

活性壳寡糖涂膜处理对鲜切苹果品质的影响

萨仁高娃^{1,2}, 胡文忠^{2,3}, 修志龙¹, 冯可^{1,2}, 姜爱丽^{2,3}, 姬亚茹^{1,2}
(1.大连理工大学, 大连 116024; 2.大连民族大学, 大连 116600;
3.生物技术与资源利用教育部重点实验室, 大连 116600)

摘要: **目的** 研究壳寡糖涂膜与植物精油复配涂膜处理对鲜切苹果品质的影响。**方法** 将鲜切苹果样品分别经过蒸馏水、壳寡糖、壳寡糖+体积分数为0.25%的百里香油、壳寡糖+体积分数为0.06%的肉桂油、壳寡糖+体积分数为0.25%的百里香油+体积分数为0.06%的肉桂油涂膜处理2 min, 然后在灭菌滤纸上晾干, 置于托盘后用PVC保鲜膜密封, 于4℃下贮藏。分别于0, 3, 6, 9, 12, 15, 18 d后取出并测定各项生理生化指标, 即亮度(L^*)、彩度(C^*)、硬度、质量损失率、抗坏血酸含量、多酚氧化酶活性、过氧化物酶活性、脂肪氧合酶活性。**结果** 壳寡糖+体积分数为0.25%的百里香油+体积分数为0.06%的肉桂油的涂膜处理可显著维持鲜切苹果的颜色、硬度和抗坏血酸含量, 贮藏期内PPO和POD活性均低于其他处理组。壳寡糖涂膜可显著延缓鲜切苹果的质量损失速率, 降低样品中脂氧合酶的活性, 延缓样品的衰老速度。**结论** 壳寡糖涂膜对鲜切苹果有很好的保鲜效果, 复合精油的添加能更好地维持鲜切苹果在贮藏期间的品质。

关键词: 壳寡糖; 植物精油; 可食性涂膜; 鲜切苹果

中图分类号: TB484.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2017)17-0025-06

Effect of Active Chitosan Oligosaccharide Coating Treatment on Quality of Fresh-cut Apples

SA Ren-gao-wa^{1,2}, HU Wen-zhong^{2,3}, XIU Zhi-long¹, FENG Ke^{1,2}, JIANG Ai-li^{2,3}, JI Ya-ru^{1,2}
(1.Dalian University of Technology, Dalian 116024, China; 2.Dalian Minzu University, Dalian 116600, China;
3.Key Laboratory of Biotechnology and Bioresource Utilization, Ministry of Education, Dalian 116600, China)

ABSTRACT: The work aims to study the influence of the treatment by chitosan oligosaccharide coating incorporated with plant essential oil on the quality of fresh-cut apples. The fresh-cut apples were respectively treated for 2 min by the distilled water, chitosan oligosaccharide, chitosan oligosaccharide +0.25% thyme oil, chitosan oligosaccharide + 0.06% cinnamon oil, and chitosan oligosaccharide + 0.25% thyme oil + 0.06% cinnamon oil. Then, the samples were air-dried on the sterile filter paper, sealed by PVC fresh-keeping film after placed on the pallet and stored at 4℃. The samples were taken out respectively after 0, 3, 6, 9, 12, 15 and 18 days, and all their physiological and biochemical indexes (i.e. luminance (L^*), color (C^*), hardness, mass loss rate, content of ascorbic acid, activity of polyphenol oxidase, peroxidase activity and lipoxigenase activity) were measured. The coating treatment of chitosan oligosaccharide + 0.25% thyme oil + 0.06% cinnamon oil could significantly maintain the color, harness and content of ascorbic acid of the fresh-cut apples. The PPO and POD activities were lower than other processing groups. The chitosan oligosaccharide coating could remarkably delay the mass loss of the fresh-cut apples, reduce the lipoxigenase activity in the samples and prolong their aging speed. The chitosan oligosaccharide coating has a good preservation effect for fresh-cut apples, and can better

收稿日期: 2017-06-09

基金项目: “十三五”国家重点研发计划(2016YFD0400903); 国家自然科学基金(31471923, 31172009); 国家“十二五”科技支撑计划(2012BAD38B05)

作者简介: 萨仁高娃(1987—), 女, 大连理工大学博士生, 主要研究方向为食品质量与安全。

通讯作者: 胡文忠(1959—), 男, 博士, 大连民族大学教授, 主要研究方向为食品科学。

maintain their quality after incorporated with the composite essential oil during the storage.

KEY WORDS: chitosan oligosaccharide; plant essential oil; edible coating; fresh-cut apples

鲜切果蔬是将新鲜的水果和蔬菜原料经清洗、去皮去核、切割、包装等加工方式,制成的新鲜、方便快捷、绿色健康的即食果蔬制品^[1]。虽然完整的果蔬不构成严重的安全隐患,但加工处理改变了果蔬的完整性,果蔬表面受到破坏导致组织呼吸速率迅速增加^[2]。加工操作使鲜切产品更容易受到微生物的侵染^[3-4],引起褐变反应^[5]、水分流失、组织软化,并产生不良的气味^[6-8]。可食性涂膜是以天然可食性物质为原料,通过不同分子间相互作用形成的具有多孔网状结构的薄膜,它是食品的一种保护性阻隔膜。可食性涂膜能预防果蔬水分蒸发,调控氧气或溶质的迁移,防止微生物入侵,延长果蔬货架期,并可与被包装食品一起食用,不会造成环境污染^[9-11]。此外,涂膜可以作为多种食品添加剂(抗褐变剂、着色剂、风味剂、营养剂、香料及各种抗菌剂)的载体,广泛应用于食品行业^[12]。

植物精油能给予食品香气,矫正异味,还具有抗氧化、抗菌(防腐)等作用。使用植物精油进行果蔬保鲜,其气味会影响果蔬本身的风味。如果将植物精油添加至可食性涂膜后,再用于鲜切果蔬的保鲜,可使精油逐渐释放到鲜切果蔬表面,减少精油对鲜切果蔬风味的不良影响。用于新鲜或鲜切果蔬保鲜的精油种类有很多,如百里香、迷迭香、丁香、薄荷叶、罗勒、柠檬、鼠尾草、柏树、茶树、马郁兰、杜松子、茴香、香菜、薰衣草、马鞭草、孜然等^[13-19]。虽然植物精油(柠檬草、肉桂、玫瑰草、牛至、香草)结合可食性涂膜用于鲜切果蔬的保鲜已有研究^[12, 20-21],但都只是针对植物精油的抑菌效果进行分析,鲜有针对添加精油的涂膜对鲜切果蔬生理代谢的影响方面的研究。这里研究添加百里香和肉桂精油的壳寡糖可食性涂膜对鲜切苹果的保鲜效果,分析添加精油的涂膜包装对鲜切果蔬在贮藏期间生理代谢的影响,旨在探究精油结合涂膜的方式来包装鲜切产品的可行性。

1 实验

1.1 材料与仪器

主要材料:苹果,购于大连开发区乐购超市,选择同一采收期、大小均匀、无机械损伤、无病虫害的新鲜苹果,贮藏于4℃下备用;寡糖、柠檬酸,食品级,河南强利化工产品有限公司;百里香精油、肉桂精油,食品级,吉安市中香天然植物有限公司;氯化钙,食品级,浙江大成钙业有限公司;亚油酸、PVPP、愈创木酚、磷酸氢二钠、H₂O₂(体积分数为30%)、

邻苯二甲酸氢钾、抗坏血酸、磷酸二氢钠、草酸、2,6-二氯酚靛酚钠等,分析纯,购自天津科密欧化学试剂有限公司。

主要仪器:AL204型电子分析天平,瑞士METTLER TOLEDO公司;T-25型匀浆机,德国IKA公司;TA.XT plus型质构仪,英国Stable Micro Systems公司;KQ5200DB型数控超声波清洗器,昆山市超声仪器有限公司;UV-2600型紫外分光光度计,日本岛津公司;TGL-20M型台式高速冷冻离心机,湖南湘仪实验室仪器开发有限公司;CR-400型色差计,日本柯尼卡美能达公司。

1.2 方法

1)壳寡糖与精油复配可食性涂膜的制备。壳寡糖涂膜配方中,壳寡糖膜、甘油、氯化钙、维生素C、柠檬酸的质量分数分别为2%,1.5%,1%,1%,1%,均溶于超纯水中,均质后超声排气。分别添加体积分数为0.25%的百里香油,体积分数为0.06%的肉桂油,以及两者的混合物至壳寡糖涂膜中,均质,备用。将经蒸馏水、壳寡糖、壳寡糖+体积分数为0.25%的百里香油、壳寡糖+体积分数为0.06%的肉桂油、壳寡糖+体积分数为0.25%的百里香油+体积分数为0.06%的肉桂油涂膜处理的样品分别记为CK组、A组、B组、C组、D组。

2)样品涂膜处理。将贮藏于4℃下的苹果取出,分别用自来水、无菌蒸馏水冲洗,再用体积分数为75%的无水乙醇擦拭数次。在低温环境中用无菌刀将苹果切成长度为1cm的正方体。将鲜切苹果样品分别浸泡于各个处理液(壳寡糖涂膜、壳寡糖涂膜+体积分数为0.25%的百里香油、壳寡糖涂膜+体积分数为0.06%的肉桂油、壳寡糖涂膜+体积分数为0.25%的百里香油+体积分数为0.06%的肉桂油)中2min,并将蒸馏水处理作为对照,风干1h后,置于无菌托盘中,用PVC膜包装后于4℃下贮藏。分别于0,3,6,9,12,15,18d后取出并测定各项生理生化指标。

3)色差的测定。将样品从贮藏环境中取出后在室温下平衡处理,然后在20℃条件下进行颜色的测定。用CR400/CR410型色差计进行L*,a*,b*值的测定,鲜切苹果色泽指标选择亮度L*值和颜色饱和度C*值进行分析,C*值的计算公式为 $C^* = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{1/2}$ 。

4)硬度的测定。鲜切苹果的硬度用TA.XT质构仪测定,选择P5探头,将去皮水果穿刺5mm,测得的最大力(N)即硬度。实验组和对照组各取3块测定硬度。

5) 质量损失率的测定。采用称量法测定, 重复3次, 计算公式为 $W = (m_1 - m_2) / m_1 \times 100\%$ 。其中, W 为样品的质量损失率 (%) ; m_1 为贮藏前质量 (g) ; m_2 为贮藏后质量 (g)。

6) 抗坏血酸含量的测定。抗坏血酸含量采用2, 6-二氯酚酚滴定法进行测定^[22]。

7) 酶活性的测定。测定多酚氧化酶 (PPO)、过氧化物酶 (POD) 及脂氧合酶 (LOX) 的活性, 测定方法参照冯可^[23]的方法。样品重复测定3次。

1.3 统计方法

数据用SPSS软件进行统计分析, 用Microsoft Office Excel 2016作图。

2 结果与分析

2.1 颜色变化

颜色变化是直接影响消费者对鲜切水果贮藏期间的品质感知的一个重要指标。贮藏期间鲜切苹果的颜色参数变化见图1。 L^* 值表示样品的亮度, L^* 值越低表示褐变越严重。0~18 d期间, 各个样品组随着贮藏时间的延长, L^* 值显著降低 ($P < 0.05$), 但处理组的 L^* 值均比对照组高。涂膜处理能显著降低鲜切样品的褐变程度, 除了因为壳寡糖涂膜能隔绝氧气 (褐变的重要因素之一) 外, 膜中的主要成分 (氯化钙、抗坏血酸和柠檬酸) 也具有抗褐变作用^[20]。 C^* 值表示样品的彩度, 贮藏过程中各个处理组的 C^* 值呈显著上升趋势 ($P < 0.05$)。除了第3天, 贮藏过程中各个涂膜处理组的 C^* 值显著低于对照组 ($P < 0.05$), 同样说明涂膜处理可抑制鲜切苹果的褐变。0~18 d的贮藏期内, 经D组处理的鲜切苹果其 L^* 值维持在较高水平, C^* 值维持在较低水平, 说明该处理能最好地抑制鲜切苹果的褐变。

2.2 硬度变化

果实软化是淀粉水解为糖及果胶的过程, 组织软化是引起鲜切果蔬货架期严重缩短的主要原因。贮藏期间鲜切苹果的硬度变化见图2, 可以看出, 硬度均呈显著下降趋势 ($P < 0.05$), 这是因为机械切割操作导致苹果组织中的果胶酶活性增加, 在果胶酶的作用下, 细胞壁中的果胶分解, 组织软化。贮藏期内, CK组、A组、B组、C组、D组的硬度分别降低了2.83, 2.53, 2.46, 2.44, 2.11 N, 各组均维持了样品的硬度, 其中D组的鲜切苹果在贮藏期间硬度下降最缓慢。这可能是因为涂膜配方中有 CaCl_2 这一组分, Ca^{2+} 可与果胶结合, 起到稳定细胞壁的作用, 并能降低细胞壁的水解酶活力, 减缓软化速度。有研究显示, 由于可食性涂膜配方中的 Ca^{2+} 和细胞壁中的果胶酸交联, 涂膜可增加果实的硬度, 防止果蔬组织汁液流失^[24-25]。

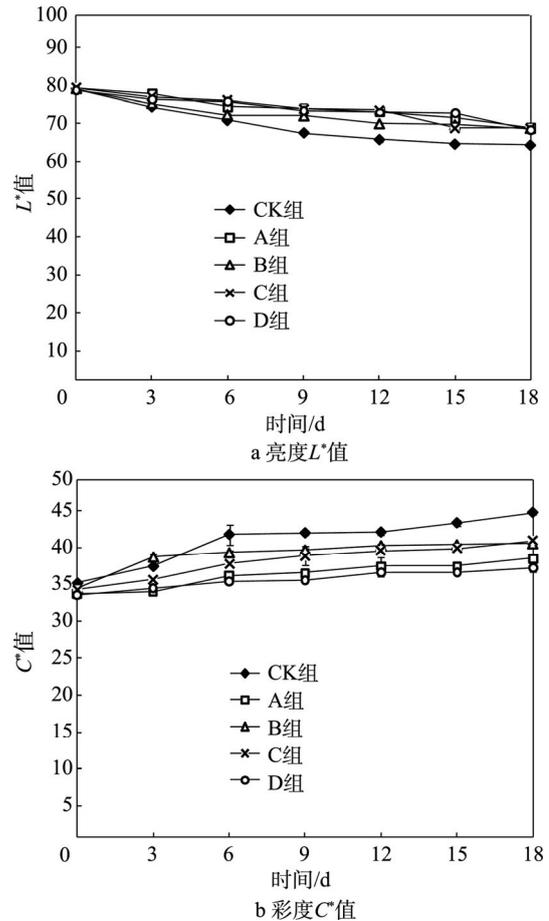


图1 壳寡糖复合涂膜处理后鲜切苹果在贮藏过程中的颜色变化

Fig.1 Color change of fresh-cut apples with chitosan oligosaccharide coating during storage

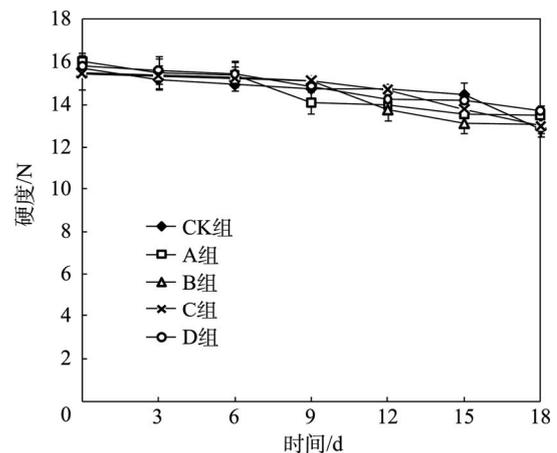


图2 壳寡糖复合涂膜处理后鲜切苹果在贮藏过程中的硬度变化

Fig.2 Firmness change of fresh-cut apples with chitosan oligosaccharide coating during storage

2.3 质量损失率变化

鲜切水果的质量很容易损失, 质量损失率是鲜切水果贮藏过程中的一个非常重要的评价指标。贮藏期间鲜切苹果的质量损失率变化见图3, 可以看出, 贮

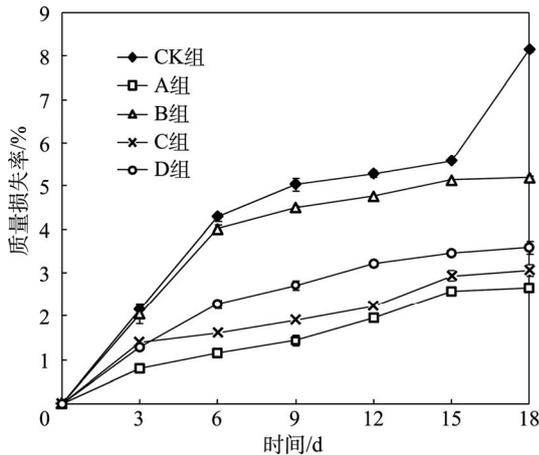


图3 壳寡糖复合涂膜处理后鲜切苹果在贮藏过程中的质量损失率变化

Fig.3 Weight loss change of fresh-cut apples with chitosan oligosaccharide coating during storage

贮藏期间各个处理组的质量损失率均显著增加 ($P<0.05$), 各个涂膜处理组的质量损失率显著低于CK组 ($P<0.05$)。这是因为水果的水分流失前可食性涂膜中的水分先损失, 此外, 涂膜可有效避免机械伤害导致的样品大面积接触空气, 减缓了切割处理后果蔬的代谢速度。壳寡糖涂膜处理组显著延缓了鲜切苹果的质量损失速率 ($P>0.05$), 添加了精油后, 样品的质量损失显著增加 ($P<0.05$)。这可能是由于精油的主要成分是萜烯类化合物, 而不是脂质, 所以不会影响水蒸气渗透率^[12], 此外, 高浓度精油可能对鲜切苹果组织有潜在的毒性作用^[26], 进而加快了样品的质量损失速率。

2.4 抗坏血酸含量变化

维生素C是新鲜果蔬中最重要的维生素源, 因此维生素C的含量是反映鲜切苹果品质的重要指标^[27]。贮藏期间鲜切苹果的维生素C含量变化见图4, 可以看出, 随着贮藏时间的延长, 鲜切苹果的维生素C含量呈显著下降的趋势 ($P<0.05$), 经复合涂膜处理的鲜切苹果中维生素C的下降速度显著低于CK组 ($P<0.05$), 且下降的速度缓慢, 说明壳寡糖涂膜可有效抑制褐变, 进而减少维生素C和醌类物质的反应, 延缓鲜切苹果中维生素C的下降速度^[1]。维生素C可将褐变过程中生成的醌类物质还原, 阻碍褐变反应的继续进行, 添加精油后, 维生素C下降速度减缓, 可能是精油中的某些成分具有抗氧化的活性, 进而减少维生素C的大量消耗。

2.5 酶活性变化

机械切割导致苹果细胞壁和细胞膜结构的完整性被破坏, 酶促褐变作用的底物与PPO接触, 在氧的参与下使酚类物质氧化成醌, 经过一系列的反应, 引起褐变。贮藏期间鲜切苹果的酶活性变化见图5, 酶活

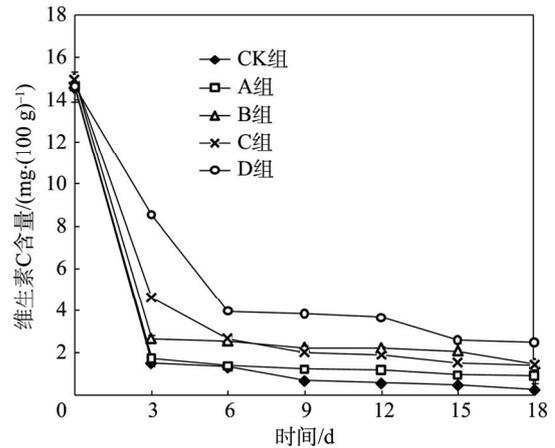


图4 壳寡糖复合涂膜处理后鲜切苹果在贮藏过程中的维生素C含量变化

Fig.4 Vc contents change of fresh-cut apples with chitosan oligosaccharide coating during storage

单位是每分钟每克鲜重材料在 398 nm 的波长下吸光值的变化 (U)。由图 5a 可知, 各个处理组的 PPO 活性均呈先上升后下降的趋势, 原因是机械切割破坏了苹果组织的完整性, 底物与 PPO 接触, PPO 含量迅速上升。PPO 活性在贮藏 12 d 时出现高峰, CK 组达到最高峰值, 且在 12 d 后 PPO 活性降低缓慢, 各处理组的 PPO 活性下降速度均高于 CK 组 ($P<0.05$), 说明涂膜处理能有效抑制褐变, 并降低 PPO 的活性。与 CK 组相比, 各处理组对鲜切苹果 PPO 活性均有不同程度的抑制作用。D 组可食性涂膜处理的 PPO 活性较低 ($P<0.05$), 说明壳寡糖涂膜与 2 种精油的复配能使鲜切苹果保持较好的品质状态和较高的新鲜度, 优于单一精油处理的效果。

由图 5b 可知, 贮藏期内, 鲜切苹果中的 POD 活性总体呈现上升趋势。经涂膜处理后鲜切苹果中的 POD 活性低于 CK 组, POD 活性在贮藏初期的快速上升可能是由于切割使表面组织氧化, 果蔬膜系统的完整性受到破坏, 细胞壁加快裂解, 在褐变中起作用的游离态 POD 得以增加^[28]。其中 D 组处理的鲜切苹果中 POD 活性最低 ($P<0.05$), 说明其能够较好地维持鲜切苹果的品质, 保鲜效果优于其他处理组。

在植物衰老的过程中, LOX 参与乙烯的合成和自由基的产生, 是与植物体防御系统有关的关键酶^[29]。由图 5c 可知, 贮藏期内各个处理组的鲜切苹果中脂肪氧合酶总体呈先上升后下降再上升的趋势。贮藏 6 d 时, LOX 出现峰值, 贮藏 12 d 时, 各个处理组的 LOX 均出现最低值。起初 LOX 活性的增加可能是鲜切苹果对切割伤害作出的响应, 后期出现下降可能是由于苹果受到伤害, 防御力下降, LOX 活性降低。其中 CK 组的 LOX 活性显著高于其他处理 ($P<0.05$), 鲜切苹果中 LOX 活性相对较高, 证明鲜切苹果组织迅速衰老。壳寡糖涂膜处理降低了样品中 LOX 的活性, 显著延缓了样品的衰老速度。

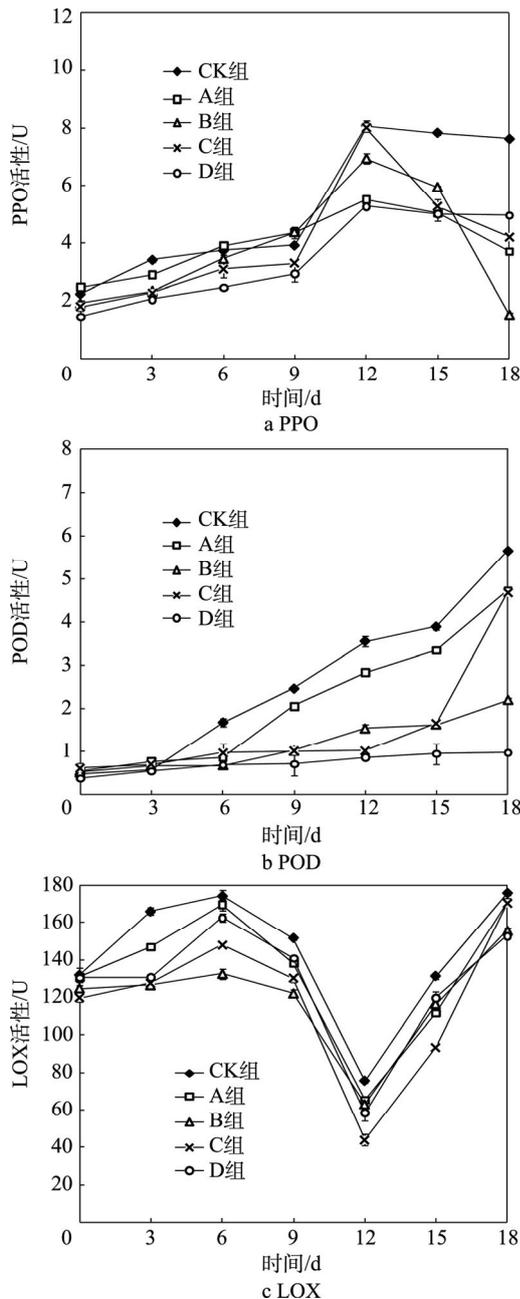


图5 壳寡糖复合涂膜处理后鲜切苹果在贮藏过程中的酶活性变化

Fig.5 Enzyme activity change of fresh-cut apples with chitosan oligosaccharide coating during storage

3 结语

经壳寡糖涂膜以及壳寡糖与植物精油复合涂膜处理的鲜切苹果品质均优于CK组。壳寡糖+体积分数为0.25%的百里香油+体积分数为0.06%的肉桂油的复合涂膜处理较好地减缓了鲜切苹果的褐变速度,整个贮藏期间,添加了2种精油的壳寡糖涂膜较好地维持了 L^* 的下降和 C^* 的上升,且PPO和POD活性均为最低。各个涂膜处理均维持了样品的硬度,因为涂膜配方中的 Ca^{2+} 可与果胶结合起到稳定细胞壁的作用,并能降低细胞壁水解酶活力,延缓了软化速度。壳寡糖涂膜

显著减缓贮藏期内鲜切苹果的质量损失速率($P<0.05$),添加精油后,鲜切苹果的质量损失率增加,这可能是因为精油的主要成分为萜烯类化合物,所以不会影响水蒸气的渗透率,此外,高浓度精油可能具有潜在的毒性作用,进而加速苹果组织的质量损失速率。经壳寡糖涂膜处理后的鲜切苹果中的维生素C含量高于CK组,且下降速度缓慢,添加精油后,维生素C的下降速度较单纯涂膜处理减缓,可能是因为精油中的某些成分具有抗氧化活性。各个壳寡糖涂膜处理组均可降低样品中LOX的活性,显著延缓样品的衰老速度($P<0.05$)。综上所述,壳寡糖涂膜对鲜切苹果有很好的保鲜效果,复合精油的添加能更好地维持鲜切苹果在贮藏期间的品质。

参考文献:

- [1] LAMIKANRA O. Fresh-cut Fruits and Vegetables Science, Technology and Market[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2008.
- [2] CARVALHO R L, CABRAL M F, GERMANO T A, et al. Chitosan Coating with Trans-cinnamaldehyde Improves Structural Integrity and Antioxidant Metabolism of Fresh-cut Melon[J]. Postharvest Biology and Technology, 2016(3): 29—39.
- [3] OLIVEIRA M, ABADIAS M, COLÁS-MEDÀ P, et al. Biopreservative Methods to Control the Growth of Foodborne Pathogens on Fresh-cut Lettuce[J]. International Journal of Food Microbiology, 2015(4): 4—11.
- [4] TORNUK F, CANKURT H, OZTURK I, et al. Efficacy of Various Plant Hydrosols as Natural Food Sanitizers in Reducing *Escherichia coli* O157: H7 and *Salmonella Typhimurium* on Fresh Cut Carrots and Apples[J]. International Journal of Food Microbiology, 2011(8): 30—35.
- [5] LANTE A, TINELLO F, NICOLETTO M. UV-A Light Treatment for Controlling Enzymatic Browning of Fresh-cut Fruits[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2016(4): 141—147.
- [6] OMS-OLIU G, SOLIVA-FORTUNY R C, MARTÍN-BELLOSO O. Edible Coatings with Antibrowning Agents to Maintain Sensory Quality and Antioxidant Properties of Fresh-cut Pears[J]. Postharvest Biology and Technology, 2008, 50: 87—94.
- [7] MONTERO-CALDERÓN M, ROJAS-GRAÜ M A, MARTÍN-BELLOSO O. Effect of Packaging Conditions on Quality and Shelf-life of Fresh-cut Pineapple (*Ananas comosus*)[J]. Postharvest Biology and Technology, 2008(5): 182—189.
- [8] ROBLES-SÁNCHEZ R M, ROJAS-GRAÜ M A, ODRIOZOLA-SERRANO I. 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(5): 240—246.
- [9] 马青青, 曹锦轩, 周光宏. 功能性可食用膜在生鲜肉

- 和肉制品保鲜中的应用研究进展[J]. 食品科学, 2012, 33(7): 331—335.
- MA Qing-qing, CAO Jin-xuan, ZHOU Guang-hong. Recent Advances in Function Edible Coating Film and Its Applications in Preservation of Fresh Meat and Meat Products[J]. Food Science, 2012, 33(7): 331—335.
- [10] 吴晓彬, 胡文忠, 刘程惠, 等. 鲜切果蔬微生物污染及控制研究进展[J]. 食品工业科技, 2011, 32(4): 415—422.
- WU Xiao-bin, HU Wen-zhong, LIU Cheng-hui, et al. Research Progress in Control and Microbial Infection of Fresh-cut Fruits and Vegetables[J]. Science and Technology of Food Industry, 2011, 32(4): 415—422.
- [11] 孙炳新, 杨金玲, 赵宏侠, 等. 鲜切果蔬包装的研究现状与进展[J]. 食品工业科技, 2013, 34(7): 392—400.
- SUN Bing-xin, YANG Jin-ling, ZHAO Hong-xia, et al. Advance in Packaging of Fresh-cut Fruits and Vegetables[J]. Science and Technology of Food Industry, 2013, 34(7): 392—400.
- [12] ROJAS-GRAU M A, RAYBAUDI-MASSILIA R M, SOLIVA-FORTUNY R C, et al. Apple Puree-alginate Edible Coating as Carrier of Antimicrobial Agents to Prolong Shelf-life of Fresh-cut Apples[J]. Postharvest Biology and Technology, 2007, 45(2): 254—264.
- [13] GUTIERREZ J, BOURKE P, LONCHAMP J, et al. Impact of Plant Essential Oils on Microbiological, Organoleptic and Quality Markers of Minimally Processed Vegetables[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2009, 10(2): 195—202.
- [14] SCOLLARD J, FRANCIS G A, O'BEIRNE D. Chemical Basis of Anti-listerial Effects of Rosemary Herb during Stomaching with Fresh-cut Vegetables[J]. LWT-Food Science and Technology, 2014, 57(1): 16—21.
- [15] DANIEL C K, LENNOX C L, VRIES F A. In Vivo Application of Garlic Extracts in Combination with Clove Oil to Prevent Postharvest Decay Caused by *Botrytis Cinerea*, *Penicillium Expansum* and *Neofabraea Alba* on Apples[J]. Postharvest Biology and Technology, 2015(9): 88—92.
- [16] KARAGÖZLÜ N, ERGÖNÜL B, ÖZCAN D. Determination of Antimicrobial Effect of Mint and Basil Essential Oils on Survival of *E. coli* O157: H7 and *S. typhimurium* in Fresh-cut Lettuce and Purslane[J]. Food Control, 2011, 22(12): 1851—1855.
- [17] HYUN J E, BAE Y M, YOON J H, et al. Preservative Effectiveness of Essential Oils in Vapor Phase Combined with Modified Atmosphere Packaging Against Spoilage Bacteria on Fresh Cabbage[J]. Food Control, 2015(1): 307—313.
- [18] ELSHAFIEI H S, MANCINI E, CAMELE I, et al. In Vivo Antifungal Activity of Two Essential Oils from Mediterranean Plants Against Postharvest Brown Rot Disease of Peach Fruit[J]. Industrial Crops and Products, 2015(6): 11—15.
- [19] ELIZAQUÍVEL P, SÁNCHEZ G, AZNAR R. Application of Propidium Monoazide Quantitative PCR for Selective Detection of Live *Escherichia coli* O157: H7 in Vegetables after Inactivation by Essential Oils[J]. International Journal of Food Microbiology, 2012, 159(2): 115—121.
- [20] AZARAKHSH N, OAMAN 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(8): 1—7.
- [21] RAYBAUDI-MASSILIA R M, MOSQUEDA-MELGAR J, MARTÍN-BELLOSO O. Edible Alginate-based Coating as Carrier of Antimicrobials to Improve Shelf-life and Safety of Fresh-cut Melon[J]. International Journal of Food Microbiology, 2008, 121(3): 313—327.
- [22] 张水华. 食品分析实验[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- ZHANG Shui-hua. The Experiment of Food Analysis[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005.
- [23] 冯可, 胡文忠, 姜爱丽, 等. 壳聚糖涂膜与牛至精油复配对鲜切菠萝的保鲜作用[J]. 食品安全质量检测学报, 2015, 6(7): 2475—2481.
- FENG Ke, HU Wen-zhong, JIANG Ai-li, et al. Effect of Chitosan Edible Coating Incorporated with Origanum Essential Oil on Preservation of Fresh-cut Pineapple[J]. Journal of Food Safety and Quality, 2015, 6(7): 2475—2481.
- [24] QI H, HU W Z, JIANG A L, et al. Extending Shelf-life of Fresh-cut "Fuji" Apples with Chitosan-coatings[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2011(12): 62—66.
- [25] CHONG J, LAI S, YANG H. Chitosan Combined with Calcium Chloride Impacts Fresh-cut Honeydew Melon by Stabilising Nanostructures of Sodium-carbonate-soluble Pectin[J]. Food Control, 2015(3): 195—205.
- [26] SÁNCHEZ-GONZÁLEZ L, VARGAS M, GONZÁLEZ-MARÍNEZ C, et al. Use of Essential Oils in Bioactive Edible Coatings: A Review[J]. Food Engineering Reviews, 2011(3): 1—16.
- [27] 王佳宏, 刘彩虹, 季晓钊, 等. 一种可食膜对鲜切苹果的生理及品质的影响[J]. 食品工业科技, 2014, 35(10): 332—335.
- WANG Jia-hong, LIU Cai-hong, JI Xiao-fan, et al. Effect of a Kind of Edible Film on the Physiology and Quality of Fresh-cut Apples[J]. Science and Technology of Food Industry, 2014, 35(10): 332—335.
- [28] 庞坤, 胡文忠, 姜爱丽, 等. 鲜切苹果贮藏期间生理生化变化的影响[J]. 食品与机械, 2008, 24(1): 50—54.
- PANG Kun, HU Wen-zhong, JIANG Ai-li, et al. Effects of Temperature on Physio-biochemical Changes of Fresh-cut Apple during Storage[J]. Food and Machinery, 2008, 24(1): 50—54.
- [29] 谭谊谈, 曾凯芳. 鲜切果蔬酶促褐变关键酶研究进展[J]. 食品科学, 2011, 32(17): 376—379.
- TAN Yi-tan, ZENG Kai-fang. Research Progress in Key Enzymes for Enzymatic Browning of Fresh-cut Fruits and Vegetables[J]. Food Science, 2011, 32(17): 376—379.