

茉莉酸甲酯和乙烯利处理对鲜切富士苹果抗氧化酶活力和苯丙烷代谢的影响

闫媛媛, 胡文忠*, 姜爱丽, 邹宇, 穆师洋, 宋春璐
(大连民族学院生命科学学院, 辽宁大连 116600)

摘要:为研究外源信号分子茉莉酸甲酯(MeJA)和乙烯(Eth)对鲜切果蔬抗氧化酶活力和苯丙烷代谢的影响,以鲜切富士苹果为实验材料,利用MeJA和乙烯利浸泡处理,在10℃下贮藏,分析贮藏期间抗氧化酶类多酚氧化酶(PPO)、过氧化物酶(POD)和抗坏血酸过氧化物酶(APX)以及苯丙氨酸解氨酶(PAL)活性的变化。结果表明:与空白对照相比,MeJA和乙烯利可以显著提高鲜切富士苹果PPO和POD活性($p<0.05$),降低APX活性下降速率。两种处理都可以提高PAL的活性,乙烯利对增强PAL活性效果更显著($p<0.05$)。两种外源信号分子可以提高鲜切苹果的抗氧化能力及苯丙烷代谢能力,启动鲜切苹果的防御反应,提高果实抗性。

关键词:鲜切苹果, 乙烯利, 茉莉酸甲酯, 抗氧化能力, 苯丙烷代谢

Effect of antioxidant enzyme activity and phenylpropanoid metabolism to jasmonic acid methyl ester (MeJA) of and ethephon treatments for fresh-cut apple

YAN Yuan-yuan, HU Wen-zhong*, JIANG Ai-li, ZOU Yu, MU Shi-yang, SONG Chun-lu

(College of Life Science, Dalian Nationalities University, Dalian 116600, China)

Abstract: In order to determine the effect of two exogenous signal molecules—jasmonic acid methyl ester (MeJA) and ethephon on antioxidant enzyme activity and phenylpropanoid metabolism for fresh-cut fruit and vegetables, fresh-cut apple was taken as material, and treated with exogenous ethephon and MeJA, stored at 10 °C. Antioxidant system enzymes PPO, POD, APX and phenylpropanes metabolic system enzymes PAL were analyzed. The results indicated that MeJA and ethylene could effectively improve fresh-cut Fuji apple PPO and POD activity, and slowed down the decline rate of APX activity. The effects of exogenous ethylene and MeJA on PPO, POD and APX were similar. MeJA and ethephon could effectively improve PAL activity, and the effect of ethylene was more obvious. The two signal molecules could improve the ability of antioxidant system and phenylpropanes metabolic system, and started defense reaction of fresh-cut apple and increased fruit resistance.

Key words: fresh-cut apple; ethephon; jasmonic acid methyl ester; antioxidant enzyme activity; phenylpropanoid metabolism

中图分类号: TS201.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2015)16-0324-05

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2015.16.057

鲜切果蔬是一种新鲜方便、营养丰富、100%可食用产品,在国内外越来越受到消费者欢迎。然而切割过程产生的机械伤害破坏了新鲜果蔬的天然保护层,影响了鲜切果蔬的营养品质及卫生质量。研究表明,机械伤害等胁迫条件可诱导活性氧分子大量积累对植物造成氧化伤害^[1],此时,植物抗氧化防御系统中的抗氧化酶类如抗坏血酸过氧化物酶(APX)、过氧化物酶(PPO)、多酚氧化酶(POD)等可

以通过清除活性氧分子,从而有效诱导植物的适应性响应机制反应。同时,苯丙烷代谢系统作为生成酚类物质的主要次生代谢途径^[2],在植物抗逆境胁迫和适应性防御反应中起着重要作用。鲜切果蔬的组织细胞感受到切割伤害刺激后,能够诱发产生传递信息和引起细胞反应化学物质茉莉酸(JA)和乙烯(Eth)含量显著增加,其作为感知受伤胁迫的信号分子,进而诱导一系列与防御反应有关的基因表达,如抗氧

收稿日期: 2014-10-30

作者简介: 闫媛媛(1990-),女,在读硕士研究生,研究方向:食品加工与质量安全控制, E-mail: yanyuanyuansw@163.com。

* 通讯作者: 胡文忠(1959-),男,教授,研究方向:食品加工与质量安全控制, E-mail: h wz@dlnu.edu.cn。

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2012BAD38B05); 国家自然科学基金项目(31340038, 31172009, 31471923)。

化系统关键酶PPO、POD、APX, 苯丙烷代谢关键酶PAL等防御蛋白酶活性^[3], 导致防御反应过程中次级代谢产物的积累, 促使果蔬形成防御结构, 提高果蔬抗性^[4]。近年来, 随着鲜切果蔬的迅速发展, 对鲜切果蔬的需求量和种类日益增加, 果蔬经鲜切加工后所造成的伤害刺激信号转导及其适应性响应的研究已引起采后果蔬生物学界的广泛关注。本实验通过采用MeJA和乙烯利处理鲜切富士苹果, 为探明MeJA和乙烯利作为抗胁迫信号分子对鲜切苹果抗氧化酶活性及苯丙烷代谢产生的影响, 以期MeJA和乙烯利在鲜切水果保鲜方面的应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

富士苹果 购于大连开发区乐购超市; MeJA 日本东京化成工业株式会社; 乙烯利 美国Solarbio公司; 聚乙烯吡咯烷酮、过氧化氢、磷酸氢二钠、磷酸二氢钠、愈创木酚、邻苯二酚、硼酸、四硼酸钠、 β -巯基乙醇、L-苯丙氨酸、抗坏血酸次氯酸钠 国产分析纯。

电子天平 梅特勒托利多仪器(上海)有限公司; DK-S26型电热恒温水浴锅 上海精宏实验设备有限公司; BR4i型台式高速冷冻离心机 法国Jouan; Lambda-25型紫外可见分光光度计 美国PE; T-25型匀浆器 德国IKA; UV-2100型紫外可见分光光度计 尤尼柯上海仪器有限公司; PCU-CS200ME型组合式气调冷库 大连冷冻机股份有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 原料预处理 选用色泽一致、无病虫害和无机械损伤的富士苹果为实验材料, 购买当天贮藏于实验室5℃的冷库中备用。先用200 μ L/L次氯酸钠溶液清洗2 min, 晾干。在10℃冷库中用次氯酸钠溶液处理过的不锈钢刀片将苹果削皮去核, 切成直径10 mm, 厚度为3 mm的圆片。切好后的苹果分别置于10 μ mol/L茉莉酸甲酯(10%的乙醇溶液配制)、10 μ L/L乙烯利(10%的乙醇溶液配制)、10%乙醇空白溶液中, 浸泡30 min, 沥干后各样品分装在经过紫外线杀菌的PE塑料浅盘中, 25~30 μ m聚乙烯保鲜膜密封包装。将处理好的样品置于10℃冷库贮藏, 待测, 每处理样品5 g, 重复三次。

1.2.2 PPO活性的测定

1.2.2.1 酶提取液的制备 取5 g样品, 加0.1 g聚乙烯吡咯烷酮(PVPP)于20 mL经4℃预冷的0.2 mol/L磷酸提取缓冲液(pH=6.4)中, 冰浴研磨匀浆, 并于4℃、12000 r/min离心30 min, 取上清液为酶的粗提液, 低温保存备用。

1.2.2.2 PPO活性测定 参照Galeazzi等^[5]的方法并加以改进, 将0.5 mL粗酶提取液加入3 mL 0.5 mol/L的邻苯二酚溶液(用0.2 mol/L pH6.4的磷酸盐缓冲液配成)中, 加盖迅速混匀, 5 s后开始扫描并记录10 s内398 nm处吸光度值变化, 酶活性以 $\Delta OD_{398nm} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$ 表示, 重复3次。

1.2.3 POD活性的测定 酶提取液与PPO相同。POD活性测定: 参照Jiang等^[6]的方法并加以改进, 将2.5 mL

0.025 mol/L愈创木酚加入0.2 mL粗酶液, 用0.2 mL 0.25 mol/L H₂O₂启动反应。反应开始15 s后记录反应体系每隔30 s的290 nm下吸光值的变化, 酶单位以 $\Delta OD_{290nm} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$ 表示, 重复3次。

1.2.4 APX活性的测定

1.2.4.1 酶提取液 称取5.0 g样品置于经预冷的研钵里, 加入20 mL经4℃预冷的提取缓冲液, 冰浴研磨匀浆后, 于4℃、12000 r/min离心30 min, 收集上清液即为粗酶提取液, 低温保存备用。

1.2.4.2 APX活性的测定 参照曹建康等^[7]的方法并加以修改, APX反应体系由2 mL 100 mmol/L磷酸缓冲液(pH7.5, 含1 mmol/L EDTA), 0.8 mL 3 mmol/L抗坏血酸, 100 μ L粗酶液和0.5 mL 0.5 mmol/L H₂O₂组成, 最后加入H₂O₂启动酶促反应。从启动后15 s开始记录反应体系在290 nm的吸光度值, 酶单位以 $\Delta OD_{290nm} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$ 表示, 重复测定3次。

1.2.5 PAL活性的测定

1.2.5.1 酶提取液 称取5.0 g样品置于经预冷的研钵里, 加入20 mL经4℃预冷的pH8.8硼酸-硼砂提取缓冲液, 冰浴研磨匀浆后, 于4℃、12000 r/min离心30 min, 收集上清液即为酶提取液, 低温保存备用。

1.2.5.2 PAL活性的测定 参照曹建康等^[7]的方法并加以修改, 取1支试管, 加入3 mL 50 mmol/L pH8.8硼酸-硼砂缓冲液和0.5 mL 20 mmol/L L-苯丙氨酸溶液, 在37℃预保温10 min, 再加入0.1 mL酶液, 混合后, 迅速测定该混合液在290 nm处的吸光值作为反应的初始值(OD₀)。然后将反应管置于37℃保温60 min。保温结束时, 再立即测定反应混合液在290 nm处的吸光值作为反应的终止值(OD₁)。均以蒸馏水作为参照进行调零。根据保温前后样品管溶液吸光值的变化计算PAL活性, 重复3次。

1.3 数据分析

采用Excel 2007统计分析软件进行数据处理, 实验结果取三次测定的平均值并计算标准差, 以SPSS进行显著性分析。

2 结果与分析

2.1 贮藏期间鲜切富士苹果抗氧化酶类的变化

2.1.1 贮藏期间鲜切富士苹果PPO活性的变化 多酚氧化酶(PPO)是一种以铜为辅基的酶, 能催化多种简单酚类物质氧化形成具有抗菌性的醌类物质, 同时也是末端氧化酶的主要部分^[8]。当植物组织受到机械伤害时, PPO可以迅速感应, 活性显著升高, 促进木质素以及抗菌醌类物质的形成, 对植物组织起到一定的防御保护作用。由图1可知, 贮藏期间鲜切苹果的PPO活性变化呈双峰值趋势, 分别在第2 d和第6 d达到最大值。在贮藏第2 d时, MeJA处理组和乙烯利处理组PPO活性均显著高于空白对照组($p < 0.05$), 可能是因为在贮藏期间切割伤害诱导了苹果组织内部存在的PPO, 使其活性可以在短时间迅速上升^[9]。在贮藏第6 d时, PPO活性达到最高值, MeJA处理组和乙烯利处理组PPO的活性显著高于空白对照组($p < 0.05$), 由此可见MeJA和乙烯利可以有效提高PPO的活性, 且两者效果一致^[10]。在贮藏后期, 三组处理

样品PPO活性几乎没有差异,说明MeJA和乙烯利处理对鲜切苹果抗性尽管有所增加,但由于PPO也是导致褐变的关键酶,褐变也随之增加^[11]。

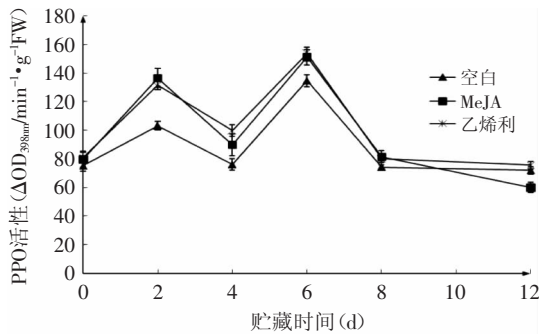


图1 茉莉酸甲酯和乙烯利处理对鲜切苹果PPO活性的影响
Fig.1 Effect of MeJA and ethylene treatments on PPO activity of fresh-cut apple

2.1.2 贮藏期间鲜切富士苹果POD活性的变化 POD是果蔬体内普遍存在的一种重要的氧化还原酶,催化过氧化氢、氧化酚类物质产生醌类化合物,且与CAT、SOD协同作用,清除过剩的自由基,使体内自由基维持正常的动态水平,一般将其视为鲜切果蔬抗氧化代谢的重要指标^[12]。由图2可知,POD活性变化呈先升高后下降的趋势。在贮藏初期,三组处理样品的POD活性没有明显差异,在贮藏第4 d时,MeJA处理组和乙烯利处理组的POD活性开始高于空白对照组,在贮藏第6 d时,差异显著($p < 0.05$),说明MeJA和乙烯利对POD的活性有提高作用。在贮藏第8 d时,空白对照组的POD活性显著高于MeJA处理组和乙烯利处理组($p < 0.05$),可能是因为POD除了作为H₂O₂的清除剂之外,在特定的情况下,也能与NADH等反应产生O₂/H₂O₂^[13]。POD可将可溶性酚类物质氧化成醌类物质的同时分解H₂O₂,减轻氧化胁迫,并抑制H₂O₂作为第二信使对其他代谢途径的影响^[14]。在贮藏期MeJA和乙烯利处理能够有效提高POD活性,这对于及时清除细胞内部的自由基,提高果蔬适应性防御能力非常重要^[15]。

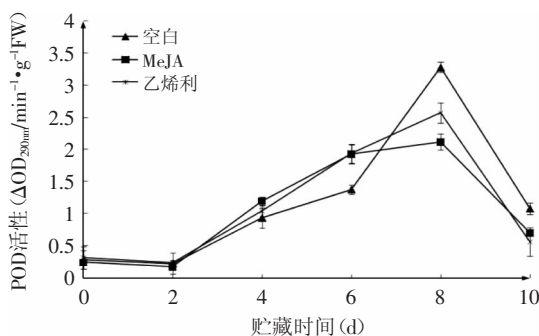


图2 茉莉酸甲酯和乙烯利处理对鲜切苹果POD活性的影响
Fig.2 Effect of MeJA and ethylene treatments on POD activity of fresh-cut apple

2.1.3 贮藏期间鲜切富士苹果APX活性的变化 APX催化抗坏血酸氧化为单脱氢抗坏血酸,同时将过氧

化氢(H₂O₂)还原成H₂O,达到清除过氧化氢自由基的目的^[16]。苹果经切割处理后,抗坏血酸聚集到伤口附近阻止黑色素聚集,降低MDA含量^[17],APX作为以抗坏血酸为电子供体的转移性强的过氧化物酶,通过催化抗坏血酸与H₂O₂发生氧化还原反应,清除植物体内的活性氧H₂O₂,提高果蔬的抗氧化能力^[18]。如图3所示,鲜切苹果在贮藏期间APX酶的活性呈先急剧下降后保持平缓的趋势。在贮藏0 d时,MeJA处理组和乙烯利处理组APX活性均极显著低于空白对照组($p < 0.01$),可能是因为机械伤害导致APX活性的急剧下降。在贮藏中期,MeJA处理组和乙烯利处理组的APX活性有所上升,并在第6 d时显著高于空白对照组($p < 0.05$),说明二者均可以提高APX活性,这可以有效提高果实组织内的过氧化氢自由基清除能力,提高鲜切苹果抗性具有重要意义,本研究结果与郑亚男等^[19]研究结果一致。

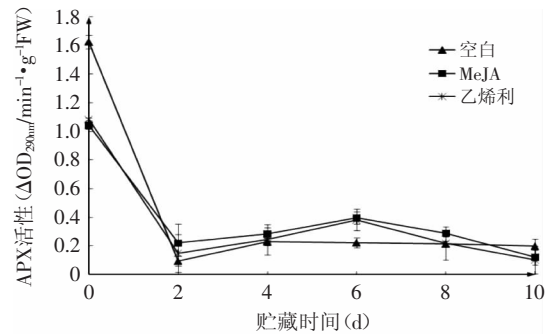


图3 茉莉酸甲酯和乙烯利处理对鲜切苹果APX活性的影响
Fig.3 Effect of MeJA and ethylene treatments on APX activity of fresh-cut apple

2.2 贮藏期间鲜切富士苹果PAL活性的变化

PAL催化L-苯丙氨酸脱氨生成肉桂酸和氨,是苯丙氨酸代谢途径的限速酶,参与了多种激发子诱导的抗性^[20],增强了鲜切果蔬对机械伤害的防御能力。由图4可知,PAL活性的变化呈先上升后下降的趋势。在贮藏前期,MeJA处理组和乙烯利处理组的样品PAL的活性显著高于空白对照组($p < 0.05$),尤其是在第4 d和第6 d时,MeJA和乙烯利处理明显提高了PAL酶的活性。然而在贮藏后期PAL的活性有所下降,且乙烯利处理组和空白对照组的PAL活性没有

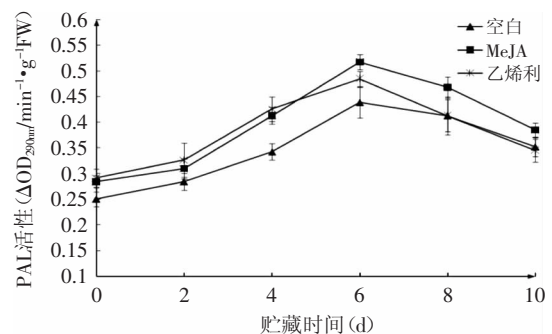


图4 茉莉酸甲酯和乙烯利处理对鲜切苹果PAL活性的影响
Fig.4 Effect of MeJA and ethylene treatments on PAL activity of fresh-cut apple

明显差异,可能是因为后期贮藏时间过长,苹果组织内部苯丙烷代谢趋于平衡稳定状态,MeJA对PAL活性的影响效果不显著($p>0.05$)。但是总体而言,在贮藏初中期,MeJA和乙烯利处理对于PAL酶的活性有显著提高作用,可以提高苹果内部植保素和木质素的生成速率,来修复机械胁迫对细胞的伤害。

3 结论与讨论

切割处理对果蔬产生的机械伤害会造成果蔬组织的破裂,果蔬原有的保护系统遭受破坏,使酶和底物的区域化被打破,酶与底物直接接触发生各种生理生化反应,导致果蔬组织褐变、细胞膜脂过氧化和营养物质流失等^[21]。MeJA和乙烯利可作为受伤胁迫信号分子,启动果蔬防御反应机制,达到维持组织内部代谢平衡,保持果蔬品质的效果。

鲜切果蔬的抗氧化能力与苯丙氨酸代谢可作为果蔬受到机械伤害适应性响应的重要指标。PPO、POD、APX均是生物体内重要的抗氧化酶,与CAT、SOD协同作用分解组织内部的简单的酚类物质,清除过剩的自由基,使体内自由基维持在一个较低的水平,提高果蔬的抗氧化能力^[22],其中CAT与APX等酶在调节H₂O₂含量变化的过程中所起到的作用不同,APX需要还原性底物,并对H₂O₂具有较高的亲和力^[23]。本研究发现,MeJA和乙烯利可以提高PPO活性高峰的出现,提高PPO的活性,在短时间内可以促进木质素的形成,尽管可以提高鲜切苹果的抗性,褐变也随之增加。MeJA和乙烯利处理组POD、APX的活性显著高于空白对照组,鲜切苹果组织内的活性氧得到及时清除,有效提高果实抗氧化能力。苯丙氨酸代谢活性增强是果蔬诱导抗性后的典型反应,PAL是苯丙烷代谢的关键酶,参与了多种激发子诱导的抗性,其活性的增强可以有效增强植物对病原侵染抵抗能力,与PPO协同作用代谢产物木质素可作为植物的防御屏障^[24]。本研究结果表明,MeJA和乙烯利处理组与空白对照组比较可以显著提高PAL活性,并且MeJA处理组PAL活性高于乙烯利处理组,说明MeJA能够更加有效的提高PAL活性,提高组织对机械伤害的适应性。

本研究得到的结果表明,MeJA和乙烯利对鲜切苹果的PPO、POD、APX活性的提高均有一定作用,且MeJA和乙烯利作用效果差异不显著。对于PAL而言,MeJA和乙烯利处理导致其活性显著升高,且MeJA处理比乙烯利处理效果更加显著。综上所述,MeJA和乙烯利可以通过增强鲜切苹果的抗氧化和苯丙烷代谢的能力,增强果实组织对机械伤害的适应性。

参考文献

[1] Rojas-Graü MA, Grasa-guillem R, Martín-Belloso O. Quality changes in fresh-cut Fuji apple as affected by ripeness stage, antibrowning agents, and storage atmosphere[J]. *Journal of Food Science*, 2007, 72(1): 36-43.
 [2] 林晓姿,何志刚,李维新,等. 外源乙烯胁迫对枇杷果实若干品质及PPO活性的影响[J]. *福建农业学报*, 2009, 24(5): 467-470.
 [3] McKenna D R, Mies P D, Baird B E, et al. Biochemical and

physical factors affecting discoloration characteristics of 19 bovine muscles[J]. *Meat Science*, 2005, 70: 665-682.

[4] 苑宁,寇莉萍. 1-MCP处理对鲜切山药贮藏品质的影响[J]. *食品研究与开发*, 2011, 32(9): 205-209.
 [5] Clairbone A. Catalase activity. In: Greenwald W. A. (ed.) *Handbook of methods of oxygen radical research*[M]. CRC press, Boca Raton, 1985, 5: 283-284.
 [6] Jiang A L, Tian S P, Xu Y. Effect of CA with high-O₂ or high-CO₂ concentrations on postharvest physiology and storability of sweet cherry[J]. *Acta Botanica Sinica*, 2002, 44(8): 925-930.
 [7] 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: 44-46.
 [8] You Y L, Jiang Y M, Sun J, et al. Effects of short-term anoxia treatment on browning of fresh-cut Chinese water chestnut in relation to antioxidant activity[J]. *Food Chemistry*, 2011(11): 73.
 [9] 郑亚男,胡文忠,姜爱丽,等. 外源乙烯对鲜切甘薯伤害生理效应的影响[J]. *食品工业科技*, 2012, 33(17): 346-349.
 [10] Liu Y, Zhao X L, Li H Q. Inhibition of methyl jasmonate on root growth and antioxidative enzyme activities in wheat[J]. *Anhui Agric Science*, 2007, 35(4): 988-989, 1008.
 [11] 魏敏,周会玲,陈小利,等. 低温贮藏对鲜切富士苹果褐变的影响[J]. *西北农林学院学报*, 2011, 26(5): 131-134.
 [12] Pilizota V, Sapers G M. Novel browning inhibitor formulation for Fresh-cut apples[J]. *Journal of Food Science*, 2004, 69(4): 140-143.
 [13] Dang J L, Parker A, Harwood D T, et al. Plant pathogens and integrated defense response to infection[J]. *Nature*, 2001, 411: 826-833.
 [14] Blokhina O, Virolainen E, Fagerstedt K V. Antioxidants, oxidative damage and oxygen deprivation stress: a review[J]. *Annals of Botany*, 2003, 91: 179-194.
 [15] Saftner R, Abbott J, Bhagwat A, et al. Quality Measurement of Intact and Fresh-cut Slices of Fuji Granny Smith, Pink Lady, and Gold-Rush Apples[J]. *Journal of Food Science*, 2005, 70(5): 317-324.
 [16] Rocha A M C N, Morais A M M B. Shelf life of minimally processed apple (cv. Jonagold) determined by color changes[J]. *Food Control*, 2003, 14: 13-20.
 [17] Su X, Mei X G, Gong W, et al. Effects of the combination of methyl jasmonate with salicylic acid or fungal elicitor on the cell suspension of *Taxus chinensis*[J]. *Bio-technology*, 2001, 11(1): 10-13.
 [18] 马杰,胡文忠,毕阳,等. 外源乙烯和茉莉酸甲酯处理对鲜切莴苣活性氧代谢的影响[J]. *食品工业科技*, 2013, 34(17): 338-341.
 [19] 郑亚男,胡文忠,姜爱丽,等. 茉莉酸甲酯对鲜切甘薯伤害防御反应的研究[J]. *食品工业科技*, 2012(2): 368-372.
 [20] 崔建东,李艳,牟德华. 苯丙氨酸解氨酶(PAL)的研究进展[J]. *食品工业科技*, 2008, 29(7): 306-308.
 [21] Allothman M, Lu Q R. UV radiation-induced changes of antioxidant capacity of fresh-cut tropical fruits Innovative[J]. *Food Science and Emerging Technologies*, 2009, 10: 512-516.

(下转第332页)

的稀释作用,二是处理液的杀菌功能。处理效果最好的是微酸性电解水,比不处理减少了1.7 lg cfu/g。其次是无菌水,比不处理减少了0.8 lg cfu/g。最后是弱碱性电解水,比不处理减少了0.7 lg cfu/g。由于处理组每100 g样品加入处理液300 mL,搅拌浸泡后,稀释造成菌浓度最大可降低约0.6 lg cfu/g,所以,微酸性电解水杀死的菌数最少约为1.1 lg cfu/g,具有杀菌功能($p < 0.05$)。排除稀释造成的菌数减少后,无菌水和弱碱性电解水比不处理组分别减少0.2和0.1 lg cfu/g,杀菌效果不显著($p > 0.05$)。

2.4 PCR验证结果

PCR电泳鉴定见图5,结果显示,待检样品在350 bp处出现一条特异性条带,与LM阳性对照条带位置一致。因此,可以确认计数菌落是LM而非其他杂菌。

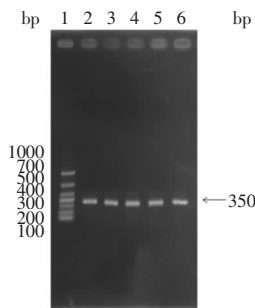


图5 PCR电泳鉴定图

Fig.5 The chart of electrophoresis appraisal about PCR

注:1、DNA marker DL1000,2、LM阳性对照,3~6、OXA计数板上疑似菌落。

3 结论

利用Matlab的函数资源,拟合了经微酸性电解水、弱碱性电解水和无菌水处理的鲜切皇冠梨上LM生长的初级模型。本文分别拟合了Gompertz模型和Logistic模型,比较决定系数发现,Gompertz模型能更好的拟合本实验的数据。实验结果表明,微酸性电解水显示了较好的杀菌功效($p < 0.05$),而弱碱性电解水没有杀菌作用($p > 0.05$)。李华贞等^[17]也研究了微酸性电解水杀灭LM的效果,结果也显示了微酸性电解水对LM的抑制作用。

本实验基于目前国内外LM生长预测模型研究的基础,建立了鲜切皇冠梨上LM生长的初级模型,LM在鲜切皇冠梨上可以生长。同时,还建立了经微酸性电解水、弱碱性电解水和无菌水三种处理的鲜切皇冠梨上LM生长的初级模型,为进一步在鲜活农产品上建立LM生长的二级模型和三级模型,研究其他鲜活农产品物流过程中LM生长动态,研发综合防控技术奠定了基础。

(上接第327页)

[21] Oms O G, Soliva F R O, Martin B. Edible coatings with antibrowning agents to maintain sensory quality antioxidant properties of fresh-cut pears[J]. Postharvest Biology and Technology, 2008, 50(1): 878-941.

[23] 吕品,张岩,李建华,等. 植物细胞活性氧的产生和清除机

参考文献

- [1] 王俊霞,王兴龙,秦兰柱. 产单核细胞李斯特菌毒力因子及免疫预防研究进展[J]. 动物医学进展, 2007, 28(2): 78-81.
- [2] 李郁,魏建忠,王桂军. 产单核李斯特菌的研究进展[J]. 中国卫生检验杂志, 2005, 15(8): 1018-1020.
- [3] 李翠云. 单核细胞李斯特菌研究近况[J]. 中国热带医学, 2010, 10(1): 120-122.
- [4] 张培培,刘媛,方春,等. 单增李斯特菌在冷鲜猪肉中的生长预测模型比较[J]. 微生物学报, 2010, 51(12): 1625-1631.
- [5] 丁甜,董庆利,王璐,等. 单增李斯特菌在营养肉汤中最大生长速率的预测模型[J]. 华中农业大学学报, 2010, 29(4): 522-526.
- [6] A M Castillejo R, E Barco A, R M Garcia G, et al. Growth modeling of *Listeria monocytogenes* in packaged fresh green asparagus[J]. Food Microbiology, 2000, 17(4): 421-427.
- [7] Anderson S S A, Bernadette D G M F, Donald W S. Modeling the growth rate and lag time of different strains of *Salmonella enterica* and *Listeria monocytogenes* in ready-to-eat lettuce[J]. Food Microbiology, 2012, 30(1): 267-273.
- [8] Ana L P, Mauro F F L. Growth of *Listeria monocytogenes* in melon, watermelon and papaya pulps[J]. International Journal of Food Microbiology, 2004, 92(1): 89-94.
- [9] Shigenobu K, Seiichiro I. Growth of *Listeria monocytogenes* on iceberg lettuce and solid media[J]. International Journal of Food Microbiology, 2005, 101(2): 217-225.
- [10] Vazquez-Boland J A, Kuhn M, Berche P, et al. *Listeria* pathogenesis and molecular virulence determinants[J]. Clinical Microbiology Reviews, 2001, 14(3): 584-640.
- [11] 刘柳,孔保华. 温度及气调包装对冷却猪肉中单核细胞增生性李斯特氏菌生长的影响[J]. 食品科学, 2008, 29(1): 334-337.
- [12] 江洁,胡文忠. 鲜切果蔬的微生物污染及其杀菌技术[J]. 食品工业科技, 2009, 30(6): 319-324.
- [13] Hua W, Hao F, Yaguang L. Dual-phasic inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 with peroxyacetic acid, acidic electrolyzed water and chlorine on cantaloupes and fresh-cut apples[J]. Journal of Food Safety, 2006, 26(4): 335-347.
- [14] 李平兰,贺雅非. 食品微生物学实验原理与技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005: 42-44.
- [15] 于旖斯,侯红漫,张宇,等. 七类食品单核细胞增生性李斯特菌污染状况调查[J]. 食品工业, 2010(1): 21-23.
- [16] 萨仁高娃,胡文忠,高春红,等. 不同初始浓度的单增李斯特菌在营养肉汤中生长预测模型的建立[J]. 食品工业科技, 2013, 34(17): 173-176.
- [17] 李华贞,刘海杰,宋曙辉,等. 微酸性电解水杀灭菠菜表面微生物的影响因素[J]. 食品科学, 2011, 32(17): 95-99.

制[J]. 生物学教学, 2010(2): 78-81.

[24] Wang K T, Jin P, Shang H T, et al. Effect of methyl jasmonate in combination with ethanol treatment on postharvest decay and antioxidant capacity in Chinese bayberries[J]. Journal of Agricultural Food Chemistry, 2010, 58(17): 9597-9604.