

# 一氧化氮缓释熏蒸处理对鲜切苹果片品质的影响

朱珍, 丁洋, 聂莹, 李淑英, 赵金红, 唐选明

(中国农业科学院农产品加工研究所/农业部农产品加工重点实验室, 北京 100193)

**摘要:** 本文研究一氧化氮(nitric oxide, NO)气体缓释熏蒸处理对鲜切苹果片品质变化的影响。以红富士苹果为试材, 将鲜切苹果片与NO供体二乙烯三胺一氧化氮聚合物(diethylenetriamine/nitric oxide, DETANO)、柠檬酸及玉米淀粉制成的NO气体缓释剂共置于密闭容器中, 在4℃条件下贮藏。贮藏期间测定鲜切苹果片的表面明度(lightness, L\*)值、果肉硬度、失重率、总酚含量、多酚氧化酶(polyphenoloxidase, PPO)活性、可溶性固形物含量、维生素C含量以及可滴定酸含量。结果表明: 与对照组相比, NO气体缓释熏蒸处理能有效减轻鲜切苹果片的表面褐变、果肉软化和失重, 显著抑制总酚含量的下降和PPO活性的升高, 并保持可溶性固形物、维生素C和可滴定酸含量, 延缓鲜切苹果片的品质劣变, 为鲜切苹果片的贮藏保鲜提供了一种新方法。

**关键词:** 一氧化氮; 鲜切苹果; 褐变; 贮藏品质

文章编号: 1673-9078(2016)3-246-251

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2016.3.039

## Effects of Nitric Oxide Slow-release Fumigation Treatment on the Quality of Fresh-cut Apple Slices

ZHU Zhen, DING Yang, NIE Ying, LI Shu-ying, ZHAO Jin-hong, TANG Xuan-ming

(Institute of Agro-products Processing Science and Technology/ Key Laboratory of Agro-Products Processing, Ministry of Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

**Abstract:** The influence of nitric oxide (NO) slow-release fumigation treatment on the quality of fresh-cut apple (*Malus domestica* Borkh. cv. Red Fuji) slices was investigated in this study. Fresh-cut 'Red Fuji' apple slices and an NO releasing agent that was composed of donor diethylenetriamine/nitric oxide (DETANO), citric acid, and comstarch were simultaneously placed in a sealed container at 4℃. The lightness (L\*) value of the cut surface, flesh firmness, weight loss, total phenolic content, polyphenoloxidase (PPO) activity, total soluble solid content, vitamin C content, titratable acid content of the fresh-cut apple slices were analyzed during the storage period. The NO slow-release fumigation treatment effectively reduced the development of cut surface browning, flesh softening, and weight loss, and significantly inhibited the decrease of total phenolic content and the increase of PPO activity as compared to the control. Additionally, the fumigation treatment maintained the levels of total soluble solids, vitamin C, and titratable acids and delayed the quality deterioration of fresh-cut apple slices. It could provide a new method of preservation for fresh-cut apple slices.

**Key words:** nitric oxide; fresh-cut apple; browning; storage quality

鲜切果蔬也叫半处理果蔬或轻度加工果蔬, 是指将新鲜果蔬进行分级、清洗、整修、去皮(核)、切分、保鲜、包装等处理, 食用时不需要进一步加工的新型果蔬产品, 一般多供餐厅、快餐店及零售市场消费。鲜切果蔬深受人们喜欢, 但由于加工过程中果蔬完整性遭到破坏, 果蔬组织会发生一系列急剧的生理生化变化, 如表面褐变、软化、风味及营养水平下降等等,

收稿日期: 2015-04-24

基金项目: 国家自然科学基金(31401551); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(0032015017); 中国农业科学院科技创新工程项目

作者简介: 朱珍(1989-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 农产品加工与安全  
通讯作者: 唐选明(1964-), 男, 博士, 副研究员, 研究方向: 农产品加工与贮藏

这些变化将直接影响鲜切产品的食用价值和商业价值。目前对于抑制鲜切果蔬品质劣变的方法有很多, 包括可食性涂膜(如木薯淀粉<sup>[1]</sup>、壳聚糖<sup>[2]</sup>、藻酸盐基可食性淀粉<sup>[3]</sup>等)、精油熏蒸处理(如柠檬草精油<sup>[4]</sup>、大蒜精油<sup>[5]</sup>等)、低温<sup>[6]</sup>、适度热处理<sup>[7]</sup>以及紫外照射<sup>[8]</sup>等等, 主要是通过调节相关抗氧化酶活性、抑制果蔬呼吸速率和控制微生物生长来保鲜。

一氧化氮(nitric oxide, NO)是一种高活性自由基气体, 在生物体内, 能自由通过生物膜, 在细胞内或细胞间扮演重要的信使角色, 参与细胞信号转导过程。研究表明, NO通过抑制果实的呼吸、减少乙烯生物合成、减缓果皮转色以及降低软化相关酶活性来延缓果实衰老, 延长其贮藏期<sup>[9-14]</sup>。近年来, NO对于鲜切

园艺产品的保鲜作用逐渐得到关注。外源 NO 供体硝普钠 (sodium nitroprusside, SNP) 浸泡处理能有效减轻瓶插月季的萎蔫现象, 延长其货架期<sup>[15]</sup>。Zhu<sup>[16]</sup>等人的研究表明, 5  $\mu\text{L/L}$  的 NO 气体与 0.2% 的抗坏血酸溶液复合处理能通过调节酚类代谢、相关酶活性和改变果肉组织微观结构, 来抑制鲜切桃片的表面褐变。Huque<sup>[17]</sup>等人的研究表明, 10 mg/L 的 NO 供体二乙胺三胺一氧化氮聚合物 (diethylenetriamine/nitric oxide, DETANO) 溶液浸泡处理和 10  $\mu\text{L/L}$  的 NO 气体熏蒸处理能够抑制鲜切“澳洲青苹”的表面褐变, 该过程与降低离子渗透率、呼吸速率和酚类代谢有关。Wills<sup>[18]</sup>等人的研究发现, 在潮湿的空气中, DETANO 固体在酸作用下释放出低浓度 NO 气体, 可显著延长草莓和蘑菇的贮藏期。本实验利用鲜切苹果片贮藏的高湿环境, 以 DETANO、柠檬酸及玉米淀粉混合制成的 NO 气体缓释剂对鲜切苹果片进行熏蒸处理, 研究该处理对鲜切苹果片品质的影响。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

山东红富士, 购于北京市百旺商城美廉美超市。挑选大小一致、色泽红润、无病虫害、无机械伤的富士苹果进行试验。

无纺布包装袋, 北京市恒新堂科技发展有限公司, 尺寸为 4 cm $\times$ 6 cm。

### 1.2 主要试剂

DETANO、福林酚试剂, 美国 Sigma 公司; 柠檬酸、玉米淀粉为食品级, 青岛扶桑精制加工有限公司; 次氯酸钠、无水碳酸钠、氢氧化钠、抗坏血酸、二水合草酸、磷酸二氢钠、磷酸氢二钠、聚乙烯吡咯烷酮、乙二胺四乙酸、邻苯二酚均为分析纯, 国药集团化学试剂有限公司。

### 1.3 仪器与设备

AC120S 精密天平, 德国 Sartorius 公司; FA2204B 精密电子天平, YP502N 电子天平, 上海精密科学仪器有限公司; GASTEC NO 气体快速检测管, GV-100S 手动气体采样器, 上海乐丁电子科技有限公司; HH-4 数显恒温水浴锅, 江苏省金坛市荣华仪器有限责任公司; TU-1901 双光束紫外可见分光光度计, 北京普析通用有限责任公司; TA-XT2i 物性测试仪, 英国 Stable Micro System 公司; CR-400 美能达色度计, 日本柯尼卡美能达控股公司; FG-109 手持折光仪, 上海淋誉贸

易有限公司。

## 1.4 试验方法

### 1.4.1 缓释剂制备

精确称取 0.5 mg DETANO、5 mg 柠檬酸和 200 mg 玉米淀粉, 装入无纺布包装袋后封合, 制成 NO 气体缓释剂。

### 1.4.2 原料处理

以新鲜富士苹果为实验原料, 流水清洗干净后用 1% (V/V) 的次氯酸钠溶液消毒 2 min, 再以流水冲洗 10 min 并沥干表面水分, 用消毒的刀具纵向切分苹果, 去除果核并均分为 12 片。称取 100 g 鲜切苹果片, 与 NO 气体缓释剂共置于 2 L 密闭容器中, 对照组无纺布包装袋中不含 DETANO。样品均于 4  $^{\circ}\text{C}$  下贮藏 4 d。贮藏期间, 每天进行取样。测定其明度 (lightness,  $L^*$ ) 值、硬度、失重率、总酚含量、多酚氧化酶 (polyphenoloxidase, PPO) 活性、可溶性固形物含量、维生素 C 含量、可滴定酸含量变化。其中可溶性固形物测定重复 10 次, 其他各项指标测定重复 3 次。

## 1.5 测定方法

### 1.5.1 NO 释放动力学曲线确定

鲜切苹果 (100 g) 与 NO 气体缓释剂、数显温湿度计共置于 2 L 密闭容器中, 分别于 0、3、6、12、24、36、48、60、72、84、96 h 观察相对湿度变化情况, 同时用 NO 气体快速检测管抽取容器中气体测定其中 NO 的气体浓度。

### 1.5.2 颜色的测定

用色度计测定鲜切苹果表面的  $L^*$  值, 每片苹果两侧各读取三个数, 结果取平均值。

### 1.5.3 总酚含量测定

总酚含量测定参照 Singleton<sup>[19]</sup>的方法。以没食子酸绘制标准曲线, 样品总酚含量换算为每克苹果组织中没食子酸的含量 (mg/g)。

### 1.5.4 多酚氧化酶 (PPO) 活性测定

酶的提取参考 Yang<sup>[20]</sup>的方法, 活性测定参考曹建康<sup>[21]</sup>的方法。

### 1.5.5 硬度变化

组织硬度采用 TA-XT2i 物性测试仪测定 (Stable Micro Systems Ltd., Co, UK), 硬度值是以其物性曲线最高峰值来表示。测定模式参数设置如下: Test mode, compression; pre-test speed, 2 mm/s; test speed, 1 mm/s; post-test speed, 2 mm/s; target mode, 5 mm distant from probe; trigger type, 5.0 g auto force。

### 1.5.6 失重率测定

组织失重率采用称重法进行测定。对处理前后鲜切苹果的重量分别进行测定。

$$\text{失重率} = (\text{初始鲜重} - \text{贮藏后鲜重}) / \text{贮藏后鲜重} \times 100\%$$

### 1.5.7 可溶性固形物含量测定

取 5 g 鲜切苹果组织，研磨后 5000 r/min 离心 10 min，取上清 2 滴，用手持式折光仪进行可溶性固形物含量的测定。

### 1.5.8 维生素 C 含量测定

维生素 C 含量测定参考刘艳芳<sup>[22]</sup>。

### 1.5.9 可滴定酸含量测定

可滴定酸含量测定与总酚含量测定共用供试液，具体参考曹建康<sup>[20]</sup>的方法。可滴定酸含量按苹果酸含量进行折算。

## 1.6 数据处理

每个试验重复至少 3 次，结果表示为平均值±标准偏差。应用 origin8 软件中的独立样本的 t 检验和 One-Way ANOVA (Fisher LSD) 对所有数据进行方差分析，以  $p < 0.05$  表示差异显著。

## 2 结果与讨论

### 2.1 NO 释放动力学曲线

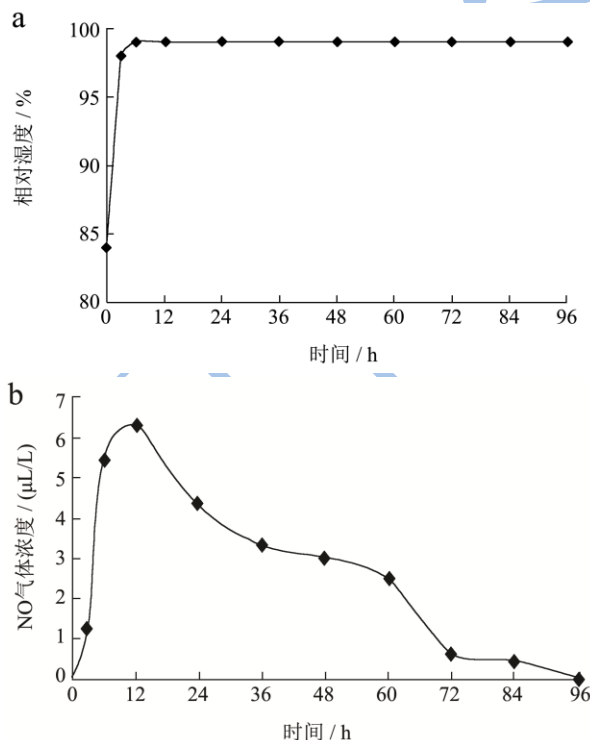


图1 相对湿度变化 (a) 及 NO 释放动力学曲线 (b)

Fig.1 Change of relative humidity (a) and NO releasing kinetic curve (b)

研究表明，一摩尔的 DETANO 能在酸溶液中分

解产生两摩尔的当量 NO 气体<sup>[23-24]</sup>。如图 1a 所示，在盛有 100 g 鲜切苹果片的 2 L 密闭容器中，相对湿度在 6 h 即可达到 99%，随后保持不变。由 1b 图可知，NO 气体浓度迅速升高，在 12 h 出现最大释放量，浓度为 6.33 μL/L，随后逐渐降低，持续释放 NO 气体至 96 h。

### 2.2 L\*值

切面颜色发生褐变是导致鲜切苹果片商品价值降低的重要原因<sup>[25]</sup>。由图 2 可知，随着贮藏时间延长，鲜切苹果片表面 L\*值显著降低 ( $p < 0.05$ )。与对照组相比，整个贮藏期内 NO 处理组的 L\*值保持较高的水平，贮藏 4 d 时，对照组的 L\*值降至 75.00，而 NO 处理组仍高达 77.01。

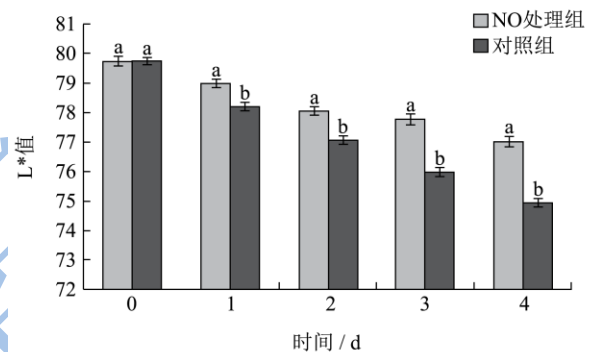


图2 NO 缓释熏蒸处理对鲜切苹果片 L\*值变化的影响

Fig.2 Effect of NO slow-release fumigation treatment on L\* value in fresh-cut apple slices

### 2.3 硬度

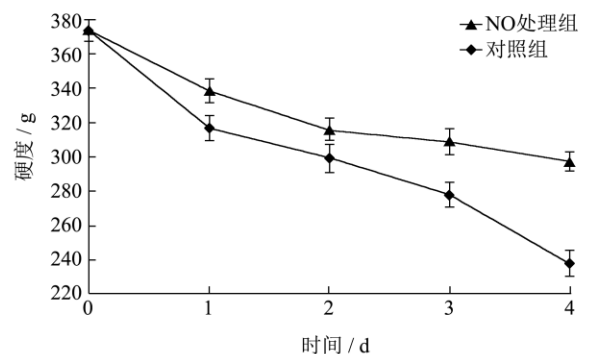


图3 NO 缓释熏蒸处理对鲜切苹果片硬度的影响

Fig.3 Effect of NO slow-release fumigation treatment on the firmness of fresh-cut apple slices

组织软化是影响鲜切苹果片货架期的主要问题之一。由图 3 可知，鲜切苹果片的硬度随着贮藏时间的延长而显著下降 ( $p < 0.05$ )，贮藏 4 d 时，NO 处理组鲜切苹果片的硬度下降了 20.49%，而对照组则下降了 36.35%，并且在整个贮藏过程中，NO 处理组始终显

著高于对照组 ( $p < 0.05$ )。此结果同 Zhu<sup>[16]</sup>等人的研究结果一致, 可见, 适宜浓度的 NO 处理能有效抑制贮藏期间鲜切苹果片的组织软化。

## 2.4 失重率

在鲜切苹果片的贮藏过程中, 会出现失水等现象导致其质量损失。由表 1 可知, 整个贮藏期间, 鲜切苹果片失重率呈显著 ( $p < 0.05$ ) 上升趋势。在贮藏 1 d 后, NO 处理组鲜切苹果片的失重率与对照组不存在显著性差异 ( $p > 0.05$ ), 但贮藏 2~4 d 时, NO 处理组和对照组之间存在显著性差异 ( $p < 0.05$ ), NO 处理组的失重率明显低于对照组。到贮藏 4 d 时, NO 处理组失重率为 2.80%, 而对照组则高达 5.18%。Jiang<sup>[26]</sup>等人发现, DETANO 溶液处理的双孢菇在贮藏期间失重率为 1.9%, 而对照组则高达 2.47%。由此可见, NO 熏蒸处理能有效降低鲜切苹果片重量损失。

表 1 NO 缓释熏蒸处理对鲜切苹果片失重率 (%) 的影响

Table 1 Effect of NO slow-release fumigation treatment on the rate of weight loss in fresh-cut apple slices

	贮藏时间/d			
	1	2	3	4
NO 处理组	1.24±0.04 <sup>Da</sup>	1.34±0.02 <sup>Cb</sup>	1.58±0.02 <sup>Bb</sup>	2.80±0.01 <sup>Ab</sup>
对照组	1.26±0.03 <sup>Da</sup>	1.64±0.03 <sup>Ca</sup>	1.84±0.03 <sup>Ba</sup>	5.18±0.03 <sup>Aa</sup>

注: 表中每个数值都是三组重复试验得到的平均值。不同大写字母表示同一处理组在不同贮藏时间内差异显著 ( $p < 0.05$ ), 不同小写字母表示不同贮藏时间内 NO 处理组和对照组之间差异显著 ( $p < 0.05$ )。

## 2.5 总酚含量及多酚氧化酶活性

苹果中含有多种酚类物质, 酚类物质能有效清除自由基, 防止组织受到破坏发生氧化。由图 4a 可知, 随着贮藏时间延长, 鲜切苹果片中总酚含量整体呈下降趋势, 而 NO 处理组始终显著高于对照组 ( $p < 0.05$ )。一般认为, PPO 催化酚类物质氧化生成醌类物质, 醌类物质进一步聚合形成褐色聚合物, 从而导致酶促褐变的产生。贮藏期间, 鲜切苹果片的 PPO 活性整体呈上升趋势, 而 NO 处理组 PPO 活性明显低于对照组 ( $p < 0.05$ ) (图 4b)。Zhu<sup>[16]</sup>等人发现, NO 可通过改变 PPO 活性位点的正常结构来降低其活性。本实验中 NO 缓释熏蒸处理能够抑制 PPO 活性, 保持较高的总酚含量, 从而减轻鲜切苹果的表面褐变 (图 2)。类似地, Yang<sup>[27]</sup>等人研究发现, 0.5 mM NO 供体 SNP 处理能抑制竹笋组织内 PPO 活性增加和酚类物质含量降低, 减轻剥皮竹笋的褐变。

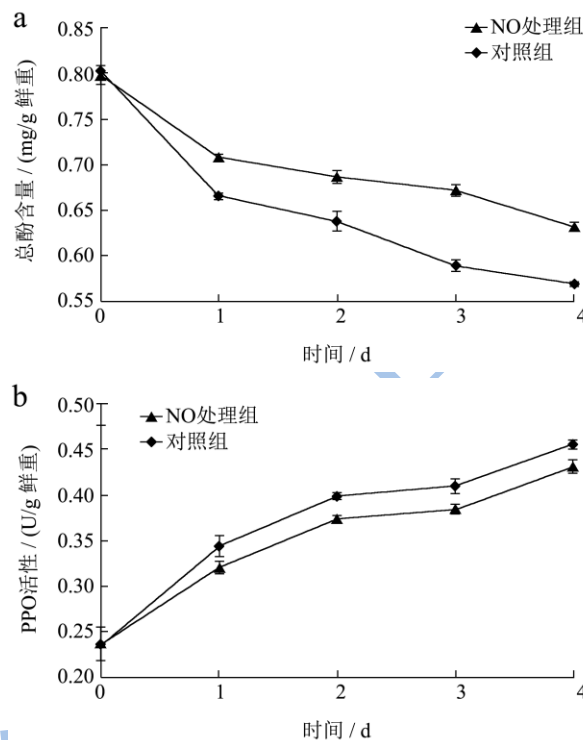


图 4 NO 缓释熏蒸处理对鲜切苹果片总酚含量 (a) 及 PPO 活性变化 (b) 的影响

Fig 4 Effect of NO slow-release fumigation treatment on total phenolic content (a) and PPO activity (b) in fresh-cut apple slices

## 2.6 营养成分变化

### 2.6.1 可溶性固形物含量

由图 5a 可知, 在贮藏期间, 鲜切苹果片的可溶性固形物含量整体呈上升趋势, 且对照组显著高于 NO 处理组 ( $p < 0.05$ )。可溶性固形物含量增加可能主要是由水分散失造成的, 这与贮藏期间鲜切苹果的失重率变化趋势一致。可见 NO 缓释熏蒸处理能延缓果实可溶性固形物含量的增加。Singh<sup>[28]</sup>等人的研究表明, NO 熏蒸处理能有效抑制贮藏期间日本李子果实可溶性固形物含量的增加。

### 2.6.2 维生素 C 含量

由图 5b 可知, 贮藏期间鲜切苹果片的维生素 C 含量持续下降, 其中贮藏 1 d 下降幅度最大, 对照组的维生素 C 含量降低了 34.65%, NO 处理组降低了 21.78%。整个贮藏过程中, 对照组始终显著低于 NO 处理组 ( $p < 0.05$ )。本实验结果与 Zhu<sup>[29]</sup>和 Duan<sup>[13]</sup>等人的研究结果一致。而 Zaharah<sup>[30]</sup>等人研究认为, 10  $\mu\text{L/L}$ 、20  $\mu\text{L/L}$  和 40  $\mu\text{L/L}$  的 NO 气体熏蒸处理均对 5  $^{\circ}\text{C}$  贮藏条件下的芒果果实中维生素 C 含量的变化无显著影响, 这可能与果蔬品种不同有关。

### 2.6.3 可滴定酸含量

贮藏期间, 鲜切苹果片的可滴定酸含量逐渐降低 (图 5c)。在贮藏前期, NO 处理组和对照组无显著性差异 ( $p > 0.05$ ), 贮藏 3 d 和 4 d, NO 处理组可滴定酸含量显著高于对照组 ( $p < 0.05$ )。Duan<sup>[13]</sup>的研究显示 NO 处理对龙眼果实中可滴定酸含量无显著影响, 但 Wang<sup>[11]</sup>研究认为 0.05 mM 的 SNP 溶液处理的香蕉果实中可滴定酸含量在贮藏期间有轻微降低, 但显著高于对照组。这可能是由于 NO 具有保持细胞结构完整性的作用, 能够有效保持细胞中可滴定酸、可溶性固形物等成分的含量<sup>[31]</sup>。

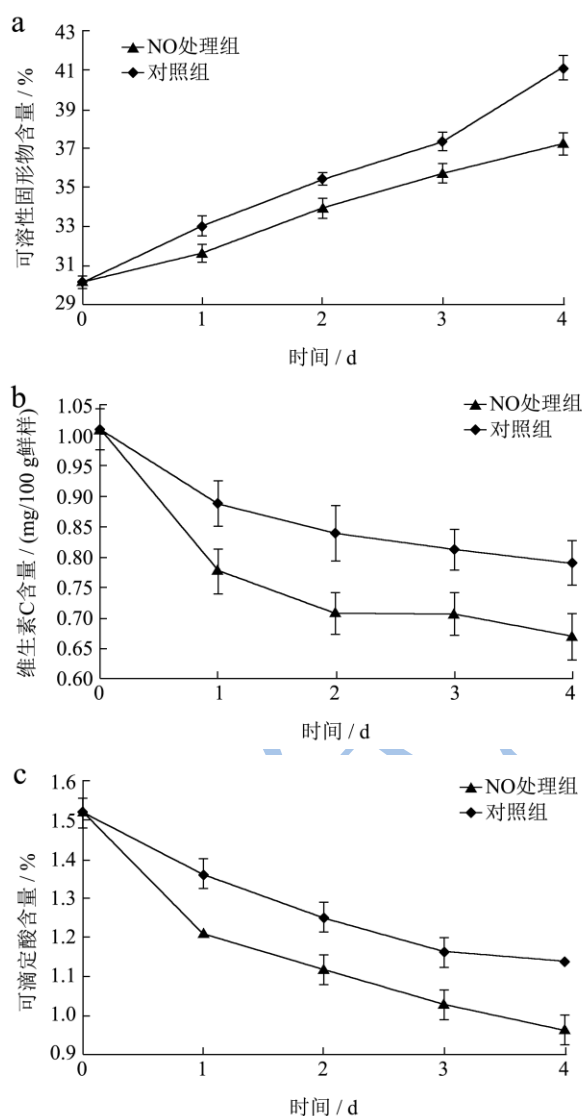


图 5 NO 缓释熏蒸处理对鲜切苹果片可溶性固形物含量 (a)、维生素 C 含量 (b) 和可滴定酸含量 (c) 的影响

Fig.5 Effect of NO slow-release fumigation treatment on the levels of total soluble solids (a), vitamin C (b), and titratable acids (c) in fresh-cut apple slices

### 3 结论

本研究以 DETANO、柠檬酸及玉米淀粉制成的 NO 气体缓释剂对鲜切苹果片进行熏蒸处理, 发现该处理能够有效减轻鲜切苹果片的褐变, 果肉硬度的降低以及重量的损失, 且 NO 缓释熏蒸处理还能显著抑制总酚含量的下降和 PPO 活性的上升, 保持可溶性固形物、维生素 C 及可滴定酸含量, 有效延缓鲜切苹果片的品质劣变。

### 参考文献

- [1] CHIUMARELLI M, FERRARI C C, SARANTOPOULOS C I G L, et al. Fresh cut 'Tommy Atkins' mango pre-treated with citric acid and coated with cassava (*Manihot esculenta* Crantz) starch or sodium alginate [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2011, 12(3): 381-387
- [2] XIAO Zhen-lei, LUO Yang-chao, LUO Ya-guang, et al. Combined effects of sodium chlorite dip treatment and chitosan coatings on the quality of fresh-cut d'Anjou pears [J]. Postharvest Biology and Technology, 2011, 62(3): 319-326
- [3] ROBLES-SANCHEZ R M, ROJAS-GRAU M A, ODRIOZOLA-SERRANO I, et al. Influence of alginate-based edible coating as carrier of antibrowning agents on bioactive compounds and antioxidant activity in fresh-cut Kent mangoes [J]. LWT-Food Science and Technology, 2013, 50(1): 240-246
- [4] AZARAKHSH N, OSMAN A, GHAZALI H M, et al. Lemongrass essential oil incorporated into alginate-based edible coating for shelf-life extension and quality retention of fresh-cut pineapple [J]. Postharvest Biology and Technology, 2014, 88: 1-7
- [5] AYALA-ZAVALA J F, GONZALEZ-AGUILAR G A. Optimizing the use of garlic oil as antimicrobial agent on fresh-cut tomato through a controlled release system [J]. Journal of Food Science, 2010, 75(7): M398-M405
- [6] YANG Qing-zhen, RAO Jing-ping, YI Shun-chao, et al. Antioxidant enzyme activity and chilling injury during low-temperature storage of Kiwifruit cv. Hongyang exposed to gradual postharvest cooling [J]. Horticulture, Environment, and Biotechnology, 2012, 53(6): 505-512
- [7] SIDDIQ M, ROUIDOUNG S, SOGID S, et al. Total phenolics, antioxidant properties and quality of fresh-cut onions (*Allium cepa* L.) treated with mild-heat [J]. Food Chemistry, 2013, 136(2): 803-806
- [8] MAGHOUMI M, GOMEZ P A, ARTÉS-HERNÁNDEZ F, et al. Hot water, UV-C and super atmospheric oxygen packaging as hurdle techniques for maintaining overall

- quality of fresh-cut pomegranate arils [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2013, 93(5): 1162-1168
- [9] ZHOU Ya-han, LI Shun-min, ZENG Kai-fang. Exogenous nitric oxide induced postharvest disease resistance in citrus fruit to *Colletotrichum gloeosporioides* [OL]. (2015-4-8) [2015-4-15]
- [10] LI Xue-ping, WU Bin, GUO Qin, et al. Effects of nitric oxide on postharvest quality and soluble sugar content in papaya fruit during ripening [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2014, 38(1): 591-599
- [11] WANG Yan-sheng, LUO Zi-sheng, DU Rui-xue. Nitric oxide delays chlorophyll degradation and enhances antioxidant activity in banana fruits after cold storage [J]. Acta Physiologiae Plantarum, 2015, 37(4): 1-10
- [12] WU Bin, GUO Qin, LI Qing-peng, et al. Impact of postharvest nitric oxide treatment on antioxidant enzymes and related genes in banana fruit in response to chilling tolerance [J]. Postharvest Biology and Technology, 2014, 92: 157-163
- [13] DUAN Xue-wu, SU Xin-guo, YOU Yan-li, et al. Effect of nitric oxide on pericarp browning of harvested longan fruit in relation to phenolic metabolism [J]. Food Chemistry, 2007, 104(2): 571-576
- [14] WU Feng-hua, YANG Hu-qing, CHANG Yin-zi, et al. Effects of nitric oxide on reactive oxygen species and antioxidant capacity in Chinese bayberry during storage [J]. Scientia Horticulturae, 2012, 135: 106-111
- [15] 张少颖, 饶景萍. 外源 NO 对瓶插期间的月季切花中内源激素含量的影响 [J]. 植物生理学通讯, 2009, 7: 635-638
- ZHANG Shao-ying, RAO Jing-pin. Effects of exogenous nitric oxide on endogenous hormone contents of cutting rose during Vase [J]. Plant Physiology Communications, 2009, 7: 635-638
- [16] ZHU Li-qin, ZHOU Jie, ZHU Shu-hua, et al. Inhibition of browning on the surface of peach slices by short-term exposure to nitric oxide and ascorbic acid [J]. Food Chemistry, 2009, 114(1): 174-179
- [17] HUQUE R, WILLS R B H, PRISTIJONO P, et al. Effect of nitric oxide (NO) and associated control treatments on the metabolism of fresh-cut apple slices in relation to development of surface browning [J]. Postharvest Biology and Technology, 2013, 78: 16-23
- [18] WILLS R B H, SOEGIARTO L, BOWYER M C. Use of a solid mixture containing diethylenetriamine/nitric oxide (DETANO) to liberate nitric oxide gas in the presence of horticultural produce to extend postharvest life [J]. Nitric Oxide, 2007, 17(1): 44-49
- [19] SINGLETON V L, ORTHOFER R, LAMUELA-RAVENTOS R M. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent [J]. Methods in Enzymology, 1999, 299: 152-178
- [20] YANG Qing-zhen, RAO Jing-ping, YI Shun-chao, et al. Antioxidant enzyme activity and chilling injury during low-temperature storage of Kiwifruit cv. Hongyang exposed to gradual postharvest cooling [J]. Horticulture, Environment, and Biotechnology, 2012, 53(6): 505-512
- [21] 曹建康, 姜微波, 赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导 [M]. 中国轻工业出版社, 2007
- CAO Jian-kang, JIANG Wei-bo, ZHAO Yu-mei. Fruits and vegetables postharvest physiological and biochemical experiment instruction [M]. China Light Industry Press, 2007
- [22] 刘艳芳, 孙学文, 杨晴. 紫外分光光度法测定 Vc 含量的方法改进 [J]. 安徽农业科学, 2012, 39(22): 13270-13272
- LIU Yan-fang, SUN Xue-wen, YANG Qin. Improvement of ultraviolet spectrophotometry to measure the content of vitamin C [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences. 2012, 39(22): 13270-13272
- [23] WEBB D J, MEGSON I L. Nitric oxide donor drugs: current status and future trends [J]. Expert Opinion on Investigational Drugs, 2002, 11(5): 587-601.
- [24] LEMAIRE G, ALVAREZ-PACHON F J, BEUNEU C, et al. Differential cytostatic effects of NO donors and NO producing cells [J]. Free Radical Biology and Medicine, 1999, 26(9): 1274-1283
- [25] BARRETT D M, BEAULIEU J C, SHEWFELT R. Color, flavor, texture, and nutritional quality of fresh-cut fruits and vegetables: desirable levels, instrumental and sensory measurement, and the effects of processing [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2010, 50(5): 369-389
- [26] JIANG Tian-jia, ZHENG Xiao-lin, LI Jian-rong, et al. Integrated application of nitric oxide and modified atmosphere packaging to improve quality retention of button mushroom (*Agaricus bisporus*) [J]. Food Chemistry, 2011, 126(4): 1693-1699
- [27] YANG Hu-qing, ZHOU Cun-shan, WU Feng-hua, et al. Effect of nitric oxide on browning and lignification of peeled bamboo shoots [J]. Postharvest Biology and Technology, 2010, 57(1): 72-76
- [28] SINGH S P, SINGH Z, SWINNY E E. Postharvest nitric

- oxide fumigation delays fruit ripening and alleviates chilling injury during cold storage of Japanese plums (*Prunus salicina Lindell*) [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2009, 53(3): 101-108
- [29] ZHU Shu-hua, SUN Li-na, ZHOU Jie. Effects of nitric oxide fumigation on phenolic metabolism of postharvest Chinese winter jujube (*Zizyphus jujuba Mill. cv. Dongzao*) in relation to fruit quality [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2009, 42(5): 1009-1014
- [30] ZAHARAH S S, SINGH Z. Postharvest nitric oxide fumigation alleviates chilling injury, delays fruit ripening and maintains quality in cold-stored 'Kensington Pride' mango [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2011, 60(3): 202-210
- [31] MANJUNATHA G, LOKESH V, NEELWARNE B. Nitric oxide in fruit ripening: trends and opportunities [J]. *Biotechnology Advances*, 2010, 28(4): 489-499

现代食品科技