溶菌酶涂膜对鲜切“寒富”苹果的贮藏保鲜作用研究

冯叙桥[1]，范林林[1]，韩鹏祥[1]，赵宏侠[2]，李萌萌[1]，段小明[1]
（1.渤海大学食品科学研究院，辽宁省食品安全重点实验室，辽宁锦州 121013）
（2.沈阳农业大学食品学院，辽宁沈阳 110866）

摘要：为研究溶菌酶涂膜对鲜切苹果品质的影响，将鲜切寒富苹果分别放入0.01%、0.05%、0.08%溶菌酶溶液中浸泡2 min后沥干，用0.11 mm厚度的PE保鲜膜包装后置于4 ℃冷库中贮藏，每2 d测定与成熟衰老相关的生理生化指标变化。结果表明，与对照组相比较，溶菌酶处理能有效维持鲜切苹果的良好品质，在一定程度上抑制了相对电导率、丙二醛（malondialdehyde，MDA）含量、多酚氧化酶（polyphenol oxidase，PPO）活性及菌落总数的增加，显著维持了过氧化物酶（peroxidase，POD）活性。在4 ℃冷库中贮藏8 d后，溶菌酶处理鲜切苹果的感官评价、硬度、色泽、可溶性固形物和抗坏血酸含量都处于较高的水平，对鲜切苹果的护色效果较佳。在研究的3种溶菌酶浓度中，以0.08%溶菌酶溶液涂膜保鲜效果最好，其次是0.05%溶菌酶处理组，0.01%溶菌酶处理组的保鲜效果最不显著。

关键词：鲜切苹果；溶菌酶；丙二醛；感官评价；抗坏血酸
文章篇号：1673-9078(2014)11-125-132 DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2014.11.023

Effect of Lysozyme Coatings on the Storage and Preservation of Fresh-cut “Hanfu” Apples

FENG Xu-qiao[1], FAN Lin-lin[1], HAN Peng-xiang[1], ZHAO Hong-xia[2], LI Meng-meng[1], DUAN Xiao-ming[1]
(1.Food Science Research Institute of Bohai University, Food Safety Key Lab of Liaoning Province; Jinzhou 121013, China) (2.College of Food Science, Shenyang Agriculture University, Shenyang 110866, China)

Abstract: To study the effect of lysozyme coatings on the quality of fresh-cut “Hanfu” apples, the fresh-cut apples were soaked in 0.01%, 0.05%, and 0.08% lysozyme solution for 2 min and drained. They were then packaged in a polyethylene (PE) film with a thickness of 0.11 mm and stored in a refrigerator at 4 ℃. Physiochemical indicators related to maturity and aging were measured every two days during the storage period. The results showed that in a comparison with control, the lysozyme coating treatment more effectively maintained the quality of fresh-cut apples, partially inhibited increases in relative conductivity, malondialdehyde (MDA) content, polyphenol oxidase (PPO) activity, and total bacterial count, and significantly maintained the peroxidase activity. After cold storage at 4 ℃ for 8 d, the quality of lysozyme-treated fresh-cut apples was effectively maintained in terms of sensory evaluation, hardness, color, soluble solids, and ascorbic acid content. Of the three concentrations of lysozyme coatings examined, the 0.08% lysozyme solution showed the best preservation, followed by the 0.05% lysozyme solution, and the 0.01% lysozyme solution did not show apparent effects on the preservation of freshness.

Key words: fresh-cut apple; lysozyme; malondialdehyde; sensory evaluation; ascorbic acid

鲜切果蔬又称最少加工果蔬，是对新鲜果蔬进行分级、整理、清洗、去皮切分、包装等处理，消费者购买后可直接食用的产品；近年来，鲜切果蔬在欧美、日本、中国等国家的消费量逐年增加[1]。然而果蔬由于去皮、去核、切分等机械损伤引起的组织损伤及细胞破裂，会造成鲜切果蔬代谢反应的急剧活化，导致其色泽改变、组织软化、木质化和易腐烂，同时也为微生物的繁殖生长提供了有利条件，增加了微生物侵染鲜切果蔬的机会，从而失去新鲜产品的特征，极大地阻碍了鲜切果蔬的大规模生产和商业化应用[2]。目前我国成品鲜切果蔬的货架期只有0~7 d[3]，因此需要进一步深入探究鲜切果蔬的保鲜技术。

溶菌酶又称胞壁质酶，是一种无毒、无害及安全性高的蛋白质，通过水解微生物（细菌、真菌）的黏多糖致使其细胞壁破裂、内容物逸出而杀灭微生物，在人体内能够被消化和吸收，对人体无副作用，亦不会在体内残留，且具有一定的保健功能[4]。因此，溶

收稿日期：2014-05-20
基金项目：辽宁省科技厅重点项目（2011205001）；渤海大学人才引进基金项目（BHU20120301）
作者简介：冯叙桥（1961-），男，教授，博士生导师，主要从事果蔬贮藏加工与质量安全控制方面研究

菌酶在食品保藏中的作用引起了社会的广泛重视，尤其是在日本、加拿大、美国等发达国家，溶菌酶作为保鲜剂的研究更加广泛深入[5]，现已普遍应用于水产品、肉食品中的防腐保鲜[4]。溶菌酶作为一种天然的防腐保鲜剂，在果蔬采后保鲜上也已有应用，如已经应用于杨梅[6]、丰水梨[7]、葡萄[8]、樱桃番茄[4]及鲜切荔枝[9]等果蔬的贮藏保鲜，欧洲国家已经用其代替亚硫酸盐作为防腐剂[10]，但溶菌酶在鲜切苹果保鲜上的应用却鲜有报道。本文以目前我国产量大且市场需求量大的鲜切苹果为研究对象，探究不同浓度的溶菌酶处理对其保鲜效果的影响，以期为延长鲜切苹果货架期提供技术参考。

1 材料与方法

1.1 实验材料

1.1.1 供试材料

“寒富”苹果（Malus domestica），市售，产自辽宁，挑选新鲜、完全成熟、大小均匀、无损伤、无病害的苹果。

1.1.2 包装材料

30 cm×300 型 0.11 mm 厚度的金蝶 PE 保鲜膜：无锡市金利大纸塑制品有限公司；17×10 cm 塑料托盘，山东恒信基塑业股份有限公司。

1.1.3 试剂

草酸，食用级，沈阳昌德隆化工原料有限公司；溶菌酶，食用级，杭州康源饲料科技有限公司；营养琼脂培养基，分析纯，济南市保德利化工有限公司；硫代巴比妥酸，分析纯，国药集团化学试剂有限公司；三氯乙酸、愈创木酚，分析纯，天津市福晨化学试剂厂；邻苯二酚，分析纯，天津市光复精细化工研究所；30%过氧化氢，分析纯，天津市大茂化学试剂厂；无水乙醇，分析纯，沈阳百盛化工有限公司；磷酸氢二钠、磷酸二氢钠，分析纯，天津市永晟精细化工有限公司；氢氧化钠，分析纯，沈阳市新化试剂厂。

1.1.4 仪器设备

722 N 可见分光光度计：上海精密科学仪器有限公司；TGL-16G-A 高速冷冻离心机：广州晟龙实验仪器有限公司；Agilent1260 液相色谱仪：安捷伦科技有限公司；WSC-Y 全自动测色色差计：北京光学仪器厂；GY-3 指针式水果硬度计：浙江托普仪器有限公司；DDSJ-308A 电导率仪：上海精密科学仪器有限公司；SHB-D(III)循环水真空泵：上海申光仪器仪表有限公司；2WAJ 阿贝折光仪：上海申光仪器仪表有限公司；HH-6 型数显恒温水浴锅：国华电器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 工艺流程

苹果→挑选→清洗→去皮→切分→浸泡[11]

浸泡时间为 2 min，浸泡溶液温度为 25 ℃

1.2.2 处理方法

将切好的 1 cm^3 苹果切块分别在 0.01%、0.05%、0.08%溶菌酶溶液中浸泡 2 min，沥干之后装入塑料托盘中，每个托盘装约 80 g 苹果，然后用 PE 保鲜膜包装后置于 4 ℃冷库中贮藏，从 0 d 开始每 2 d 测定一次各项指标，对照除不进行溶菌酶浸泡处理外，其他处理相同。

1.3 测试指标和方法

1.3.1 果肉褐变感官评定标准

由 6 人组成的品评组人员评判各处理的保鲜效果，每个样品按口感、色泽及硬度分级打分，共 9 分[12]。

表 1 不同浓度的溶菌酶处理鲜切苹果感官质量评分标准

Table 1 Standards for the sensory evaluation of fresh-cut apples treated with various concentrations of lysozymes

评价项目	评价标准	分值
口感（4 分）	果肉脆，酸甜可口，风味突出	3.0~4.0
	果肉较脆，酸甜适中，风味淡化	2.0~3.0
	果肉不脆，口感不佳，风味寡淡	1.0~2.0
	果肉不脆，口感差，风味较差	0.0~1.0
色泽（3.5 分）	褐变区域为 0%~30%	2.6~3.5
	褐变区域为 30%~80%	1.1~2.5
	褐变区域达 80%以上	0.0~1.0
硬度（1.5 分）	果肉硬，新鲜如初	1.3~1.5
	果肉部分变软，可食用	0.6~1.2
	果肉一半以上变软，有霉点，几乎不可食用	0.0~0.5

1.3.2 硬度

用 GY-3 型果实硬度计测定。

1.3.3 色差

采用 WSC-Y 全自动测色色差计。

1.3.4 可溶性固形物（TSS）

每次取 5 g 果肉样品，采用 2WAJ 阿贝折光仪测定。

1.3.5 可滴定酸

每次取 10.0 g 样品，置于研钵中磨碎，转移到 100 mL 容量瓶中，静置 30 min 后过滤，参照 Pilar 的方法[13]测定，其中可滴定酸以苹果酸为换算系数计算。

1.3.6 抗坏血酸（Vc）含量

每次取 10.0 g 果肉样品置于研钵中，加入少量 20

g/L 草酸溶液，转移至 100 mL 容量瓶中，20 g/L 草酸定容，采用液相色谱法[14]测定。色谱条件：使用 C_8 色谱柱（150 mm×4.6 m ml. d. 5 μm）作为固定相，流动相：A 为 pH 2.5 的 0.05 mol/L 的磷酸二氢钾缓冲液，B 为甲醇。0~2 min，A:B=98:2（*V/V*）；2 min 后，水:甲醇=65:35（*V/V*）。流动相流速为 1.0 mL/min，检测波长 246 nm，进样量 20 μL，柱温 20 ℃。

1.3.7 相对电导率

取 10.0 g 样品置于研钵中，研磨后移至 100 mL 容量瓶中，蒸馏水定容，过滤后采用 DDSJ-308A 电导率仪测定。

1.3.8 丙二醛（MDA）

取 2.0 g 果肉，加入 5.0 mL、100 g/L 的 TCA 溶液，研磨匀浆后，于 4 ℃、10000×g 离心 20 min，参照曹建康的方法[15]测定。

1.3.9 多酚氧化酶（PPO）、过氧化物酶(POD)含量

分别称取 5.0 g 果肉组织样品，置于研钵中，加入 5.0 mL 提取缓冲液，在冰浴条件下研磨成匀浆，于 4 ℃、12000×g 离心 30 min，收集上清液即为酶提取液，均参照曹建康的方法[15]测定。

1.3.10 菌落总数

参照 GB 4789.2-2010 进行。贮藏后的样品，每袋取 10 g 苹果切块，放入无菌试管中，加入 15 mL 0.1% 无菌丙酮水溶液，充分摇匀，倒入琼脂营养培养基中，30 ℃培养 2 d，再进一步扩大培养，10 ℃培养 9 d，以 CFU/g 计算菌落数，所有的实验做 3 个重复。

1.4 数据分析

采用 Origin 8.5 作图，实验结果取三次测定的平均值，以 IBM SPSS Statistics 19 进行显著性分析。

2 结果与分析

2.1 不同浓度的溶菌酶处理对鲜切苹果感官评分的影响

由表 2 可知，对照组贮藏 8 d 的感官评分下降明显低于溶菌酶组，原因是苹果切块外表褐变，果肉软化程度严重，在第 8 d 失去了商品价值；溶菌酶涂膜鲜切苹果的颜色、风味、脆度等感官品质变化明显低于对照组，因此感官评分较高，经方差分析，与对照组之间存在显著差异（$p<0.05$），0.05%溶菌酶组感官评分高于 0.01%溶菌酶组，0.08%溶菌酶处理对抑制鲜切苹果的感官品质下降效果最佳，贮藏 8 d 后的感官评分仍为 8.27，维持着鲜切苹果良好的外观品质。

表 2 不同浓度的溶菌酶处理鲜切苹果感官鉴定

Table 2 Sensory evaluations of fresh-cut apples treated with various concentrations of lysozymes

样品处理方式	时间/d				
	0	2	4	6	8
对照	$9.00^{a}\pm0.00$	$8.12^{c}\pm0.31$	$6.23^{c}\pm0.14$	$5.00^{c}\pm0.12$	$4.00^{c}\pm0.31$
0.01%溶菌酶	$9.00^{a}\pm0.00$	$8.41^{b}\pm0.22$	$7.75^{b}\pm0.12$	$7.50^{b}\pm0.53$	$7.50^{b}\pm0.12$
0.05%溶菌酶	$9.00^{a}\pm0.00$	$8.52^{ab}\pm0.21$	$8.48^{a}\pm0.53$	$8.39^{a}\pm0.12$	$7.70^{b}\pm0.21$
0.08%溶菌酶	$9.00^{a}\pm0.00$	$8.75^{a}\pm0.12$	$8.58^{a}\pm0.45$	$8.50^{a}\pm0.18$	$8.27^{a}\pm0.22$

注：同一列中不同小写字母表示差异达到显著水平（$p<0.05$）。

2.2 不同浓度的溶菌酶处理对鲜切苹果硬度的影响

由图 1 可见，鲜切苹果在贮藏期间，各组硬度随着时间的延长逐渐下降，与对照组相比，溶菌酶涂膜均可以抑制果实硬度的下降，其中 0.08%溶菌酶处理组硬度下降最为缓慢，原因可能是低浓度（0.01%、0.05%）的溶菌酶未形成连续膜，故在一定程度上影响了保鲜性能。贮藏至第 8 d 时，0.08%溶菌酶涂膜处理果肉硬度比对照组大 2.265×10^{5} Pa。由此说明，0.08%溶菌酶涂膜鲜切苹果发挥了较好的保鲜性能，抑制了鲜切苹果组织结构的软化。

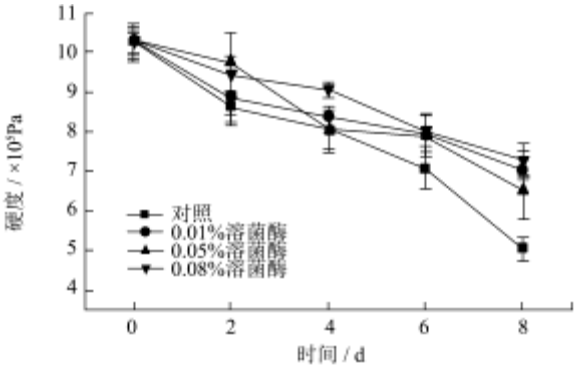


图 1 贮藏过程中鲜切苹果硬度的变化

Fig.1 Hardness of fresh-cut apples during storage

鲜切苹果在贮存过程中极易发生褐变，一旦褐变，商品性状下降。由图 2a 可知，鲜切苹果的褐变程度随

着贮存天数的延长而加深，0.08%溶菌酶处理的鲜切苹果褐变最轻，其次是 0.05%和 0.01%溶菌酶单独处理的，对照的鲜切苹果褐变最深，贮藏至第 8 d时，对照鲜切苹果的 L^*值为 65.06，比第 0 d减少了 14.85，而 0.08%溶菌酶组仅仅减少了 3.08；从图 2b可以看出，各组 a^*值随着贮藏时间的延长逐渐上升，从负到正，表示为从绿色到红色的转换，其中溶菌酶处理组始终低于对照组，处理组之间无明显差异；色泽比（a/b）呈逐渐上升的趋势，对照组的上升速度大大超过溶菌酶处理组，经方差分析，与溶菌酶组之间存在显著差异（$p<0.05$）（见图 2c），处理组之间无明显差异。饱和度C表示鲜切苹果的含色量，是指色彩的鲜艳程度，可定义为彩度除以明度，鲜切苹果含色成分越大，饱和度越大，由图 2d可知，在贮藏期间变化比较复杂，呈现先减小后增加的波动趋势。

2.3 不同浓度的溶菌酶处理对鲜切苹果可溶性固形物（TSS）含量的影响

从图 3 可知，随着贮藏时间的延长，鲜切苹果的 TSS 含量越来越少，呈下降趋势，经溶菌酶处理后鲜切苹果的 TSS 含量下降速率明显低于对照组，经方差分析，与对照之间存在显著差异（$p<0.05$），其中 0.08%溶菌酶处理效果最为显著，贮藏 8 d 后 TSS 减少了 20.3%，对照则减少了 41.7%。这主要是由于溶菌酶处理后有效抑制了鲜切苹果的生理代谢，从而延缓了 TSS 含量的降低，这与胡晓亮等人[8]的研究结果一致。

2.4 不同浓度的溶菌酶处理对鲜切苹果可滴定酸含量（TA）的影响

水果在贮藏期间仍在进行新陈代谢，有机酸作为重要的呼吸能量来源被不断的分解[16]，失水率也会直接影响鲜切苹果的可滴定酸含量，由图 4 可知，在第 0~2 d，各组 TA 含量升高，其中 0.08%溶菌酶和对照组明显高于其它组，原因是苹果切割后贮藏初期失水比较严重，导致 TA 含量升高，而后出现下降的趋势，在第 4~8 d 对照组 TA 含量下降特别明显，原因可能是呼吸作用大大消耗了 TA，而 0.08%溶菌酶组下降特别缓慢，较好地维持了鲜切苹果的营养物质（TA）含量。因此，溶菌酶处理较好起到了有效的保鲜效果。

2.5 不同浓度的溶菌酶处理对鲜切苹果 Vc 含量的影响

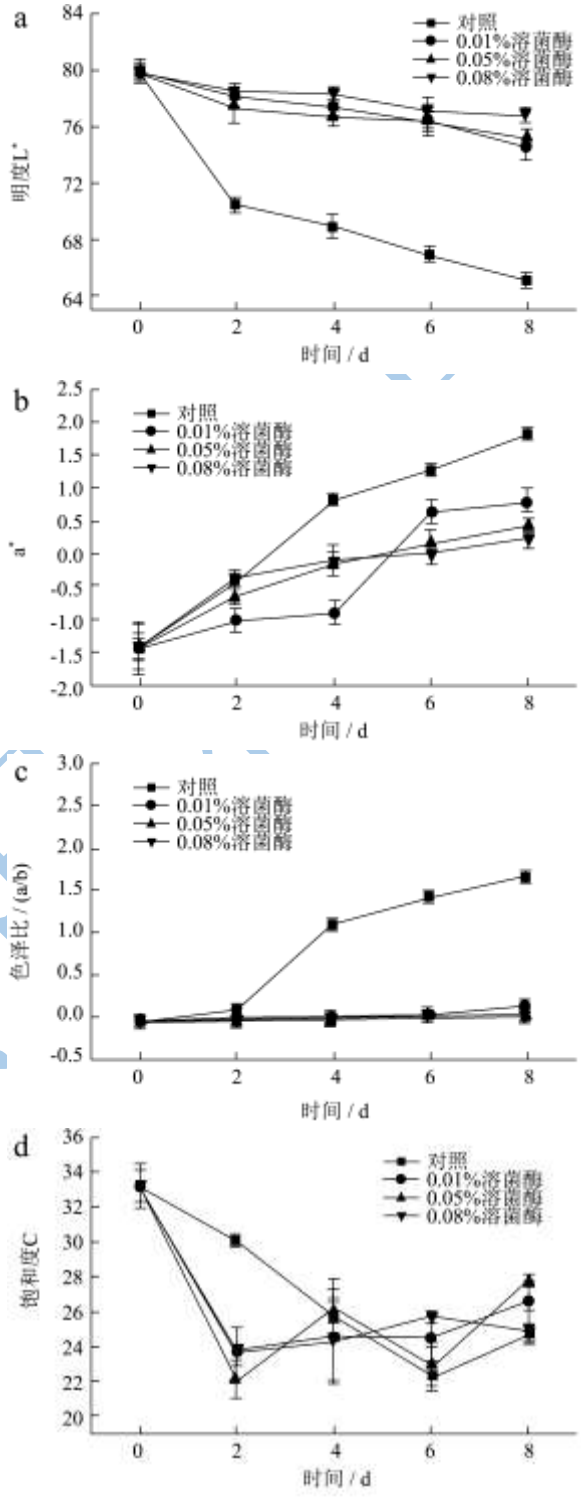


图2 贮藏过程中鲜切苹果色差的变化

Fig.2 Color of fresh-cut apples during storage

注：a：明度L^*的变化；b：a^*值的变化；c：色泽比（a/b）的变化；d：饱和度的变化。

Vc 是寒富苹果重要的营养成分之一，完整的苹果在采后 Vc 含量不断下降，切割苹果由于受到机械伤害 Vc 含量下降更为迅速[17]。从图 5 可以看出，在整个贮藏过程中，鲜切苹果 Vc 含量呈现进行性降低，其中对照组降低最为显著，在第 4~8 d 下降最为迅速，

贮藏 8 d 后 Vc 含量下降了 12.36 mg/100g，溶菌酶处理后能抑制鲜切苹果 Vc 含量的损失，贮藏至 8 d，Vc 含量仍保留了初始值的 88.2%以上，均显著高于对照组，其中 0.08%溶菌酶涂膜处理后的鲜切苹果 Vc 损失量最低。经方差分析，与对照组之间存在显著差异（$p<0.05$）。说明溶菌酶处理能够较好的延缓鲜切苹果营养物质（Vc）的损失，维持了鲜切苹果良好的品质。

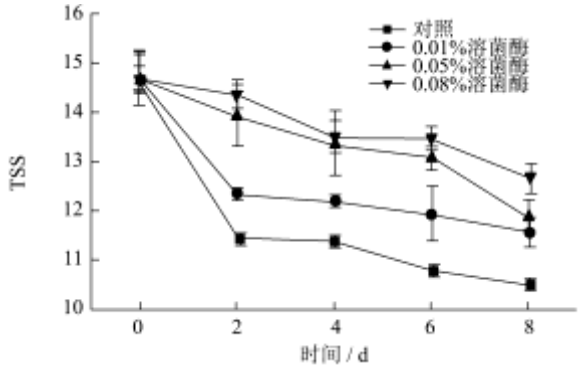


图 3 贮藏过程中鲜切苹果 TSS 含量的变化

Fig.3 Total soluble solids in fresh-cut apples during storage

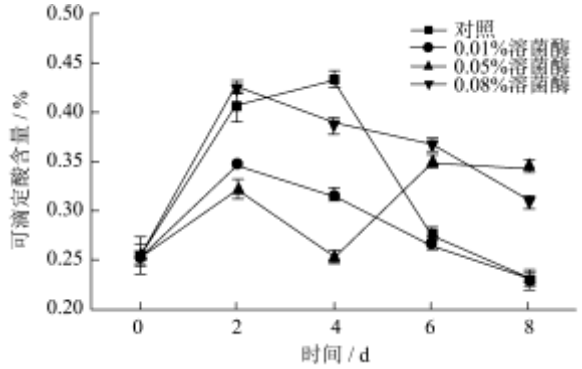


图 4 贮藏过程中鲜切苹果可溶性固形物的变化

Fig.4 Soluble solids in fresh-cut apples during storage

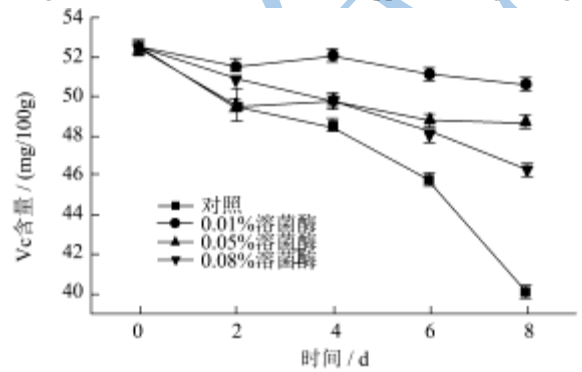


图 5 贮藏过程中鲜切苹果 Vc 的变化

Fig.5 Vc content of fresh-cut apples during storage

2.6 不同浓度的溶菌酶处理对鲜切苹果相对电导率的影响

相对电导率的大小可以衡量细胞膜透性的大小，一般来说，相对电导率越大，细胞膜结构破坏的程度越大[18]。由图 6 可知，尽管各组的相对电导率在贮藏期间均呈现上升趋势，但溶菌酶处理能有效抑制相对电导率上升的趋势，整个贮藏过程中，3 种溶菌酶处理的相对电导率始终显著低于对照（$p<0.05$），3 种溶菌酶中以 0.08%溶菌酶涂膜更有利于鲜切苹果相对电导率的抑制，说明溶菌酶处理可有效降低鲜切苹果细胞膜的受伤害程度，这与前人的研究结果一致[19]。

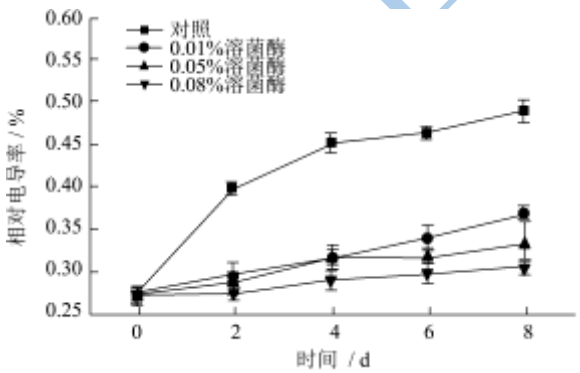


图 6 贮藏过程中鲜切苹果相对电导率的变化

Fig.6 Relative conductivity of fresh-cut apples during storage

2.7 不同浓度的溶菌酶处理对鲜切苹果丙二醛（MDA）含量的影响

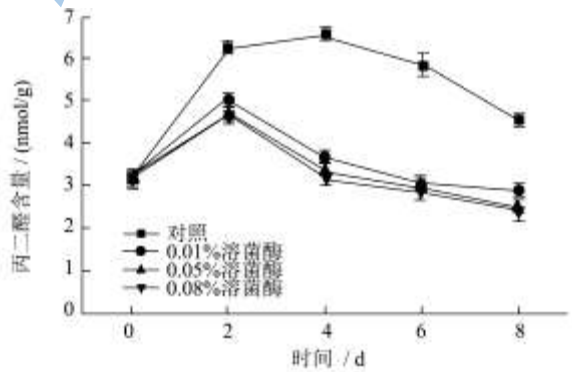


图 7 贮藏过程中鲜切苹果 MDA 的变化

Fig.7 MDA content of fresh-cut apples during storage

MDA 是细胞膜受到氧化损伤后的产物，鲜切苹果含量越高表明细胞衰老程度越深[20]。由图 7 可知，鲜切苹果 MDA 的含量随贮藏时间的延长呈现先上升后下降的趋势，基本在第 2 d 出现最大值。整个贮存过程中，对照组的 MDA 含量始终最高，其次是 0.01%、0.05%溶菌酶组，而 0.08%溶菌酶涂膜的 MDA 含量最低，在第 0 d 时，各组的 MDA 含量为 3.19 nmol/g 左右，由此说明，溶菌酶涂膜有助于保护细胞膜的完整性，维持细胞的正常生理功能水平，延缓鲜切苹果的

衰老。

2.8 不同浓度的溶菌酶处理对鲜切苹果多酚氧化酶（PPO）的影响

鲜切苹果在逆境条件下（去皮、切割），PPO 活性能显著升高，起到保卫作用[20]，由图 8 可知，各组的 PPO 活性呈现先升高后下降的趋势，在第 6d 出现最高峰，这可能是切割对苹果组织造成的伤害所致。溶菌酶处理组的 PPO 活性高于对照组，其中 0.08%溶菌酶组始终处于最低水平，PPO 是导致鲜切苹果褐变的主要酶，在有氧的条件下，PPO 能催化酚类物质氧化为醌，醌通过聚合反应产生有色物质导致组织褐变[21]，因此说明溶菌酶处理的鲜切苹果褐变程度有所减轻，0.08%溶菌酶护色效果最好。

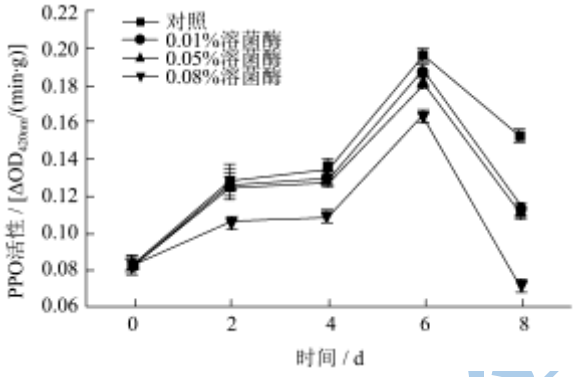


图 8 贮藏过程中鲜切苹果 PPO 活性的变化

Fig.8 PPO activity of fresh-cut apples during storage

2.9 不同浓度的溶菌酶处理对鲜切苹果过氧化物酶（POD）的影响

鲜切苹果在贮存过程中，褐变、失重等外观性状变化的同时，许多参与代谢的内源酶活性也在发生变化，由图 9 可知，鲜切苹果从第 0 d 到第 3 d，POD 活性随贮存时间的延长而升高，从第 6 d 到第 8 d，随贮存时间的延长而降低。POD 能催化鲜切苹果中低浓度的过氧化氢，使体内自由基维持在正常的动态水平，从而使机体免受过氧化氢的毒害作用[22]。0.08%的溶菌酶涂膜能够引起鲜切苹果 POD 活性的升高，这对于及时清除过量的过氧化氢是非常重要的。

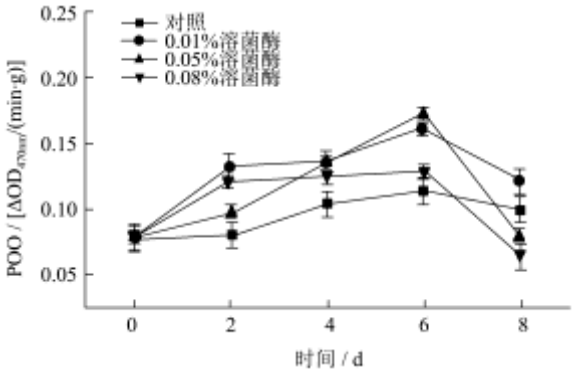


图 9 贮藏过程中鲜切苹果 POD 活性的变化

Fig.9 POD activity of fresh-cut apples during storage

2.10 不同浓度的溶菌酶处理对鲜切苹果菌落总数的影响

菌落总数的多少能够在一定程度上反应鲜切苹果卫生质量的优劣，决定着商品价值及其货架期。由表 3 可知，经溶菌酶处理的鲜切苹果菌落总数远低于对照组，原因是溶菌酶能够破坏微生物（细菌、真菌）的细胞壁，使内容物流出以致其死亡，较好地抑制了微生物的生长，经方差分析，差异显著（$p<0.05$）。其中 0.08%溶菌酶在抑菌作用上表现出了最佳的效果，到第 8 d 时 0.08%溶菌酶组的菌落总数低于 1×10^4 CFU/g，而对照组则超过了 1×10^6CFU/g。

表 3 鲜切苹果在 4 ℃下储藏时表面菌落总数变化（10^4 CFU/g）

Table 3 Microbial count (10^4 CFU/g) of fresh-cut apples during storage at 4 ℃

样品处理方式	时间/d				
	0	2	4	6	8
对照	$0.10^{a}\pm0.03$	$0.25^{a}\pm0.02$	$1.95^{a}\pm0.04$	$45.7^{a}\pm2.12$	$121.4^{a}\pm4.21$
0.01%溶菌酶	$0.00^{a}\pm0.00$	$0.20^{b}\pm0.01$	$0.42^{b}\pm0.03$	$0.90^{b}\pm0.07$	$2.00^{b}\pm0.08$
0.05%溶菌酶	$0.00^{a}\pm0.00$	$0.19^{b}\pm0.02$	$0.35^{c}\pm0.01$	$0.91^{b}\pm0.03$	$1.92^{b}\pm0.02$
0.08%溶菌酶	$0.00^{a}\pm0.00$	$0.14^{c}\pm0.01$	$0.22^{d}\pm0.01$	$0.49^{c}\pm0.03$	$0.72^{c}\pm0.04$

注：同一列中不同小写字母表示差异达到显著水平（$p<0.05$）。

3 结论

3.1 溶菌酶涂膜较对照相比能使鲜切苹果的感官鉴定得分较高（表 1），抑制了硬度的下降（图 1），保持了鲜切苹果的良好色泽（图 2），延缓了营养物质（TSS、Vc）含量的下降（图 3、图 5）；溶菌酶涂膜也在一定程度上抑制了相对电导率及 MDA 含量的增加，减轻了鲜切苹果细胞膜的破坏程度，这与韩艳丽等[7]人的

研究结果一致。其中 0.08%溶菌酶的保鲜效果最佳，其次是 0.05%溶菌酶，再次是 0.01%溶菌酶。原因是低浓度的溶菌酶未形成连续的膜，杀菌效果不佳，适当浓度的溶菌酶涂膜在抑制微生物繁殖生长上达到了明显的良好效果。

3.2 鲜切苹果的褐变与 PPO、POD 酶活性密不可分[23]。溶菌酶处理较对照相比能抑制多酚氧化酶（PPO）活性的上升，PPO 酶活性与鲜切苹果的褐变程度成正比，故溶菌酶能够有效减缓鲜切苹果的褐变，吴汶飞等[9]人也证实了溶菌酶能够有效抑制鲜切荔枝果肉的褐变。经溶菌酶处理的鲜切苹果能维持过氧化物酶（POD）活性处于较高水平，POD 活性升高能够增强清除低浓度的过氧化氢的能力，保持鲜切苹果细胞内的动态平衡，提高鲜切苹果的抗逆性。其中 3 种不同浓度的溶菌酶中以 0.08%溶菌酶保鲜效果最佳。

参考文献

[1] 陈湘宁,钟思琼,金文斌,等.膜包装鲜切蔬菜中主要腐败菌的分离与鉴定[J].中国食品学报,2012,12(5):154-160
CHEN xiang ning, ZHONG si qiong, JIN wen bin, et al. Separation and identification of the dominant spoilage microorganism in film packaged fresh-cut vegetables [J]. Journal of Chinese institute of food science and technology, 2012, 12(5): 154-160

[2] Kim J G, Luo Y G, Kenneth C, et al. Effect of package film on the quality of fresh-cut salad savoy [J]. Postharvest Biology and Technology, 2004, 32(1): 99-107

[3] 金长娟,弭道彬.我国果品蔬菜贮藏保鲜的现状与发展对策[J].中国园艺文摘,2010,26(1):51-52
JIN chang juan, MI dao bin. The situation and development strategy in storage of fruits and vegetables [J]. Chinese hortl cuture abstracts, 2010, 26(1): 51-52

[4] 胡晓亮,周国燕,王春霞,等.海藻酸钠和溶菌酶复合涂膜对樱桃番茄贮藏的保鲜效果[J].食品与发酵工业,2011,37(10):192-197
HU xiao liang, ZHOU guo yan, WANG chun xia, et al. Research of alginate and lysozyme compound coating on fresh-keeping of cherry tomatoes [J]. Food and fermentation industries, 2011, 37(10): 192-197

[5] 张凤凯,马美湖.溶菌酶及其食品保鲜剂的应用[J].肉类研究,2011,4:41-42
ZHANG feng-kai, MA mei-hu. Lysozyme as in food anti-staling agent [J]. Meat research, 2011, 4: 41-42

[6] 吴晓英,陈慧英,林影.溶菌酶涂膜保鲜杨梅的研究[J].食品工业科技,2005,26(8):157-158
WU Xiao-ying, CHEN Hui-ying, LIN ying. Lysozyme coating preservation bayberry research [J]. Science and Technology of Food Industry, 2005, 26(8): 157-158

[7] 韩艳丽,张绍玲,吴俊,等.溶菌酶对丰水梨果实贮藏保鲜效果的影响[J].果树学报,2008,25(4):537-541
HAN Yan-li, ZHANG Shao-ling,WU Jun, et al. Effect of lysozyme coating treatments on the storability of Hosui pear Fruit [J]. Journal of Fruit Science, 2008, 25(4): 537-541

[8] 胡晓亮,周国燕.海藻酸钠和溶菌酶复合涂膜对马陆葡萄贮藏的保鲜效果[J].食品科学,2011,32(20):271-276
HU Xiao-liang, ZHOU Guo-yan. Fresh-keeping effect of compound sodium alginate-lysozyme coating on malu grapes [J]. Food science, 2011, 32(20): 271-276

[9] 吴汶飞,余小林,胡卓炎.生物保鲜剂对提高鲜切荔枝果肉冰温贮藏品质的效果[J].食品与发酵工业,2012,38(4):202-207
WU Wen-fei, XU Xiao-lin, HU Zhuo-yan. Study on biological preservations for improving quality of fresh-cut lichi during ice-temperature storage [J]. Food and fermentation industries, 2012, 38(4): 202-207

[10] 徐静宜,徐永平,刘姝,等.溶菌酶及其在食品工业中的应用[J].食品与机械,2006,1:90-92
XU Jing-yi, XU Yong-ping, LIU Shu, et al. Research advances in egg bioactive component-lysozyme and its applications in food industry [J]. Food and machinery, 2006, 1: 90-92

[11] 王修俊,刘颖,邱树毅,等.复合磷酸盐食品添加剂对鲜切青苹果保鲜效果的研究[J].食品工业科技,2008,29(8):258-260
WANG Xiu-jun, LIU Ying, QIU Shu-yi, et al. Study one effects of food additives named mixed phosphates on the fresh keeping of fresh-cut blue apples [J]. Science and Technology of Food Industry, 2008, 29(8): 258-260

[12] 曾文兵.可食性复合涂膜保鲜剂对延长鲜切苹果货架期的研究[J].食品科学,2006,27(2):262-265
ZENG Wen-bing. Study on extending shelf-life of fresh-cut apples with edible coatings compound preservative [J]. Food science, 2006, 27(2): 262-265

[13] Pilar H M, Eva A, Valeria D V, et al, Effect of chitosan coating combined with postharvest calcium treatment on strawberry (*Fragaria* × *ananassa*) quality during refrigerated storage [J]. Food Chemistry, 2008, 110(2), 428-435

[14] 姜波,范圣第,刘长建,等.菠萝中维生素C的高效液相色谱分析[J].大连民族学院学报,2003,5(1):52-53
JIANG Bo, FAN Sheng-di, LIU Chang-jian, et al. Determination of vitamin C in pineapple by high performance liquid chromatography [J]. Journal of dalian nationalities university, 2003, 5(1): 52-53

[15] 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. Postharvest physiology and biochemistry experiments guidance [M]. Beijing: Chinese light industry press, 2007

[16] Lamikanra O, Chen J C, Banks D, et al. Biochemical and microbial changes during the storage of minimally processed cantaloupe [J]. Journal Agriculture Food Chemistry, 2000, 48(12): 5955-5961

[17] Fan X T, Niemera B A, Mattheis J P, et al. Quality of fresh-cut apple slices as affected by low-dose lonizing radiation and calcium ascorbate treatment [J]. Journal of Food Science, 2005, 70(2): 143-148

[18] 陈爱葵,韩瑞宏,李东洋,等.植物叶片相对电导率测定方法比较研究[J].广东教育学院学报,2010,30(5):88-91
CHEN Ai-kui, HAN Rui-hong, LI Dong-yang, et al. A comparison of two methods for electrical conductivity about plant leaves [J]. Journal of Guangdong Education Institute, 2010, 30(5): 88-91

[19] 胡文忠,姜爱丽,杨宏,等.茉莉酸甲酯对鲜切苹果生理生化变化的影响[J].食品工业科技,2012,33(16):338-346
HU Wen-zhong, JIANG Ai-li,YANG hong, et al. Effect of jasmonic acid methyl ester treantment on the physiological and biochemical reactions of fresh-cut apple [J]. Science and Technology of Food Industry, 2012, 33(16): 338-346

[20] 于有伟,李惠,邸金花,等.壳聚糖植酸天然复合涂膜对鲜切莲藕保鲜效果的研究[J].中国食品学报,2012,12(3):131-136
YU You-wei, LI Hui, DI Jin-hua, et al. Study of natural film with chitosan combining phytic acids on preservation of fresh-cutting lotus root [J]. Journal of Chinese institute of food science and technology, 2012, 12(3): 131-136

[21] Luzab J G, Van Gorsel R, Polito V S, et al. Chilling injury in peaches: a cytochemical and ultrastrural cell wall study [J]. American Society Horticultural Science, 1992, 117(1): 114-118

[22] 刘美迎,周会玲,吴主莲,等.纳他霉素复合涂膜剂对葡萄保鲜效果的影响[J].农业工程学报,2012,28(10):259-266
LIU Mei-ying, ZHOU Hui-ling, WU Zhu-lian, et al. Effects of natamycin coating compounds on fresh-keeping of grape during storage [J]. Transactions of the Chinese society of agricultural engineering, 2012, 28(10): 259-266

[23] Oms-Oliu G, Rojas-Grau M A, Gonzalez L A, et al. Recent approaches using chemical treatments to preserve quality of fresh-cut fruit: A review [J]. Postharvest Biology and Technology, 2010, 57(3): 139-148

现代食品科技