

窦 勇,胡佩红,田林双,等. 多聚赖氨酸对梨果采后青霉病防效及其抗性诱导机制[J]. 江苏农业科学,2022,50(14):177-182.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.14.025

多聚赖氨酸对梨果采后青霉病防效及其抗性诱导机制

窦 勇¹, 胡佩红², 田林双¹, 吴存兵¹

(1. 江苏财经职业技术学院粮食与食品药品学院,江苏淮安 223003; 2. 淮安正昌饲料有限公司技术部,江苏淮安 223008)

摘要:为研究多聚赖氨酸对梨果采后青霉病的防治效果,以期为其在梨果采后病害防控及贮藏保鲜中得到应用。采用打孔处理方法,将不同浓度的多聚赖氨酸注入梨果果肉组织,诱导处理 24 h 后,接种 1×10^5 个/mL 青霉孢子悬液,以无菌生理盐水为对照。储藏后,每隔 24 h 通过测定伤口腐烂率和腐烂直径考察多聚赖氨酸对青霉病的控制效果;采用控制梨果青霉病最佳浓度的多聚赖氨酸对梨果整果进行浸泡处理,考察其对梨果抗病效果和贮藏品质的影响,并研究梨果抗性酶活性变化情况。结果表明,打孔处理时,600 mg/L 多聚赖氨酸能最有效地控制梨果采后青霉病,该浓度整果浸泡处理梨果 3 min 后,也能有效控制梨果青霉病,且储藏品质比对照组更好,且梨果抗性酶多酚氧化酶(PPO)、过氧化物酶(POD)和苯丙氨酸解氨酶(PAL)活性比对照组显著升高。多聚赖氨酸可以有效控制梨果采后青霉病,提高梨果的储藏品质,延长采后梨果的货架期,具有较高的市场应用价值。

关键词:多聚赖氨酸;梨果;青霉病;抗性诱导;控制效果

中图分类号: S661.209+.3;TS255.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-1302(2022)14-0177-06

梨(*Pyrus pyrifolia* Nakai)属于蔷薇科植物,梨果营养丰富,富含多种维生素和纤维素,具有利于消化、通便、去咳化痰和保护心血管的效果。在自然情况下,梨果采摘后生理衰变速度快,组织一旦受到机械损伤,极易受到霉菌侵染,腐烂率极高,食用品质急剧下降,极大地降低了梨果的商品价值。据统计,梨果采后贮藏保鲜技术水平有限,因包装、贮运到上市销售过程中生理病害及机械损伤引起的霉菌感染造成的经济损失约 30%。梨果采后由真菌引起的病害主要为扩展青霉(*Penicillium expansum*)引起的青霉病及由灰葡萄孢(*Botrytis cinerea*)引起的灰霉病^[1],其中青霉病是影响梨果商品价值的最主要病害,它不仅会引起梨果腐烂变质,部分致病青霉菌还会分泌展青霉素(patulin,简称 PAT),PAT 对人类具有明显的致癌、致畸、致突变作用,严重危害消费者生命健康。目前,控制梨果采后病害的方法包括物理方法、化学方法、生物控制方法。Li 等发现用紫外线处理梨果,能有效控

制梨果采后霉菌病害,其腐烂直径显著低于对照组^[2]。李自芹用 0.7 g/L 的水杨酸或 0.15% 苯甲酸钠处理库尔勒梨果,可有效控制库尔勒梨果采后黑头病,并保存良好的储藏品质^[3]。张奇儒从果园里分离筛选出 1 株可有效控制梨果采后青霉病的酵母菌,该菌经鉴定为异常威克汉姆酵母,经毒理学研究表明该菌安全、无毒,使用浓度为 1×10^8 个/mL 的异常威克汉姆酵母对梨果采后青霉病的控制效果最佳^[1]。梨果采后病害的物理控制方法具有安全、无毒的优点,但物理方法操作繁杂且费用高。而生物防治目前研究主要集中于安全无毒的拮抗酵母的筛选,由于在梨果病害防治过程中存在酵母菌活力下降的不足之处,造成推广运用存在一定的阻碍。化学防治方法具有显著的防病效果,目前使用最为普遍,但化学杀菌剂存在一定的药物残留,危害消费者健康,且在使用过程中会对环境造成一定程度的污染,此外一些食品防腐剂如山梨酸钾及苯甲酸钠也可在一定程度上控制梨果采后病害,但其只能抑制霉菌生长,不能杀灭霉菌,对病害控制效果有限。

多聚赖氨酸(poly-L-lysine,简称 PL)是一种常见的食品防腐剂,它是由多个赖氨酸单体组成的直链状多聚体,分子式为 $C_{16}H_{12}N_2O_n$,是由白色链霉菌属的生产菌产生的次级代谢产物,经分离提取精制而获得的发酵产品,进入人体后可分解为赖氨酸,因此 PL 安全无毒。本研究针对造成梨果采后损失最严重的

收稿日期:2021-08-30

基金项目:江苏省政策性引导项目——苏北科技专项富民强县项目(编号:SZ-HA2019011);江苏省“333 人才工程”第五期人才资助项目;2021 年江苏省青蓝工程教学团队——粮食工程技术教学团队项目。

作者简介:窦 勇(1979—),男,安徽巢湖人,硕士,副教授,主要从事农产品贮藏与保鲜研究工作。E-mail:douyong1979@163.com。

病害青霉病,通过打孔处理和整果处理方法,研究 PL 对梨果采后青霉病的控制效果和其对梨果储藏品质的影响,探明其控制梨果采后青霉病的最佳使用浓度,并初步探讨其抗性诱导机制,以期使 PL 能在梨果采后病害防控及贮藏保鲜中得到应用。

1 材料与方法

1.1 试验时间与地点

试验时间为 2021 年 3 月 20 日至 5 月 30 日,在江苏财经职业技术学院粮食与食品药品职业技术学院食品加工技术实验室完成。

1.2 主要仪器

试验仪器主要有 TopPette 单道可调移液器[大龙兴创实验仪器(北京)股份公司]、MS104TS/02 电子天平[梅特勒-托利多国际贸易(上海)有限公司]、LHS-250SC 型恒温恒湿培养箱(上海一恒科学仪器有限公司)、AP-0650010 血球计数板(德国 MARIENFELD 公司)、GL-20G-II 高速冷冻离心机(上海安亭科学仪器厂)。

1.3 供试材料

1.3.1 供试水果 试验用正常商业成熟度的梨果(Shuijing),选择个体大小基本一致,没有机械损伤和病虫害,且未经任何商业防腐处理的梨果。用体积分数为 0.2% 的 NaClO 溶液浸泡处理梨果 1 min,再用自来水冲洗干净后晾干备用。

1.3.2 供试病原菌 选择自然腐烂长满青霉菌的梨果上分离出的青霉菌,经生理生化 and 分子生物学鉴定该菌为扩展青霉菌,为梨果的致病菌。挑取 1 环青霉菌孢子接种于 20 mL 马铃薯葡萄糖肉汤(PDB)培养基中,25 ℃ 培养 24 h,吸取 0.1 mL 孢子悬浮液均匀涂布于马铃薯葡萄糖琼脂培养基(PDA)上,在 25 ℃ 下培养 7 d^[4]。7 d 后,在培养基中加入无菌生理盐水,用无菌的移液管头轻轻刮取青霉菌孢子,用血球计数板测定孢子悬浮液浓度,用无菌生理盐水稀释至 1×10^5 个/mL,备用。

1.3.3 主要试剂 试验主要试剂有次氯酸钠(化学纯,购自国药化学试剂有限公司)、多聚赖氨酸(分析纯,购自国药化学试剂有限公司)。

1.4 试验方法

1.4.1 多聚赖氨酸打孔处理对梨果采后青霉病的控制效果研究 采用无菌打孔器在供试梨果赤道处均匀打 3 个孔,孔径为 4 mm × 3 mm,将 20 μL 不同浓度的多聚赖氨酸溶液(200、400、600、800、

1 000 mg/L)分别注入小孔里,对照组注入等量的无菌生理盐水。将其置于已用乙醇消毒后的塑料筐中,用聚乙烯薄膜覆盖包裹好,置于恒温恒湿箱中,于相对湿度为 96%、20 ℃ 条件下储存 24 h。用移液枪将 20 μL 浓度为 1×10^5 个/mL 的青霉孢子悬液注入孔中,相同条件下,储存 6 d,每隔 1 d 统计梨果腐烂情况,并测定腐烂直径。试验分 6 个处理,每个处理 12 个梨,试验重复 3 次^[5-8]。

1.4.2 多聚赖氨酸整果处理对梨采后青霉病的控制效果研究 根据“1.4.1”节的试验结果,采用抑制梨果腐烂效果最佳浓度的多聚赖氨酸,浸泡供试梨 3 min,同样在梨的赤道处用无菌打孔器打 3 个孔,孔径为 4 mm × 3 mm,注入 20 μL/孔浓度为 1×10^5 个/mL 的青霉孢子悬液,梨置于经乙醇消毒后的塑料方框内,用聚乙烯薄膜包裹好并置于恒温恒湿箱中,设置温度为 20 ℃,相对湿度为 96%,储存 6 d,每隔 1 d 统计腐烂情况,并测定腐烂直径,腐烂直径为腐烂孔的直径,未腐烂孔的腐烂直径定义为 0。试验分 6 个处理,每个处理 12 个梨,试验重复 3 次^[9-11]。

1.4.3 多聚赖氨酸整果处理对梨采后储藏品质的影响 根据“1.4.2”节的试验结果,采用整果处理控制青霉病效果最佳浓度的多聚赖氨酸,浸泡供试梨 3 min,以无菌生理盐水为对照组。用聚乙烯薄膜覆盖包裹好置于恒温恒湿箱中,于 20 ℃,相对湿度 96% 的条件下,储存 60 d 后,测定梨的可滴定酸含量、维生素 C 含量、硬度、可溶性固形物含量、失重率、褐变度,并统计其腐烂率和腐烂直径,各指标测定方法如下:

可滴定酸含量:参考韩雅珊的方法^[12]。每隔 5 d 进行酸碱滴定法的测定,可滴定酸含量以苹果酸含量计(折算系数为 0.067)。

维生素 C 含量:使用紫外分光光度法^[13],波长选择在最大吸收峰 243 nm 处测定吸光度,计算供试苹果中维生素 C 的含量。

硬度:参考 Gunness 等的方法,采用 TA-XT2i 质构分析仪对梨果的硬度进行测定^[14-15]。

可溶性固形物含量:采用全自动折光仪进行测定,结果以百分比计。

失质量率:苹果储存前后的质量差,结果以百分比计。

自然腐烂率:统计苹果腐烂情况,计算腐烂率。

褐变度($D_{420\text{ nm}}$):参考蔡孟轩等的研究结果,波

长选择在最大吸收峰 420 nm 处测定吸光度^[16]。

1.4.4 多聚赖氨酸处理梨对其抗性酶活性的影响^[17-21] 试验分为 2 组, 每组 15 个梨。试验组使用 600 mg/L 的多聚赖氨酸溶液浸泡 3 min, 对照组使用无菌的生理盐水浸泡 3 min。风干后, 置于事先准备好的已用乙醇消毒后的塑料筐中, 再用聚乙烯薄膜包裹好放进恒温恒湿箱中, 储存 6 d, 分别测贮藏 0、2、4、6 d 后梨苯丙氨酸解氨酶(PAL)、多酚氧化酶(PPO)、过氧化物酶(POD)的活性。取 2 g 梨果果肉(皮下 0.2 ~ 10.0 mm), 立即用液氮迅速冷冻后与少量硅砂混合, 置于预冷的研钵中, 研磨至粉末。加入 1 mL 含 0.038% 乙二胺四乙酸(EDTA)和 1% 聚乙烯吡咯烷酮(PVPP)的预冷 PBS(50 mmol/L, pH 值 7.8), 溶解粉末并转移到离心管中, 剩余的组织用 9 mL 的 PBS 洗涤收集, 然后在 4 ℃ 下以 10 000 r/min 离心 5 min, 收集上清液用于测定 PAL、PPO、POD 活性(单位为 U/g)。

1.4.4.1 苯丙氨酸解氨酶活性的测定 取 1 mL 上清液于比色皿中, 加入 3 mL 硼酸盐缓冲液, 于 290 nm 处测定吸光度。在 37 ℃ 的水浴锅中水浴 60 min, 再次测定吸光度, 以 1 mL 50 mmol/L 的 PBS(pH 值 = 7.8) 为空白对照。计算 2 次的吸光度差, 以吸光度每升高 0.01 为 1 个 PAL 酶活单位。

1.4.4.2 多酚氧化酶活性测定 吸取 2.8 mL 的 0.1 mmol/L 邻苯二甲酚(50 mmol/L PBS, pH 值为 6.4)溶液于比色皿中, 加入 0.2 mL 待测粗酶提取

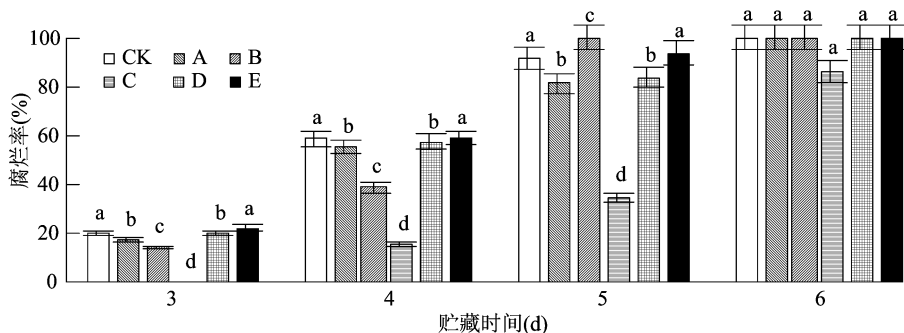
液, 30 ℃ 保温 6 min, 于 398 nm 处测定吸光度, 每隔 1 min 自动测定 1 次, 连续测定 3 次。以吸光度上升 0.01 为 1 个 PPO 酶活单位。

1.4.4.3 过氧化物酶活性测定 将 0.2 mL 粗酶提取液, 加入到 2.2 mL, 50 mmol/L PBS(pH 值为 6.4, 含 0.3% 愈创木酚)中。再加入 0.6 mL 0.3% 的 H_2O_2 (50 mmol/L PBS, pH 值 6.4), 30 ℃ 保温 6 min, 于 470 nm 处测定吸光度, 每隔 1 min 自动测定 1 次, 连续测定 3 次。采用 0.2 mL 50 mmol/L PBS(pH 值 = 6.4) 作为空白对照。POD 酶活单位定义为吸光度每上升 0.01 为 1 个酶活单位。

2 结果与分析

2.1 多聚赖氨酸打孔处理对梨采后青霉病控制效果的研究

由图 1、图 2 可知, 多聚赖氨酸浓度为 600 mg/L 的试验组与对照组相比, 在贮藏 3 ~ 5 d 内腐烂率和腐烂直径较低。浓度在 0 ~ 600 mg/L 时, 随着浓度的增大, 其对梨果青霉病的抑制效果整体逐渐增大。当浓度达到 800 mg/L 以上时, 控制效果开始减弱, 达到 1 000 mg/L 时, 基本没有抑制效果, 可能是因为多聚赖氨酸浓度过大, 破坏了梨果细胞结构造成的。在贮藏 6 d 时, 只有 600 mg/L 试验组腐烂率未达到 100%, 且腐烂直径最低, 说明打孔处理后, 浓度为 600 mg/L 的多聚赖氨酸对梨果采后青霉病的控制效果最佳。



CK 为对照组; A、B、C、D、E 分别为 200、400、600、800、1 000 mg/L 多聚赖氨酸溶液。

图中柱上不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著, 下图同

图1 多聚赖氨酸打孔处理对梨采后青霉病腐烂率的影响

2.2 多聚赖氨酸整果处理对梨采后青霉病的控制效果研究

图 3 是梨果经浓度为 600 mg/L 的多聚赖氨酸浸泡处理 3 min 后接种青霉孢子, 贮藏 3 d 后的腐烂情况, 由图 3 可知, 多聚赖氨酸有效地控制了梨果的青霉病害。由图 4、图 5 可知, 贮藏 6 d 内, 梨果的腐

烂率和腐烂直径均显著低于对照组。从腐烂率来看, 在贮藏的前 5 d, 对照组的腐烂率迅速升高, 且贮藏 4 d 腐烂率已超过 50%; 而处理组腐烂率升高幅度较低, 基本保持在 40% 以内, 且在前 3 d, 尚未腐烂, 到贮藏 6 d 时, 腐烂率迅速升高至 88.35%。从腐烂直径来看, 试验组从贮藏 4 d 时开始腐烂, 腐烂

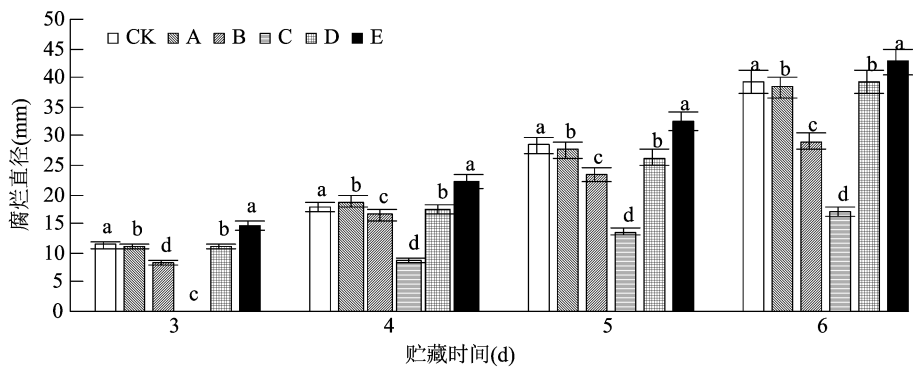


图2 多聚赖氨酸打孔处理对梨采后青霉病腐烂直径的影响

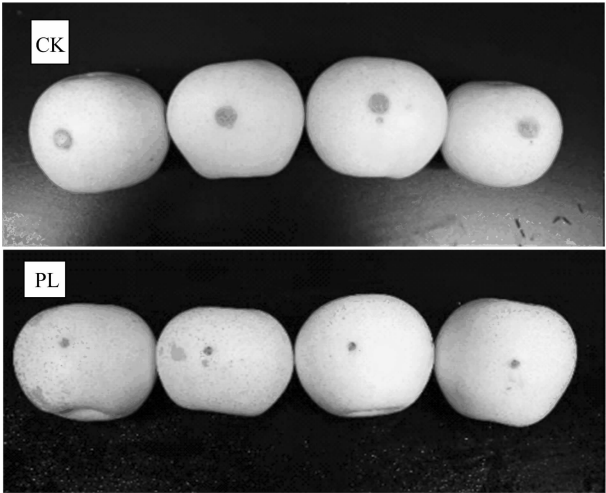
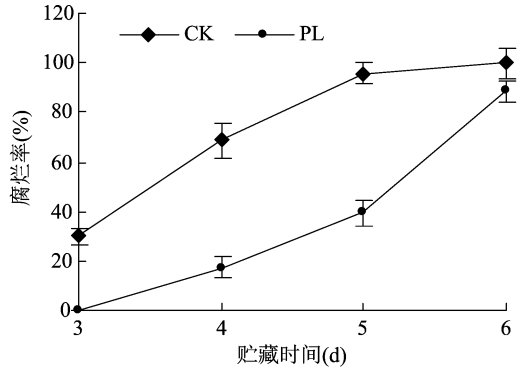


图3 多聚赖氨酸整果处理对梨采后青霉病腐烂率的影响



* 表示通过 Duncan's 多元极差检验, PL 组和 CK 组之间存在显著差异($P<0.05$)。下同

图4 多聚赖氨酸整果处理对梨采后青霉病腐烂率的影响

直径增大缓慢,贮藏 6 d 时,试验组的腐烂直径为 15.74 mm 相比对照组的 43.43 mm 显著降低了 63.76%。由此可见,600 mg/L 多聚赖氨酸整果处理梨果可以有效控制采后青霉病。

2.3 多聚赖氨酸整果处理对梨采后储藏品质的影响

由表 1 可知,经 600 mg/L 多聚赖氨酸整果处理

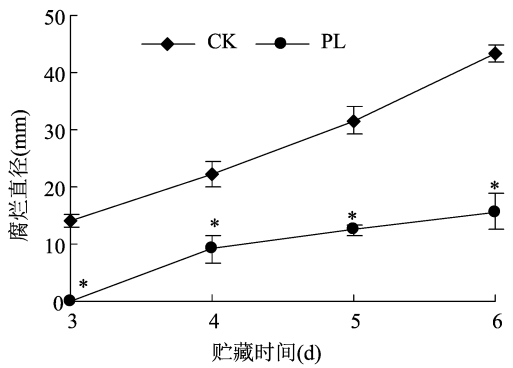


图5 多聚赖氨酸整果处理对梨采后青霉病腐烂直径的影响

的梨果,在贮藏 60 d 后,腐烂率为 2.12%,而对照组的腐烂率达到 15.27%,多聚赖氨酸显著降低了梨果贮藏期的腐烂。处理组硬度显著高于对照组 ($P<0.05$),而失质量率显著低于对照组,说明多聚赖氨酸对梨果具有一定的保水效果。在可滴定酸含量、可溶性固形物含量、维生素 C 含量、褐变度等贮藏品质指标上,处理组与对照组差异不显著。由此可见,多聚赖氨酸整果处理梨果,既能有效控制梨果采后青霉病,对梨的储藏品质也不会产生不良影响,在一定程度上提高了贮藏品质。

2.4 多聚赖氨酸打孔处理对梨果 PPO、POD、PAL 活性的影响

2.4.1 多聚赖氨酸对梨 PPO 活性的影响 由图 6 可知,对照组和处理组 PPO 活性都呈先上升后下降的趋势,但处理组 PPO 活性整体显著高于对照组。在贮藏 4~6 d 处理组和对照组 PPO 活性差别达到最大,多聚赖氨酸处理组梨果的 PPO 活性约为对照组的 1.69~2.09 倍。说明梨果经过多聚赖氨酸诱导处理后,抗性酶 PPO 活性显著提高,有效地提高了梨果对青霉病的抗病力。

2.4.2 多聚赖氨酸对梨 POD 活性的影响 从图 7 可知,对比试验组与对照组的试验结果,POD 活性

表 1 多聚赖氨酸整果处理对梨采后自然腐烂率及贮藏品质的影响

组别	腐烂率 (%)	失质量率 (%)	硬度 (N)	可滴定酸含量 (%)	可溶性固形物含量 (%)	维生素 C 含量 (mg/100 mg)	褐变量 ($D_{420\text{ nm}}$)
CK	15.27 ± 3.15b	3.28 ± 0.05b	9.15 ± 0.11a	0.18 ± 0.05a	12.05 ± 0.21a	4.52 ± 0.02a	0.125 ± 0.02a
PL	2.12 ± 1.36a	1.55 ± 0.08a	10.86 ± 0.58b	0.15 ± 0.04a	11.26 ± 0.22a	4.23 ± 0.13a	0.110 ± 0.01a

注:同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。

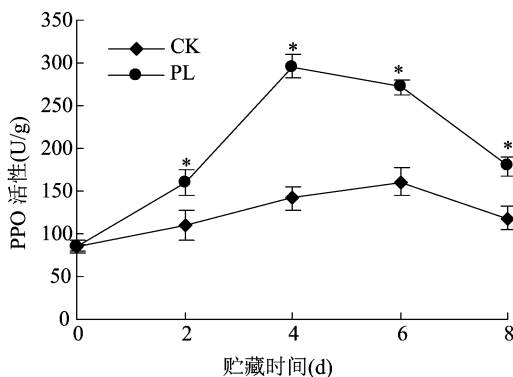


图6 多聚赖氨酸对梨 PPO 活性的影响

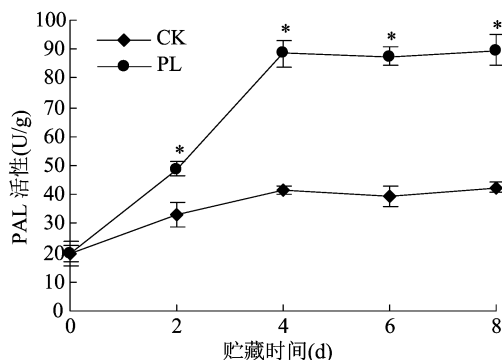


图8 多聚赖氨酸对梨 PAL 活性的影响

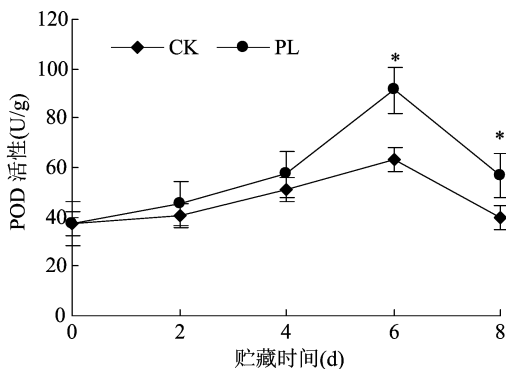


图7 多聚赖氨酸对梨 POD 活性的影响

变化趋势基本一致,均是呈先上升后下降的趋势,但多聚赖氨酸处理组 POD 活性整体显著高于对照组。对照组与试验组的差异在贮藏 6 d 达到最大值,处理组梨 POD 活性为 91.45 U/g,对照组 POD 活性为 63.41 U/g。

2.4.3 多聚赖氨酸对梨 PAL 活性的影响 从图 8 知,PAL 活性均呈先上升后平缓的趋势,处理组 PAL 活性下显著高于对照组。从贮藏 4 d 开始,对照组和处理组的 PAL 活性均处于较高值,处理组 PAL 活性基本是对照组酶活性的 2 倍以上,说明经多聚赖氨酸处理的梨果的抗性酶 PAL 活性显著提高,增强了梨果的抗病力。

3 讨论与结论

PAL、PPO、POD 是植物细胞中最重要的 3 种抗

性防御酶,当病原菌侵染植物体时,植物组织细胞会通过提高 PAL、PPO、POD 的活性来防御外来病原菌的侵染,且这 3 种酶活性与抗病性呈正相关,因此可作为衡量植物抗病性的指标^[22]。梨果经多聚赖氨酸打孔处理诱导 24 h,能够明显提高抗性酶 PAL、PPO、POD 的酶活性,从而提高了梨果对青霉病的抗性,通过对照组与试验组的对比表明,多聚赖氨酸溶液浓度在 200 ~ 600 mg/L 条件下,随着溶液浓度的增加,对梨青霉病的腐败率和腐败直径抑制效果逐渐加强;在 600 mg/L 条件下,对梨青霉病的抑制效果最好,能最大程度地减少青霉病对梨造成的伤害;在 600 mg/L 以上,抑制效果开始减弱,当浓度达到 1 000 mg/L 时,对梨青霉病基本没有抑制效果,可能是因为高浓度的多聚赖氨酸会破坏梨细胞组织,引起自身防御系统故障。梨果浸泡经浓度为 600 mg/L 多聚赖氨酸处理 3 min 的梨,储存 60 d 后,试验组腐烂率和腐烂直径均明显低于对照组。由此可见,多聚赖氨酸不仅对梨果青霉病具有显著的控制效果,而且在一定程度上保护了梨果的储藏品质,有效延长了梨果的贮藏期。

在目前的生产实践中,梨青霉病的防治主要还是依靠化学方法进行,化学方法往往存在农药残留,食用后对人体存在一定的影响,甚至会产生环境污染。多聚赖氨酸作为一种天然的食品防腐剂,进入人体后可以被分解为赖氨酸,被人体正常消化吸收,具有安全无毒的优点,此外多聚赖氨酸

又具有明显的抑菌效果,被广泛应用于食品防腐剂中。本研究结果表明 600 mg/L 的多聚赖氨酸浸泡处理梨果,能有效控制梨果采后青霉病,且多聚赖氨酸安全无毒,对梨果感官品质具有较好的保护作用,因此,多聚赖氨酸在梨果采后保鲜和贮藏中将有较高的应用价值。本课题后续研究将会拓展到多聚赖氨酸对梨果黑霉病控制、草莓采后病害、苹果采后病害控制等方面,以期其能在水果采后病害控制方面得到推广应用。

参考文献:

- [1] 张奇儒. 异常威克汉姆酵母控制梨果采后病害及其诱导梨果抗性相关机制研究[D]. 镇江:江苏大学,2019.
- [2] Li J, Zhang Q, Cui Y, et al. Use of UV - C treatment to inhibit the microbial growth and maintain the quality of yali pear[J]. Journal of Food Science, 2010, 75(7): M503 - M507.
- [3] 李自芹. SA、紫外线和苯甲酸钠对库尔勒香梨采后黑头病的抗病性及贮藏品质的影响研究[D]. 石河子:石河子大学,2013.
- [4] Zhao L N, Wang Y J, Wang Y, et al. Effect of β - glucan on the biocontrol efficacy of *Cryptococcus podzolicus* against postharvest decay of pears and the possible mechanisms involved [J]. Postharvest Biology and Technology, 2020, 160: 111057.
- [5] Dou Y, Routledge M N, Gong Y Y, et al. Efficacy of epsilon - poly - L - lysine inhibition of postharvest blue mold in apples and potential mechanisms [J]. Postharvest Biology and Technology, 2021, 171: 111346.
- [6] Xu M Q, Yang Q Y, Serwah Boateng N A, et al. Ultrastructure observation and transcriptome analysis of *Penicillium expansum* invasion in postharvest pears[J]. Postharvest Biology and Technology, 2020, 165: 111198.
- [7] Ge Y H, Wei M L, Li C Y, et al. Reactive oxygen species metabolism and phenylpropanoid pathway involved in disease resistance against *Penicillium expansum* in apple fruit induced by ϵ - poly - L - lysine [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2018, 98(13): 5082 - 5088.
- [8] Zhu H M, Zhao L N, Zhang X Y, et al. Efficacy of *Yarrowia lipolytica* in the biocontrol of green mold and blue mold in *Citrus reticulata* and the mechanisms involved[J]. Biological Control, 2019, 139: 104096.
- [9] Abdelhai M H, Zhang Q R, Zhao L N, et al. Effects of baobab (*Adansonia digitata* L.) in combination with *Sporidiobolus pararoseus* Y16 on the activities of the defense - related enzymes and the expression levels of defense - related genes of apples [J]. Biological Control, 2019, 139: 104094.
- [10] Godana E A, Yang Q Y, Wang K L, et al. Bio - control activity of *Pichia anomala* supplemented with chitosan against *Penicillium expansum* in postharvest grapes and its possible inhibition mechanism [J]. LWT, 2020, 124: 109188.
- [11] Zhang X Y, Wu F, Gu N, et al. Postharvest biological control of *Rhizopus* rot and the mechanisms involved in induced disease resistance of peaches by *Pichia membranefaciens* [J]. Postharvest Biology and Technology, 2020, 163: 111146.
- [12] 韩雅珊. 食品化学实验指导[M]. 北京:中国农业大学出版社,1992.
- [13] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社,2000.
- [14] Gunness P, Kravchuk O, Nottingham S M, et al. Sensory analysis of individual strawberry fruit and comparison with instrumental analysis [J]. Postharvest Biology and Technology, 2009, 52(2): 164 - 172.
- [15] 牛佳佳, 张四普, 郭超峰, 等. 采前硼处理对酥梨品质和贮藏性的影响[J]. 河南农业科学, 2019, 48(12): 146 - 151.
- [16] 蔡孟轩, 周雅涵, 张鸿雁, 等. 橄榄假丝酵母控制苹果果实青霉病的效果及机制[J]. 食品科学, 2018, 39(5): 265 - 271.
- [17] Wang M Y, Zhao L N, Zhang X Y, et al. Study on biocontrol of postharvest decay of table grapes caused by *Penicillium rubens* and the possible resistance mechanisms by *Yarrowia lipolytica* [J]. Biological Control, 2019, 130: 110 - 117.
- [18] Wang Y, Li Y L, Xu W D, et al. Exploring the effect of β - glucan on the biocontrol activity of *Cryptococcus podzolicus* against postharvest decay of apples and the possible mechanisms involved [J]. Biological Control, 2018, 121: 14 - 22.
- [19] Apaliya M T, Zhang H Y, Yang Q Y, et al. *Hanseniaspora uvarum* enhanced with trehalose induced defense - related enzyme activities and relative genes expression levels against *Aspergillus tubingensis* in table grapes [J]. Postharvest Biology and Technology, 2017, 132: 162 - 170.
- [20] Nishikawa M, Kobayashi K. *Streptomyces* rose produces two different poly(amino acid)s: lariat - shaped γ - poly(L - glutamic acid) and ϵ - poly(L - lysine) [J]. Microbiology, 2009, 155(9): 2988 - 2993.
- [21] Rajapaksha D S W, Kodithuwakku K H T, Silva K S T, et al. Evaluation of potassium sorbate and poly - lysine for their inhibitory activity on post acidification of set yoghurt under cold storage for 20 days[J]. International Journal of Scientific and Research Publications, 2013, 3(6): 2250 - 3153.
- [22] 唐永萍, 石亚莉, 贺军花, 等. 苹果采后灰霉病抗性生理差异分析[J]. 食品科学, 2017, 38(19): 248 - 254.