.05$)。这表明 24-EBR 处理可增加杏果实总酚的积累。

24-EBR 处理对杏果实木质素含量的影响如图 7 所示, 杏果实木质素含量随着贮藏缓慢增加, 24-EBR 处理组木质素含量始终高于对照组, 并在第 21 d 有最显著差异。此时 24-EBR 处理组木质素含量为 0.66

OD_{280nm}/g FW, 高于对照组 (0.52 OD_{280nm}/g FW) 26.92% ($p<0.05$)。在贮藏后期 24-EBR 处理组与对照组木质素含量分别为 0.79 OD_{280nm}/g FW 和 0.68 OD_{280nm}/g FW, 24-EBR 处理组高于对照组 16.18% ($p<0.05$), 说明 24-EBR 处理能够有效的促进木质素含量的积累。

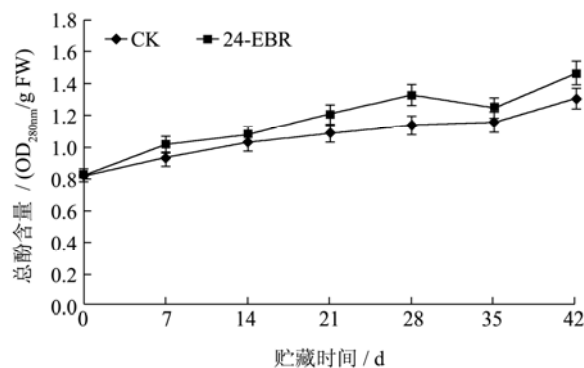


图 6 24-表油菜素内酯处理对杏果实总酚含量的影响

Fig.6 Effect of 24-epibrassinolide treatment on the total phenolic content of apricot fruits

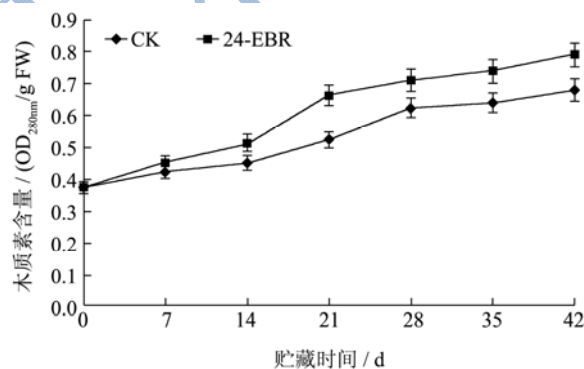


图 7 24-表油菜素内酯处理对杏果实木质素含量的影响

Fig.7 Effect of 24-epibrassinolide treatment on the lignin content of apricot fruits

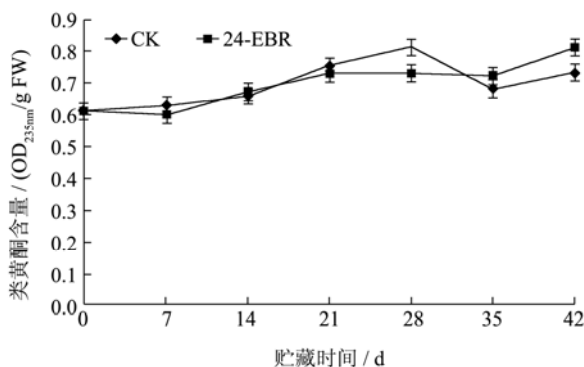


图 8 24-表油菜素内酯处理对杏果实类黄酮含量的影响

Fig.8 Effect of 24-epibrassinolide treatment on the flavonoid content of apricot fruits

24-EBR 对杏果实类黄酮的影响如图 8 所示, 类黄酮在贮藏期间呈缓慢上升的趋势, 24-EBR 处理与对照组在贮藏前期并无显著差异, 甚至低于对照组,

但在贮藏 28 d 时, 对照组出现下降, 而 24-EBR 处理组无明显变化, 在贮藏第 35 d 和第 42 d, 24-EBR 处理组类黄酮含量积累分别高于对照组 5.88% 及 10.96% ($p < 0.05$), 说明在贮藏后期, 24-EBR 处理能有效提高类黄酮的含量。

3 讨论

BR_s 是一种甾醇内酯化合物, 是一种生物活性极高的新型植物激素, 24-表油菜素内酯 (24-EBR) 是其中应用最广泛、市售活性最强的一种油菜素内酯^[21]。目前研究表明 24-EBR 对植物病害具有抗病性。当病原微生物侵染寄主时, 寄主的次生代谢会明显增强, 很多次生代谢产物与寄主的抗病性具有直接的关系^[22]。酚类物质是植物体内重要的次生代谢产物, 寄主受病原物侵染后酚类物质会显著积累, 酚类物质可通过直接抑制病原物的生长, 减轻病原物致病因子的危害, 或者参与愈伤以及伤口周围寄主细胞壁的木质化作用来增强寄主的抗病能力。酚类物质还能在多酚氧化酶 (PPO) 的作用下氧化成高毒性的醌类物质, 对病原微生物进行毒杀和限制。酚类物质主要由莽草酸途径和苯丙烷途径产生^[22], PAL、C4H 和 4-CL 等是苯丙烷途径中的关键酶和限制酶, 这些酶活性的高低直接与寄主的抗性强弱有密切的关联。本实验表明, 24-EBR 处理可能能够显著的提高接种 *A. alternata* 杏果实的 PAL、C4H 和 4-CL 酶的活性, 促使总酚含量的增加, 提高果实的抗病性。Gao^[23]的研究中 24-EBR 能够显著增加桃果实贮藏期间 PAL、C4H、4-CL 的活性, 导致总酚含量的增加而提高贮藏品质。此外, 本实验还表明, 24-EBR 能有效的增加木质素及类黄酮的含量, 与李园园^[24]在草莓上的研究结果一致。

在本实验的预实验中, 0.9 mg/L 的 24-EBR 对 *A. alternata* 没有体外抗菌活性, 但能有效的提高苯丙烷代谢相关酶的活性及次级代谢产物的积累, 抑制损伤接种 *A. alternata* 杏果实的病斑直径, 降低杏果实贮藏期间的接种发病率。Zhu^[26]的研究表明, 24-EBR 没有对青霉 (*Penicillium. expansum*) 体外抗菌活性, 但能抑制枣中青霉病, 且抗病相关酶的活性显著增大; 高静^[25]等的研究表明, BRs 能够通过水稻诱导抗病相关酶基因的表达, 提高酶的活性达到抗病的效果; Zhu 等^[26]认为 5 mg/L 的 24-EBR 能抑制柑橘采后发病率可能是诱导了 H₂O₂ 的积累。因此, 24-EBR 有可能诱导了杏果实苯丙烷代谢的增强从而增强杏果实采后抗病性。

4 结论

综上所述, 24-EBR 能显著提高杏果实 PAL、C4H、4-CL 的活性和木质素、总酚的含量, 在贮藏后期提高类黄酮含量, 降低杏果实损伤接种的病发病率及病斑直径。可能是通过诱导相关酶活性及酚类物质的积累, 增强苯丙烷代谢, 增强杏果实抗病性。

参考文献

- [1] 新疆维吾尔自治区统计局.新疆统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2015
The Xinjiang Uygur Autonomous Region Bureau of Statistics. Xinjiang statistical yearbook [M]. Beijing: China Statistics Press, 2015
- [2] 赵亚婷,朱璇,马玄,等.采前水杨酸处理对杏果实抗病性及苯丙烷代谢的诱导[J].食品科学,2015,36(2):216-220
ZHAO Ya-ting, ZHU Xuan, MA Xuan, et al. Induction of disease resistance and phenylpropanoid metabolism in apricot fruits by pre-harvest salicylic acid treatment [J]. Food Science, 2015, 36(2): 216-220
- [3] Bajguz A, Hayat S. Effects of brassinosteroids on the plant responses to environmental stresses [J]. Plant Physiology & Biochemistry, 2009, 47(1): 1
- [4] Wang Q, Ding T, Gao L P, et al. Effect of brassinolide on chilling injury of green bell pepper in storage [J]. Scientia Horticulturae, 2012, 144: 195-200
- [5] Aghdam M S, Asgari M, Farmani B, et al. Impact of postharvest brassinosteroids treatment on pal activity in tomato fruit in response to chilling stress [J]. Scientia Horticulturae, 2012, 144: 116-120
- [6] 高慧,张宏军,康丽娜,等.24-表油菜素内酯对茄子果实贮藏品质及抗氧化活性的影响[J].西北植物学报,2014, 34(8):1614-1619
GAO Hui, ZHANG Hong-jun, KANG Li-na, et al. Effects of 24-epibrassinolide on the postharvest quality and antioxidant activity of eggplant fruits [J]. Acta Bot. Boreal.-Occident. Sin., 2014, 34(8): 1614-1619
- [7] Zhu Z, Zhang Z Q, Qin G Z, et al. Effects of brassinosteroids on postharvest disease and senescence of jujube fruit in storage [J]. Postharvest Biology & Technology, 2010, 56(1): 50-55
- [8] 陶媛.表油菜素内酯提高西葫芦病毒病抗性的生理机制研究[D].杭州:浙江大学,2005
TAO Yuan. Studies on physiological mechanisms of the improved resistance to CMV by epi-brassinosteroid in

- pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2005
- [9] Liu Q, Xi Z, Gao J, et al. Effects of exogenous 24-epibrassinolide to control grey mould and maintain postharvest quality of table grapes [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2016, 51(5): 1236-1243
- [10] Vogt T. Phenylpropanoid biosynthesis [J]. Molecular Plant, 2010, 3: 2-20
- [11] 葛永红,王毅,毕阳. 柠檬酸处理对厚皮甜瓜黑斑病的抑制及苯丙烷代谢的作用[J]. 食品工业科技, 2013, 34(19): 308-312
GE Yong-hong, WANG Yi, BI Yang. Control of black spot and potentiating of phenylpropanoid pathway in muskmelon fruit treated by citric acid [J]. Science & Technology of Food Industry, 2013, 34(19): 308-312
- [12] 王伟,阮妙鸿,邱永祥,等. 甘薯抗薯瘟病的苯丙烷类代谢研究[J]. 中国生态农业学报, 2009, 17(5): 944-948
WANG Wei, RUAN Miao-hong, QIU Yong-xiang, et al. Phenylpropanoid metabolism of sweet potato against *Pseudomonas solanacearum* [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, Sept., 2009, 17(5): 944-948
- [13] 姜爱丽,胡文忠,孟宪军,等. 外源水杨酸处理对采后蓝莓果实苯丙烷代谢的影响[J]. 食品工业科技, 2013, 34(6): 334-337
JIANG Ai-li, HU Wen-zhong, MENG Xian-jun, et al. Effects of exogenous salicylic acid treatment on phenylpropanoid metabolic system of postharvest blueberry fruits [J]. Science & Technology of Food Industry, 2013, 34(6): 334-337
- [14] 贾盼盼,刘晓丹,齐晨晨,等. 壳寡糖对杏果实采后主要病原菌抑菌作用的研究[J]. 新疆农业科学, 2012, 49(2): 290-295
JIA Pan-pan, LIU Xiao-dan, LIN Chen-chen, et al. Study on influencing factors of the antifungal activity on the main postharvest disease-producing fungus of apricot fruit by oligochitosan [J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2012, 49(2): 290-295
- [15] 郭科燕,左宝莉,朱璇,等. 水杨酸处理对杏果实贮藏品质的影响[J]. 食品工业科技, 2012, 33(15): 335-337
GUO Ke-yan, ZUO Bao-li, ZHU Xuan, et al. Effect of salicylic acid treatment on storage quality of apricot fruits [J]. Science & Technology of Food Industry, 2012, 33(15): 335-337
- [16] Bi Y, Tian S, Zhao J, et al. Harpin induces local and systemic resistance against *Trichothecium roseum* in harvested Hami melons [J]. Postharvest Biology & Technology, 2005, 38(2): 183-187
- [17] 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
CAO Jian-kang, JIANG Wei-bo, ZHAO Yu-mei. Experiment guidance of postharvest physiology and biochemistry of fruits and vegetables [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007
- [18] 范存斐,毕阳,王云飞,等. 水杨酸对厚皮甜瓜采后病害及苯丙烷代谢的影响[J]. 中国农业科学, 2012, 45(3): 584-589
FAN Cun-fei, BI Yang, WANG Yun-fei, et al. Effect of salicylic acid dipping on postharvest diseases and phenylpropanoid pathway in muskmelon fruits [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2012, 45(3): 584-589
- [19] Pirie A, Mullins M G. Changes in anthocyanin and phenolic content of grapevine leaf and fruit tissue treated with sucrose, nitrate and abscisic acid [J]. Plant Physiology, 1976, 58(4): 468-472
- [20] Morrison I M. A semi-micro method for the determination of lignin and its use in predicting the digestibility of forage crops [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1972, 23(6): 791
- [21] Hu W H, Wu Y, Zeng J Z, et al. Chill-induced inhibition of photosynthesis was alleviated by 24-epibrassinolide pretreatment in cucumber during chilling and subsequent recovery [J]. Photosynthetica, 2010, 48(4): 537-544
- [22] 罗云波. 果蔬采后生理与生物技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 2010
LUO Yun-bo. Postharvest physiology and biotechnology of fruits and vegetables [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2010
- [23] Gao H, Zhang Z K, Lv X G, et al. Effect of 24-epibrassinolide on chilling injury of peach fruit in relation to phenolic and proline metabolisms [J]. Postharvest Biology & Technology, 2016, 111: 390-397
- [24] 李园园,王莉,周梦洁,等. 2,4-表油菜素内酯对草莓果实贮藏品质及抗氧化活性的影响[J]. 食品科学, 2017
LI Yuan-yuan, WANG Li, ZHOU Meng-jie, et al. Effect of 2,4-epibrassinolide on the postharvest quality and antioxidant activity of strawberry fruit [J]. Food Science, 2017
- [25] 高静,张昊,王凤茹,等. 油菜素内酯提高水稻抗病性的分子机制[J]. 植物保护学报, 2016, 43(2): 347-348
GAO Jing, ZHANG Hao, WANG Feng-ru, et al. The mechanism of enhancing disease resistance of rice (*Oryza sativa*) by brassinosteroid [J]. Journal of Plant Protection, 2016, 43(2): 347-348

[26] Zhu F, Yun Z, Ma Q, et al. Effects of exogenous 24-epibrassinolide treatment on postharvest quality and resistance of satsuma mandarin (*Citrus unshiu*) [J]. Postharvest Biology & Technology, 2015, 100(100): 8-15

