

拟茎点霉侵染对采后龙眼果皮 LOX 活性和膜脂脂肪酸组分的影响

陈艺晖^{a,b}, 林河通^{a,b*}, 林艺芬^{a,b}, 赵云峰^a, 张居念^a

(福建农林大学, a. 食品科学学院; b. 农产品产后技术研究所, 福州 350002)

摘要: 用拟茎点霉(*Phomopsis longanae* Chi)侵染福眼龙眼(*Dimocarpus longan* Lour. 'Fuyan')果实, 研究龙眼果皮的脂氧合酶(LOX)活性、膜脂脂肪酸组分和细胞膜透性的变化及其与果皮褐变的关系。结果表明: 拟茎点霉侵染导致龙眼果皮褐变指数、LOX 活性和细胞膜透性增加, 不饱和脂肪酸组分[亚油酸($C_{18:2}$)、亚麻酸($C_{18:3}$)和花生一烯酸($C_{20:1}$)]下降而饱和脂肪酸组分[棕榈酸($C_{16:0}$)和硬脂酸($C_{18:0}$)]增加, 脂肪酸不饱和指数(IUFA)和脂肪酸不饱和度下降。拟茎点霉侵染提高龙眼果皮 LOX 活性和加速膜脂不饱和脂肪酸的降解, 从而破坏细胞膜系统的完整性, 导致膜系统区室化功能丧失, 使多酚氧化酶与酚类物质接触, 引起酚类物质的酶促氧化和黑褐色高聚物形成, 导致龙眼果皮褐变。

关键词: 龙眼; 褐变; 脂氧合酶; 脂肪酸组分; 细胞膜透性; 拟茎点霉

中图分类号: Q945.66

文献标识码: A

文章编号: 1005-3395(2011)03-0260-07

doi: 10.3969/j.issn.1005-3395.2011.03.011

Effects of *Phomopsis longanae* Chi Infection on Lipxygenase Activity and Fatty Acid Constituents of Membrane Lipids in Pericarp of Harvested Longan Fruits

CHEN Yi-hui^{a,b}, LIN He-tong^{a,b*}, LIN Yi-fen^{a,b}, ZHAO Yun-feng^a, ZHANG Ju-nian^a

(a. College of Food Science; b. Institute of Postharvest Technology of Agricultural Products, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

Abstract: After harvested longan (*Dimocarpus longan* Lour. 'Fuyan') fruits were infected by *Phomopsis longanae* Chi, the changes in lipxygenase (LOX) activity, fatty acid constituents of membrane lipids and cellular membrane permeability in pericarp were studied. The results showed that the browning index, LOX activity and cellular membrane permeability increased in pericarp of longan fruits infected by *P. longanae*. The unsaturated fatty acids, such as linoleic acid ($C_{18:2}$), linolenic acid ($C_{18:3}$) and gondoic ($C_{20:1}$), decreased, while the saturated fatty acids, such as palmitic acid ($C_{16:0}$) and stearic acid ($C_{18:0}$), increased, and the index of unsaturated fatty acids (IUFA) and unsaturation degree of fatty acids decreased. These suggested that longan pericarp browning induced by *P. longanae* might be due to LOX activity increment and degradation of unsaturated fatty acids of membrane lipids acceleration, which caused the integrity of cellular membrane structure breakage, in turn, the cellular compartmentation function loss, resulting in the contact of polyphenol oxidase (PPO) with phenolic substrates and subsequent oxidation phenolics to form brown polymers.

收稿日期: 2011-02-18

接受日期: 2010-03-23

基金项目: 国家自然科学基金项目(30200192、30671464、30972070); 国家科技支撑计划专项(2007BAD07B06); 教育部高等学校博士学科点专项科研基金项目(20093515110011); 福建省自然科学基金项目(B0510019、2008J0044); 福建省高等学校新世纪优秀人才支持计划(闽教科[2007]20号)资助

作者简介: 陈艺晖(1982~), 男, 福建泉州人, 博士生。研究方向: 果蔬采后生物学与保鲜技术, email: harris2197395@yahoo.com.cn

* 通讯作者 Corresponding author, email: hetonglin@163.com

Key words: Longan (*Dimocarpus longan* Lour.); Browning; Lipoxygenase; Cellular membrane permeability; Fatty acid constituents; *Phomopsis longanae* Chi

龙眼(*Dimocarpus longan* Lour.)果实成熟于夏季高温季节,采后生理代谢旺盛,易出现果皮褐变等品质劣变现象,限制了龙眼果实贮运保鲜期和销售期^[1]。病原菌侵染是导致龙眼果实采后果皮褐变的主要因素之一^[1]。因此,有必要研究病原菌侵染引起龙眼果皮褐变的生理机制。前人研究认为,采后果实成熟衰老或逆境胁迫会引起膜脂过氧化作用加强,导致细胞膜结构完整性丧失,表现为膜脂不饱和脂肪酸含量减少而饱和脂肪酸含量增加、过氧化产物积累、细胞膜透性增大^[2]。脂氧合酶(LOX)是启动膜脂过氧化的重要因子,它能专一催化含顺式1,4-戊二烯结构的多不饱和脂肪酸[以亚油酸($C_{18:2}$)和亚麻酸($C_{18:3}$)为主]的加氧反应而产生膜脂过氧化物,而膜脂过氧化物会破坏细胞膜结构,导致膜系统区室化功能丧失^[3-4],最终使多酚氧化酶与酚类物质接触而发生酶促褐变^[5]。我们前期的研究发现,呼吸解偶联剂2,4-二硝基苯酚(DNP)能显著提高龙眼果皮 LOX 活性,加速膜脂不饱和脂肪酸的降解而引起细胞膜结构完整性的丧失,导致细胞区室化结构破坏,促进龙眼果实采后果皮褐变^[6]。拟茎点霉(*Phomopsis longanae* Chi)是导致龙眼果皮褐变和果实腐烂的主导病原菌^[7]。目前,有关拟茎点霉侵染导致龙眼果皮褐变发生及其与膜脂脂肪酸组分变化的关系未见报道。本文以福建省龙眼主栽名优品种‘福眼’龙眼果实为材料,研究拟茎点霉侵染对龙眼果实采后果皮 LOX 活性、膜脂的脂肪酸组分和细胞膜透性的影响及其与果皮褐变的关系,旨在阐明拟茎点霉侵染导致龙眼果皮褐变的生理机制,为进一步控制龙眼果皮褐变提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 材料

供试福眼龙眼(*Dimocarpus longan* Lour. ‘Fuyan’)果实采自福建省南安市龙眼科技示范场,果实约九成熟。果实采收当天运至福建农林大学食品贮藏保鲜实验室,选择大小均匀、色泽一致、无病虫、无损伤的健康果实作为试验材料。

拟茎点霉(*Phomopsis longanae* Chi)由福建农林大学食品科学学院食品贮藏保鲜实验室分离鉴定和保存。

1.2 拟茎点霉接种处理

龙眼果实去除果梗后,用无菌水冲洗,再用70%酒精消毒5 s,最后用无菌水清洗2次。果实分成2组:一组不做任何处理(对照);另一组用在28℃燕麦培养基上培养15 d的拟茎点霉孢子悬浮液(浓度为 10^4 个 mL^{-1})浸泡接种5 min。两组果实分别置于20个塑料托盘内(每个塑料托盘装果50个),每个塑料托盘用0.015 mm厚的聚乙烯薄膜袋密封包装,之后在 $(28 \pm 1)^\circ\text{C}$ 、相对湿度90%下贮藏。在贮藏期间定期取样观察果皮褐变情况并测定生理生化指标。

1.3 果皮褐变评价

参照林河通等^[8]的方法,每次随机取50个果实,按照果皮内表面褐变面积大小把果皮褐变程度分为6级。1级:褐变面积为0;2级:褐变面积 $< 1/4$;3级: $1/4 \leq$ 褐变面积 $< 1/2$;4级: $1/2 \leq$ 褐变面积 $< 3/4$;5级: $3/4 \leq$ 褐变面积 ≤ 1 ;6级:全部褐变。果皮褐变指数 $= \sum(\text{褐变级数} \times \text{该级果数})/\text{总果数}$ 。

1.4 果皮脂氧合酶(LOX)活性的测定

从10个果实中取果皮2 g,按照林河通等^[9]的方法测定蛋白质含量;按照陈昆松等^[10]的方法测定果皮脂氧合酶(LOX)活性,酶活性结果以 $\text{OD}_{234} \text{ mg}^{-1} \text{ protein min}^{-1}$ 表示。

1.5 果皮膜脂脂肪酸组分的测定

参照陈莲等^[6]的方法,将10个果实的果皮在100℃下钝化脂酶10 min,称取0.25 g置于10 mL具塞试管中,加2 mL苯-石油醚(1:1, V/V),振摇16 h后,离心取清液,再加2 mL 0.1 mol/L KOH-甲醇溶液(1:1, V/V),振摇10 min后再加饱和NaCl至10 mL。抽滤液于GC-9A气相色谱仪测定。测定条件为:20%DEGS担体,3.0 mm $\times$ 2.0 m石英玻璃柱,FID检测灵敏度为0.015 c g^{-1} 。N₂流速50 mL min^{-1} ,H₂流速50 mL min^{-1} ,空气流速500 mL min^{-1} ,柱温195℃,进样口温度240℃。采用标准脂肪酸甲酯的色谱峰保留时间定性分析。果皮膜脂脂肪酸组分定量分析采用对各组分峰面积积分,用归一化法计算各组分的百分含量,并计算膜脂脂肪酸不饱和指数(IUFA)和膜脂脂肪酸不饱和度。膜脂脂肪酸不饱和度=不饱和脂肪酸相对含量/饱和脂肪酸相对含量。

膜脂脂肪酸不饱和指数 = $\left[\sum_i^n (S_i \times t_i) \right] \times 100$,

式中: S_i 表示膜脂不饱和脂肪酸相对含量; t_i 表示该不饱和脂肪酸所含不饱和键的个数。

1.6 果皮细胞膜透性的测定

参照陈莲等^[6]的方法,从 10 个果实中取果皮圆片(直径 5 mm) 2 g,加重蒸馏水 25 mL,在 25℃ 下放置 3 h,搅拌均匀后以 3173 型台式电导率仪测定浸出液的电导度(C_1);随后再将果皮及浸出液回流煮沸 30 min,冷却后加重蒸馏水至 25 mL,搅拌均匀后测定果皮全渗电导度(C_2)。用细胞膜相对渗透率表示果皮细胞膜透性大小,细胞膜相对渗透率(%) = $(C_1/C_2) \times 100\%$ 。

各指标测定均重复 3 次,使用 SPSS 数据分析软件进行数据统计和差异显著性分析,数据为 3 次重复的平均值和标准误差。

2 结果和分析

2.1 果皮褐变指数

由图 1 可知,经拟茎点霉接种处理的龙眼果实贮藏 0~1 d 内,果实基本完好、无感病;但龙眼果实果皮褐变指数随着贮藏时间的延长而增加。对照果实的果皮褐变指数在 0~2 d 内缓慢上升,2~5 d 内快速上升;而在 5~6 d 内变化不大。统计分析表明,在贮藏 1~4 d 内,经拟茎点霉接种处理的龙眼果实果皮褐变指数显著高于对照($P < 0.05$)。这表明,拟茎点霉侵染能显著促进龙眼果实的果皮褐变。

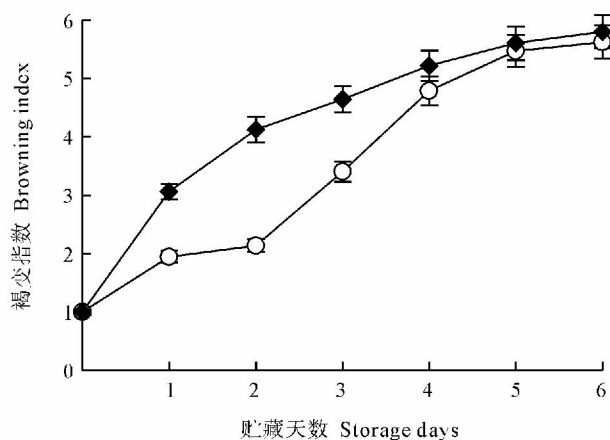


图 1 拟茎点霉侵染后龙眼果皮褐变指数的变化

Fig. 1 Changes in browning index of pericarp of harvested longan fruits infected by *P. longanae*

○ 对照 Control; ◆ 接种 Inoculated

2.2 果脂脂氧合酶(LOX)活性

由图 2 可知,经拟茎点霉接种处理的龙眼果实果皮 LOX 活性在 0~1 d 内快速增加,1~2 d 内变化不大,之后快速上升;而对照果实的果皮 LOX 活性在 0~4 d 内变化不大,4 d 后才快速上升。统计分析表明,在贮藏 1~6 d 内,经拟茎点霉接种处理的龙眼果皮的 LOX 活性极显著高于对照($P < 0.01$)。这表明,拟茎点霉侵染能显著促进龙眼果实果皮 LOX 活性的提高。

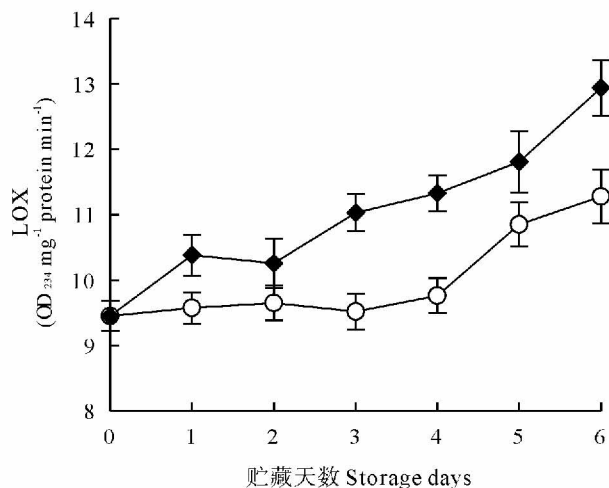


图 2 拟茎点霉侵染后龙眼果脂氧合酶(LOX)活性的变化

Fig. 2 Changes in lipooxygenase (LOX) activity in pericarp of harvested longan fruits infected by *P. longanae*

○ 对照 Control; ◆ 接种 Inoculated

2.3 果皮膜脂脂肪酸组分

脂肪酸是构成生物膜的主要成分,生物膜的稳定性由不同脂肪酸的含量及比例所决定^[6]。采收当天未经拟茎点霉接种处理的福眼龙眼果皮膜脂脂肪酸组分有棕榈酸($C_{16:0}$)、硬脂酸($C_{18:0}$)、油酸($C_{18:1}$)、亚油酸($C_{18:2}$)、亚麻酸($C_{18:3}$)和花生一烯酸($C_{20:1}$),相对含量分别为亚油酸(29%) > 油酸(24.1%) > 棕榈酸(22.4%) > 亚麻酸(15.7%) > 花生一烯酸(5.7%) > 硬脂酸(3.1%)。可见,龙眼果皮膜脂脂肪酸以不饱和脂肪酸(油酸、亚油酸、亚麻酸和花生一烯酸)为主,占 74.5%,而饱和脂肪酸(棕榈酸和硬脂酸)含量仅占 25.5%。

由图 3A 可知,经拟茎点霉接种处理的龙眼果皮的棕榈酸($C_{16:0}$)相对含量在 0~1 d 内快速上升,1~2 d 内快速下降,之后快速上升。进一步比较得到,在贮藏 1~6 d 内的同一贮藏时间,经拟茎点霉接种处理的龙眼果皮棕榈酸相对含量极显著高于对照($P < 0.01$)。

由图 3B 可知,经拟茎点霉接种处理的龙眼果皮硬脂酸($C_{18:0}$)相对含量在 0~1 d 内变化不大,之后随着贮藏时间的延长而升高。进一步比较认为,在贮藏 1~6 d 内的同一贮藏时间,经拟茎点霉接种处理的龙眼果皮硬脂酸相对含量极显著高于对照($P<0.01$)。

由图 3C 可知,经拟茎点霉接种处理的龙眼果皮亚油酸($C_{18:2}$)相对含量在 0~1 d 内略有升高,1~2 d 内快速下降,3 d 后缓慢下降;而对照果实的果皮亚油酸相对含量在 0~1 d 内快速升高,在贮藏 1~4 d 内缓慢下降,4 d 后快速下降。进一步比较

发现,在贮藏 1~6 d 内的同一贮藏时间,经拟茎点霉接种处理的龙眼果皮亚油酸相对含量极显著低于对照($P<0.01$)。

由图 3D 可知,经拟茎点霉接种处理的龙眼果皮亚麻酸($C_{18:3}$)相对含量在 0~2 d 内快速上升,贮藏第 2 天时,其相对含量达到最高,之后快速下降;而对照果实的果皮亚麻酸相对含量在贮藏 0~2 d 内缓慢上升,2~3 d 内略有下降,之后快速上升。统计分析表明,经拟茎点霉接种处理的龙眼果皮亚麻酸($C_{18:3}$)相对含量在贮藏 2~3 d 内极显著高于对照($P<0.01$),而在贮藏 4~6 d 内显著低于对照($P<0.05$)。

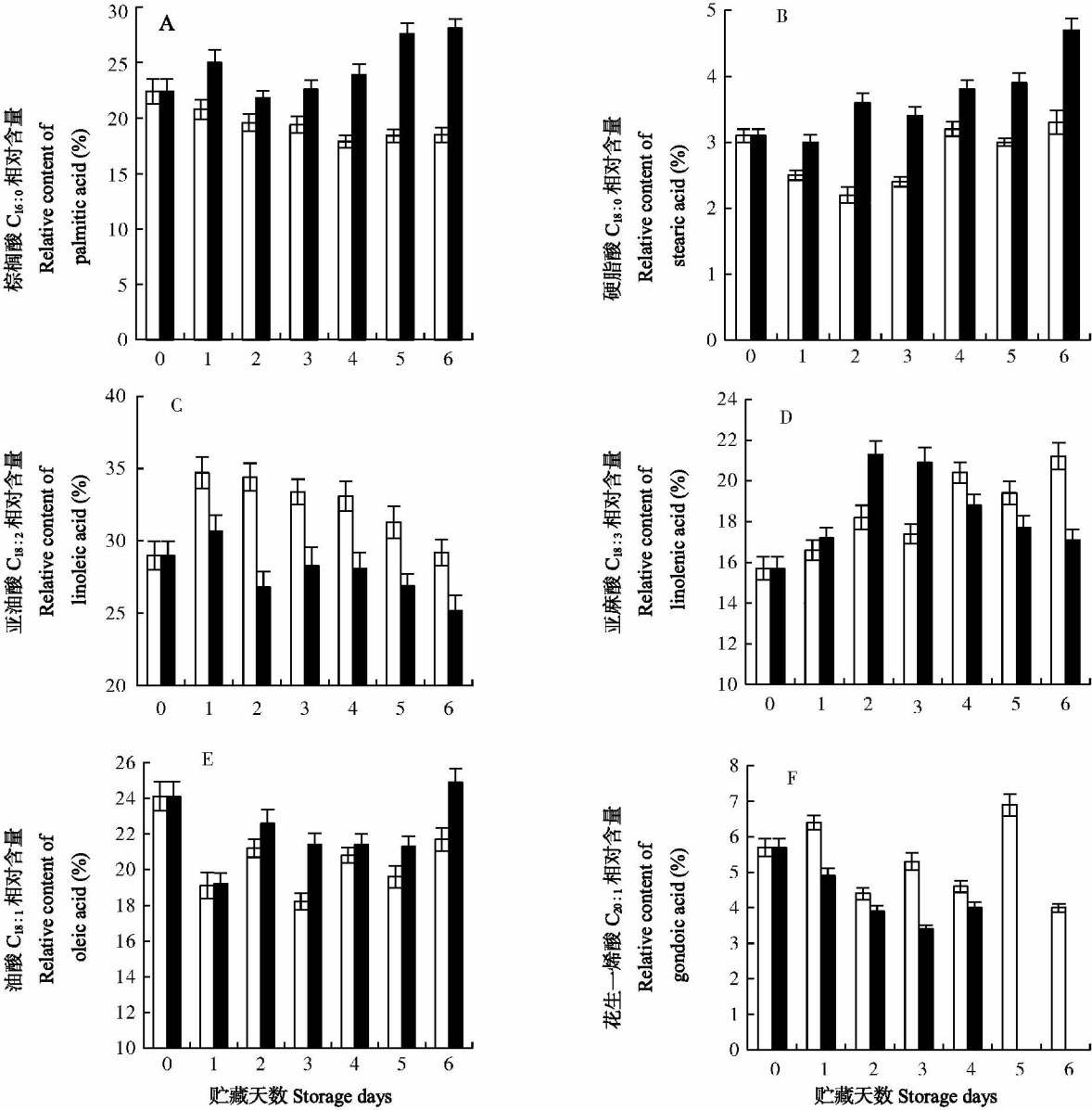


图3 拟茎点霉侵染后龙眼果皮膜脂脂肪酸组分的变化
Fig.3 Changes in fatty acids of membrane lipids in pericarp of harvested longan fruits infected by *P. longanae*
□ 对照 Control; ■ 接种 Inoculated

由图 3E 可知,经拟茎点霉接种处理的龙眼果皮油酸($C_{18:1}$)相对含量在 0~1 d 内快速下降,1~2 d 内快速升高,3~5 d 内变化不大,5~6 d 内快速上升。进一步比较得到,在贮藏 0~1 d 内,经拟茎点霉接种处理的龙眼果皮油酸相对含量与对照果实没有明显差异;而在贮藏 2~6 d 内,经拟茎点霉接种处理的龙眼果皮油酸相对含量显著高于对照($P < 0.05$)。

由图 3F 可知,经拟茎点霉接种处理的龙眼果皮花生一烯酸($C_{20:1}$)相对含量在 0~3 d 内快速下降,到第 5 天时已经完全降解。在整个贮藏期内的同一贮藏时间,经拟茎点霉接种处理的龙眼果皮花生一烯酸相对含量显著低于对照($P < 0.05$)。

因此,拟茎点霉侵染促进了亚油酸($C_{18:2}$)、亚麻酸($C_{18:3}$)和花生一烯酸($C_{20:1}$)等不饱和脂肪酸的相对含量下降;而棕榈酸($C_{16:0}$)和硬脂酸($C_{18:0}$)等饱和脂肪酸的相对含量增加。

膜脂脂肪酸不饱和程度可以用膜脂脂肪酸不饱和指数(IUFA)和脂肪酸不饱和度来衡量^[6]。IUFA 的变化会改变细胞膜的生物物理和生物化学特性,引起膜系统区室化功能的丧失^[2]。由图 4A 可知,经拟茎点霉接种处理的龙眼果皮 IUFA 值在 0~3 d 内缓慢上升,之后快速下降;而对照果实的果皮 IUFA 值在 0~2 d 内缓慢升高,2~3 d 内缓慢下降,之后又快速上升并维持在较高水平。统计分析表明,经拟茎点霉接种处理的龙眼果皮 IUFA 值除第 3 天外均显著低于对照($P < 0.05$)。可见,拟茎点霉侵染能显著促进龙眼果皮膜脂的脂肪酸不饱和程度下降、引起膜区室化功能丧失而导致龙眼果

皮褐变(图 1)。

脂肪酸不饱和度的变化能够直接反映膜脂脂肪酸的构成和比例^[2,6]。由图 4B 可知,经拟茎点霉接种处理的龙眼果皮脂肪酸不饱和度在 0~1 d 内较快下降,在 1~2 d 内较快上升,之后快速下降。另外,贮藏相同时间的龙眼果皮,经拟茎点霉接种处理的脂肪酸不饱和度极显著低于对照($P < 0.01$)。因此,拟茎点霉侵染能显著促进龙眼果皮不饱和脂肪酸的降解,导致脂肪酸不饱和程度的下降。

2.4 果皮细胞膜透性

细胞膜透性大小可以反映植物细胞衰老和遭受破坏的程度,细胞膜完整性可用相对渗透率大小表示^[6]。由图 5 可知,经拟茎点霉接种处理的龙眼果皮细胞膜相对渗透率在 0~2 d 内快速增大,之后缓慢增加。且贮藏相同时间的龙眼果皮,经拟茎点霉接种处理的细胞膜相对渗透率显著高于对照($P < 0.05$)。可见,拟茎点霉侵染可加速破坏龙眼果皮细胞膜结构的完整性。

3 讨论

病原菌侵染可诱导植物体内 LOX 活性提高,促进膜脂过氧化物和游离自由基的产生^[11-12];而膜脂过氧化物的积累和游离自由基的形成在植物抗病防御反应中起重要作用^[13]。经链格孢(*Alternaria alternata*)损伤接种兰州大接杏(*Armeniaca vulgaris* ‘Lanzhou Dajixing’)果实后,伴随着杏黑斑病(*Alternaria rot*)病斑的扩展,LOX 活性提高且始终保持在较高水平,这表明 LOX 活性的提高与杏果实的抗病反应有关^[14]。郭绍东等^[13]报道,膜脂过

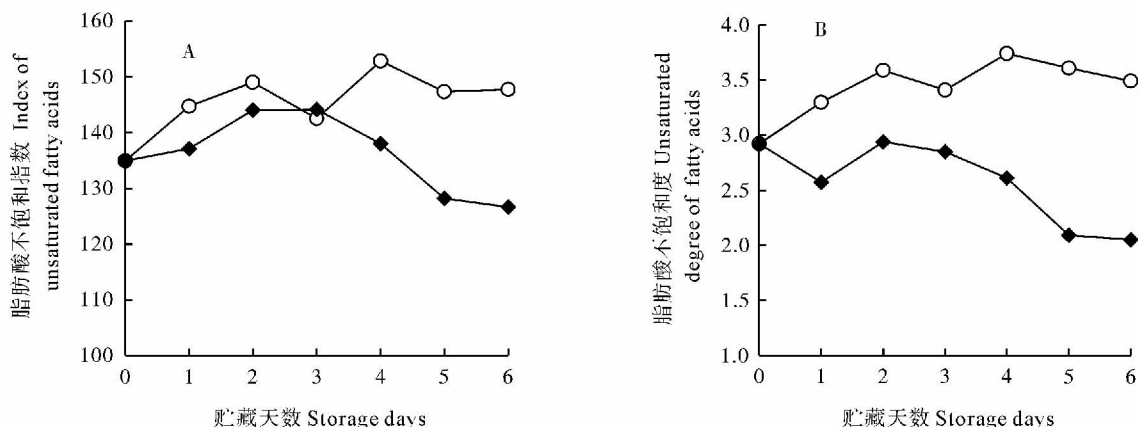


图 4 拟茎点霉侵染后龙眼果皮膜脂脂肪酸不饱和指数(A)和脂肪酸不饱和度(B)的变化

Fig. 4 Changes in index of unsaturated fatty acids (A) and unsaturated degree of fatty acids

(B) in membrane lipids in pericarp of harvested longan fruits infected with *P. longanae*

○ 对照 Control; ◆ 接种 Inoculated

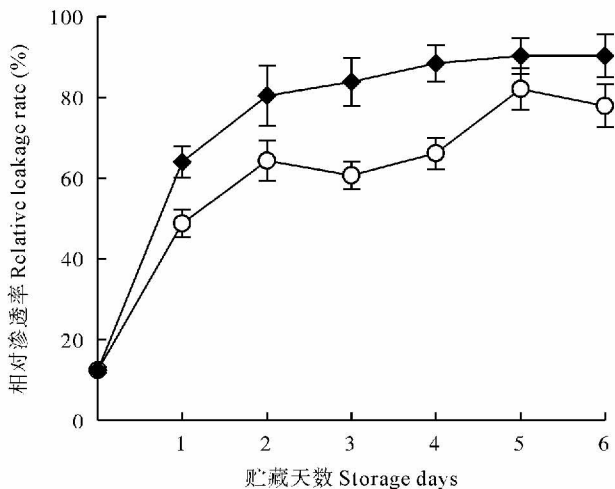


图5 拟茎点霉侵染后龙眼果皮细胞膜相对渗透率的变化

Fig. 5 Changes of relative leakage rate of cell membrane in pericarp of harvested longan fruit infected with *Phomopsis longanæ*

○ 对照 Control; ◆ 接种 Inoculated

氧化物可有效抑制甘薯黑斑病(*Sweet potato black rot*)病原菌(*Ceratocystis fimbriata*)孢子的萌发。本研究结果表明,经拟茎点霉接种处理的龙眼果皮的 LOX 活性在贮藏 0~1 d 内快速增强(图 2),龙眼果实完好、基本无感病,这可能与龙眼果实在拟茎点霉侵染早期(0~1 d 内)迅速启动了膜脂过氧化反应有关。在拟茎点霉侵染早期(0~1 d 内),龙眼果皮的膜脂过氧化作用生成的初级产物丙二醛(MDA)含量和超氧自由基($O_2^{\cdot-}$)的产生速率快速提高(资料待发表),这与龙眼果实在拟茎点霉侵染早期(0~1 d 内)果实产生大量的活性氧和膜脂过氧化产物以抵御拟茎点霉的侵染有关。因此,在拟茎点霉侵染早期,LOX 活性的增强参与了龙眼果实对拟茎点霉侵染的抗病反应。

本研究结果还表明,龙眼果皮的亚麻酸($C_{18:3}$)相对含量在拟茎点霉接种后 2 d 内快速上升,贮藏第 2 天的相对含量达到最高(图 3D),这可能是拟茎点霉侵染早期诱导了龙眼果皮亚麻酸合成以抵御拟茎点霉的侵染。这与亚麻酸可有效抑制甘薯黑斑病病原菌孢子萌发^[13]的研究结果一致。

在正常情况下,促进植物褐变的多酚氧化酶与酚类物质(褐变底物)是通过膜系统在细胞中呈区室化分布,避免了多酚氧化酶与酚类物质的接触,因而防止了正常植物组织中酶促褐变的发生^[15]。果实采后的失水^[9]、能量亏缺^[16]、病原菌侵染^[17]等逆境胁迫可诱导膜脂过氧化作用的发生。LOX 是膜脂过氧化的重要酶类,能催化不饱和脂肪酸产生氢

过氧化物和游离自由基^[3-4],导致组成细胞膜的不饱和脂肪酸相对含量减少,而饱和脂肪酸相对含量增加,从而改变膜脂脂肪酸组分及其饱和程度^[6],破坏了细胞膜结构的完整性,引起膜系统区室化功能丧失,导致多酚氧化酶与酚类物质接触,从而引起果实褐变发生^[15]。本研究结果表明,拟茎点霉侵染导致龙眼果皮的 LOX 活性升高,亚麻酸($C_{18:3}$)、亚油酸($C_{18:2}$)和花生一烯酸($C_{20:1}$)等不饱和脂肪酸的相对含量下降,棕榈酸($C_{16:0}$)和硬脂酸($C_{18:0}$)等饱和脂肪酸的相对含量增加,膜脂脂肪酸不饱和指数(IUFA)和脂肪酸不饱和度下降,果皮细胞膜相对渗透率和果皮褐变指数增加。

综上所述,拟茎点霉侵染后促进了龙眼果皮 LOX 活性提高、膜脂不饱和脂肪酸的降解加速,从而破坏了细胞膜系统的完整性,导致膜系统区室化功能丧失,使多酚氧化酶与酚类物质接触而发生酶促氧化反应,进而形成黑褐色高聚物,最终引起龙眼果皮褐变。

参考文献

- [1] Chen Y H(陈艺晖), Lin Y F(林艺芬), Lin H T(林河通), et al. A review of advances in the studies of factors affecting pericarp browning and anti-browning technologies of harvested longan fruit [J]. Packag Food Machin(包装与食品机械), 2010, 28(3): 27-31.(in Chinese)
- [2] Marangoni A G, Palma T, Stanley D W. Membrane effects in postharvest physiology [J]. Postharv Biol Techn, 1996, 7(3): 193-217.
- [3] Sheng J P(生吉萍), Shen L(申琳), Luo Y B(罗云波). Lipoxygenases: Important enzymes in the ripening and senescence of fruits and vegetables [J]. J Fruit Sci(果树科学), 1999, 16(1): 72-77.(in Chinese)
- [4] Zuo J H(左进华), Chen A J(陈安均), Sun A D(孙爱东), et al. Research progress on the factors related to tomato fruit ripening and senescence [J]. Sci Agri Sin(中国农业科学), 2010, 43(13): 2724-2734.(in Chinese)
- [5] Jiang Y M(蒋跃明), Fu J R(傅家瑞), Xu L G(徐礼根). Membrane effects in postharvest senescence of horticultural crops [J]. Guihaia(广西植物), 2002, 22(3): 160-166.(in Chinese)
- [6] Chen L(陈莲), Lin H T(林河通), Chen Y H(陈艺晖), et al. Effects of 2,4-dinitrophenol on lipoxygenase activity and fatty acid constituents of membrane lipids in pericarp of harvested longan fruits [J]. J Trop Subtrop Bot(热带亚热带植物学报), 2009, 17(5): 477-482.(in Chinese)
- [7] Zhang J N(张居念), Lin H T(林河通), Xie L H(谢联辉), et al. Preliminary studies on latent fungal pathogens in longan fruits [J]. Chin J Trop Crops(热带作物学报), 2006, 27(4): 78-82.(in Chinese)

- Chinese)
- [8] Lin H T(林河通), Chen S J(陈绍军), Xi Y F(席玟芳), et al. Observation on pericarp ultrastructure by scanning electron microscope and its relation to keeping quality of longan fruit [J]. Trans CSAE(农业工程学报), 2002, 18(3): 95–99.(in Chinese)
- [9] Lin H T(林河通), Xi Y F(席玟芳), Chen S J(陈绍军). The relationship between the desiccation-induced browning and the metabolism of active oxygen and phenolics in pericarp of postharvest longan fruit [J]. J Plant Physiol Mol Biol(植物生理与分子生物学学报), 2005, 31(3): 287–297.(in Chinese)
- [10] Chen K S(陈昆松), Xu C J(徐昌杰), Xu W P(许文平), et al. Improved method for detecting lipoxygenase activity from kiwifruit and peach fruit [J]. J Fruit Sci(果树学报), 2003, 20(6): 436–438.(in Chinese)
- [11] Song F M(宋凤鸣), Ge X C(葛秀春), Zheng Z(郑重). The roles of active oxygen species and lipid peroxidation in the resistance of cotton seedlings to *Fusarium* wilt [J]. Acta Phytopathol Sin(植物病理学报), 2001, 31(2): 110–116.(in Chinese)
- [12] Hildebrand D F, Hamilton T R, Legg C S. Plant lipoxygenases, occurrence, properties and possible functions [J]. Curr Topics Plant Biochem Physiol, 1988, 7: 201–219.
- [13] Guo S D(郭绍东), Li H S(李合生). Lipoxygenase and its role in sweet potato tubers infected by *Ceratocystis fimbriata* [J]. Acta Phytopathol Sin(植物病理学报), 1995, 25(4): 325–329.(in Chinese)
- [14] Cao J K(曹建康). Period and mechanism of latent infection of postharvest *Alternaria* rot (*Alternaria alternata*) of apricot fruit (cv. Lanzhou Dajixing) and its control [D]. Gansu Agri Univ(甘肃农业大学), 2002: 23–24.(in Chinese)
- [15] Lin H T(林河通), Xi Y F(席玟芳), Chen S J(陈绍军). A review of enzymatic browning in fruit during storage [J]. J Fuzhou Univ(福州大学学报), 2002, 30: 696–703.(in Chinese)
- [16] Chen L(陈莲), Chen M Y(陈梦茵), Lin H T(林河通), et al. Effects of uncouple agent DNP treatment on browning and active oxygen metabolism in pericarp of harvested longan fruit [J]. Sci Agri Sin(中国农业科学), 2009, 42(11): 4019–4026.(in Chinese)
- [17] Mandal S, Mitra A, Mallick N. Biochemical characterization of oxidative burst during interaction between *Solanum lycopersicum* and *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* [J]. Physiol Mol Plant Pathol, 2008, 72(1): 56–61.