

一种可食膜对鲜切苹果的生理及品质的影响

王佳宏,刘彩虹,季晓帆,吴彩娥*

(南京林业大学森林资源与环境学院,江苏南京 210037)

摘要:以红富士苹果为原料,研究一种复合性可食涂膜对鲜切苹果的保鲜效果,考察了呼吸强度、多酚氧化酶(PPO)的活力、游离酚含量、硬度、可溶性固形物含量(SSC)和维生素C(V_C)含量等生理和品质指标。结果表明:使用该复合膜能显著降低鲜切苹果的呼吸强度,抑制PPO的酶活力,在游离酚增加的情况下仍显著抑制鲜切苹果的酶促褐变;用复合膜处理的鲜切苹果,硬度与对照基本一致,保持较对照组更高的SSC、 V_C 和游离酚含量,使产品保持较好的外观、营养和质地等品质。

关键词:鲜切苹果,可食性膜,生理,品质

Effect of a kind of edible film on the physiology and quality of fresh-cut apples

WANG Jia-hong, LIU Cai-hong, JI Xiao-fan, WU Cai-e*

(College of Forest Resources and Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

Abstract: Red Fuji apples were as raw materials to study the effect of mixed edible film on the preservation of fresh-cut apple. And the experiment analyzed the fresh-cut apple physiological and quality indexes such as respiration rate, polyphenol oxidase activity (PPO), free phenol content, hardness, soluble solids content (SSC) and V_C content. Results showed that the mixed edible film could significantly inhibit the respiration and PPO of fresh-cut apple and thus inhibit the enzymatic browning of fresh-cut apple. Coating with mixed edible film, the fresh-cut apple's hardness reduced slowly, maintaining higher SSC, V_C and free phenol content than the control group, and maintaining a better appearance, texture, nutrition and quality.

Key words: fresh-cut apple; edible film; physiological; quality

中图分类号: TS255.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2014)10-0332-05

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2014.10.065

随着生活节奏的加快,鲜切果蔬因其具有新鲜、方便、营养和无公害等优点,深受人们的青睐^[1]。苹果是著名的大众水果之一,风味独特,是鲜切水果的主要原料之一,但鲜切苹果在生产过程中经去皮、切分等加工使组织损伤,极易导致其色泽变暗、组织软化和产品易腐烂等现象^[2]。因此研究如何延长鲜切苹果的保鲜期显得十分重要。

可食性果蔬保鲜膜是一种采用天然糖类、淀粉、蛋白质、油脂等可食材料为主要原料,通过添加成膜助剂、控制成膜条件,在果蔬表面涂覆或直接成膜而成的保鲜膜^[3]。可食性涂膜可减少果蔬中水分的散失,有效阻隔空气中的氧气,抑制果蔬呼吸、褐变、营养物质消耗,且可与被包装的食品一起食用,对食品和环境无污染。如刘新有等^[4]利用1.5%羧甲基纤维素

钠+1%D-异抗坏血酸钠+3%植酸+0.2%脱氢醋酸钠涂膜有效抑制了鲜切苹果的呼吸作用,减少了营养成分的损失。Perez-Gago等^[5]利用乳清蛋白复合涂膜使金冠苹果切片的褐变得显著减轻;曾文兵^[6]将苹果切块经5%乳清浓缩蛋白涂膜液+1% $CaCl_2$ +1%抗坏血酸复合液浸泡,保鲜效果较好。作者在前期实验中通过比较研究,制得一种以淀粉为主要基质的可食膜,发现其在感官上对鲜切苹果具有良好的保鲜效果,本文进一步研究其对鲜切苹果的主要生理品质的影响,对其保鲜效果进行确认。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与仪器

苹果 品种为“红富士”,产地为山东烟台,购于南京市苏果超市。

CR-200美能达手持色差仪 日本柯尼卡;GY-3手持硬度计 杭州托普仪器有限公司;WYTO-80%手持测糖仪 成都泰华光学有限公司;PE聚乙烯保鲜袋 苏州洁达化工塑料有限公司;ZK-82BB真空干燥箱 上海实验仪器厂有限公司。

收稿日期:2013-09-26 * 通讯联系人

作者简介:王佳宏(1974-),博士,讲师,主要从事林产品贮藏与加工方面的研究。

基金项目:江苏高校优势学科建设工程资助项目(PAPD)。

1.2 实验方法

1.2.1 苹果预处理 选用无机械损伤和虫害的红富士苹果。将苹果洗净、用锋利的不锈钢刨去皮、切成边长为1.5cm至2cm的块状立方体,分成2份。一份用可食膜液浸泡5min,取出、沥干,按照每份250g的标准装入PE保鲜袋中,袋子挽口后于4℃贮藏;另一份不作处理,按相同的量分装后作对照。每个样品各做3各平行。

1.2.2 可食性复合膜配制 可食膜由5%淀粉+2%羧甲基纤维素钠(CMC-Na)+3.5%甘油+1.5%L-半胱氨酸(L-cys)复配制得。按比例称取各种原料,将CMC-Na用总量约1/3的水溶胀12h,可溶性淀粉用约1/2的热水(80℃)糊化,合并2种液体。甘油和L-cys用剩余的水分别溶解,先后加入上述混合液中。配制的可食膜溶液立即放入ZK-82BB真空干燥箱脱气约20min,至无气泡产生,脱气后的涂膜液存放于4℃冰箱中。

1.2.3 呼吸强度测定 静置法^[7]。取20mL 0.4mol/L的NaOH置于培养皿中,将培养皿立即放入干燥器中。将装有250g苹果的网袋放于隔架上,密闭计时1h。将培养皿中的NaOH转移到三角瓶中,再加入5mL BaCl₂和2滴酚酞,用0.1mol/L的草酸滴定至终点,记录草酸的用量。以不放样品的空白组作对照,操作同上。呼吸强度单位表示为mg CO₂/(g·h)。每次每份随机取3袋测呼吸强度,测完呼吸的样品再用来测其他指标。

1.2.4 色泽的测定 从每组样品中任意取出15块,用美能达手持色差仪测量L值,a值,b值。其中L—亨特(Hunter)明度指数;a—亨特色品指数,表示红绿轴,正值为红色,负值为绿色;b—亨特色品指数,表示黄蓝轴,正值为黄色,负值为蓝色。每块测定相对的两个面,统计平均值并计算标准偏差。

1.2.5 硬度测定 将测完色泽的样品,用手持硬度计从苹果块中部匀速插入,测定其硬度,取其平均值作为每组样品的测量值,硬度单位表示为kg/cm²。

1.2.6 可溶性固形物(SSC)含量测定 从每组样品中任意选取5块进行匀浆,用WYTO-80%手持测糖仪测定样品的SSC含量,每组样品重复测定5次,取平均值作为测量值。

1.2.7 V_c含量测定 采用UV分光光度法^[8]。每组样品中随机取10块苹果样品切碎、混匀。称取苹果样品2.00g,放于研钵中加入5mL 1% HCl研磨,将溶液移入离心管中,转速为16600r/min,离心30min,取0.2mL上清液和0.4mL 10% HCl加入到10mL容量瓶中,再用蒸馏水定容至10mL,充分混匀后测定A₂₄₃处的吸光值。紫外分光光度计用蒸馏水调零,V_c含量表示为mg/100g FW。

1.2.8 游离酚含量测定^[7] 称取1g苹果放于研钵中,再加入6mL甲醇研磨,将研磨液移入离心管中离心30min。取离心管中的上清液,以75%甲醇调零,测A₃₂₀处吸光值,游离酚含量表示为μg/mL。

1.2.9 PPO活性测定 采用消光值法^[9]。称取2g苹果加5mL预先冷藏的磷酸缓冲液(pH6.4),冰浴研磨,再冷冻离心30min。打开紫外分光光度计预热30min,用

pH5.4醋酸缓冲液调零,在比色皿中加入2.0mL pH5.4醋酸缓冲液和1.0mL 0.04mol/L儿茶酚,将比色皿放入紫外可见分光光度计后再加入0.5mL酶液,开始计数。每隔30s记录酶活性在410nm处比色测定。连续记录3min,PPO活力单位为U/(min·g·FW)。

1.3 数据分析

数据处理和制图使用办公软件Excel 2003进行,数据的方差分析使用SAS 8.0软件(SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)中的多重比较程序,回归分析采用SYSTAT 12软件(Systat Software, Inc., Washington, USA)中的回归分析程序进行处理。

2 结果与分析

2.1 可食膜对鲜切苹果呼吸作用的影响

切分等操作会使果蔬形成大面积的机械伤,伤呼吸导致果蔬的呼吸强度增大。因此尽可能降低果蔬的呼吸强度,减少营养物质的消耗,延缓果蔬的货架期,是采后保鲜的根本任务,也是鲜切果蔬保鲜的关键。鲜切苹果及对照样品冷藏期间的呼吸强度如图1所示。从图1可以看出,在整个贮藏期间,对照组样品的呼吸强度逐渐增大,且中后期呼吸强度显著增加($p < 0.05$),这导致营养物质作为底物消耗增加,样品细胞组织的衰老加速;经过可食膜处理的样品,呼吸强度随时间延长呈下降趋势,第1d呼吸强度与切分当天之间无显著差异,但此后快速下降,至第3d下降为原呼吸强度值的一半,此后呼吸强度趋于平缓。冷藏期间,处理组的呼吸强度显著低于对照组,表明该淀粉复合涂膜对鲜切苹果的呼吸生理有明显的抑制作用,可以延长产品的货架期。这种抑制可能与CMC-Na的作用效果有关,因为用CMC-Na处理鲜切苹果能使其呼吸强度显著降低^[4]。

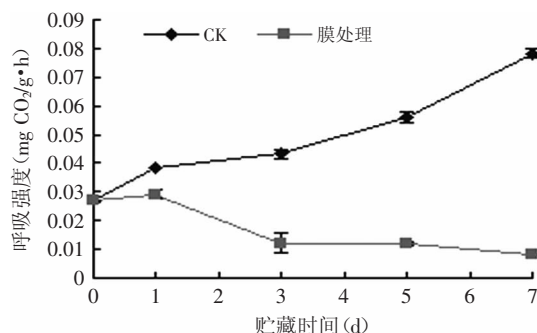


图1 鲜切苹果贮藏期间的呼吸强度的变化
Fig.1 Change of respiratory intensity in fresh-cut apples during storage

2.2 可食性膜对贮藏期间鲜切苹果硬度的影响

硬度是鲜切苹果感官品质的重要指标之一。鲜切苹果一般用完熟的苹果进行加工,此时风味和品质达到最佳,硬度的下降往往使其口感变差。可食性复配膜处理对鲜切苹果硬度的影响详见图2。在贮藏期间,对照组和处理组样品的硬度均随时间延长呈下降趋势。在前5d内,两者的硬度值之间无显著差异($p > 0.05$),贮藏末期,处理组硬度值升高且显著大于对照组($p < 0.05$)。有研究^[6]认为CaCl₂可以明显增加鲜

切苹果的硬度,延长鲜切苹果货架期,但本实验中处理组与另一组添加了CaCl₂的处理组比较(数据未显示),两者的硬度无显著差异,且硬度的变化趋势完全相同。本研究中经处理的鲜切苹果的硬度在贮藏后期反而增加的现象未见相同报道,其原因有待进一步研究。

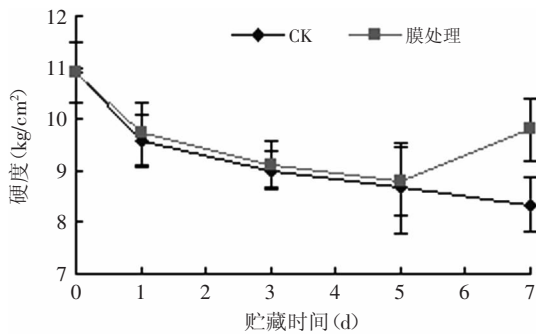


图2 贮藏期间鲜切苹果硬度的变化

Fig.2 Change of hardness in fresh-cut apples during storage

2.3 可食性膜对鲜切苹果SSC的影响

可食性复配膜对鲜切苹果SSC含量的影响详见图3,鲜切苹果贮藏期间SSC的变化与硬度变化相似。由图3可知,在整个贮藏期间,对照组和处理组的样品的SSC含量总体上呈下降趋势。这可能是鲜切苹果为了适应新的不利环境,通过降低SSC来抵抗外界的逆境伤害^[10]。对数据进行横向比较,0~5d内,处理组SSC均值略高于对照组,但两者SSC值并无显著差异($p>0.05$),膜处理不能明显影响SSC;第7d处理组SSC值显著高于对照组($p<0.05$),SSC越高,表明果蔬的呼吸消耗减少,有利于延长鲜切苹果的货架期。对比图2和图3,可以发现硬度和SSC在贮藏期间的变化基本一致,以相同贮藏时间的SSC与硬度值作散点图,并对这些点进行线性拟合,结果表明贮藏期间对照组SSC的变化与硬度变化之间相关(R^2 为0.835),硬度随SSC的下降而降低,而处理组的SSC和硬度相关不明显(R^2 为0.508)。

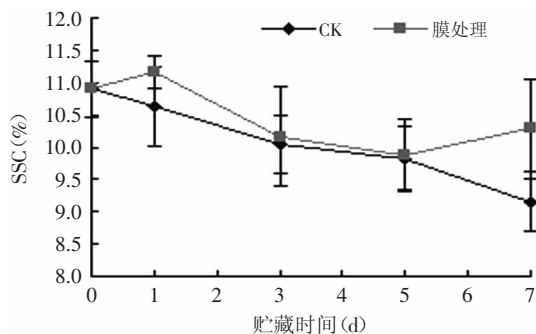


图3 贮藏期间鲜切苹果SSC的变化

Fig.3 Change of SSC in fresh-cut apples during storage

2.4 可食性膜对鲜切苹果V_c含量的影响

摄食新鲜果蔬的主要目的之一是补充人体所需的维生素,V_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。可食性复配膜对鲜切苹果V_c含量的影响详见图4。在贮藏期间,对照组的V_c含量随时间的延长显著下降($p<0.05$),而处理组3d后的V_c含量较0~1d显著增加。表明经过该可食膜处理,鲜切苹果能保持较高的V_c含量,这是由于半胱氨酸能抑制V_c变化^[11],使V_c在组织内积累。另外,果蔬贮藏和加工中常以V_c作为抗氧化剂。V_c可将褐变过程中生成的醌类物质还原,阻断褐变反应的继续进行,但如果V_c因添加量不足而被氧化分解,形成含双羰基化合物,也会进一步发生缩合、聚合反应形成有色物质,因此,应当注意V_c在贮藏保鲜中可能带来的不利影响。

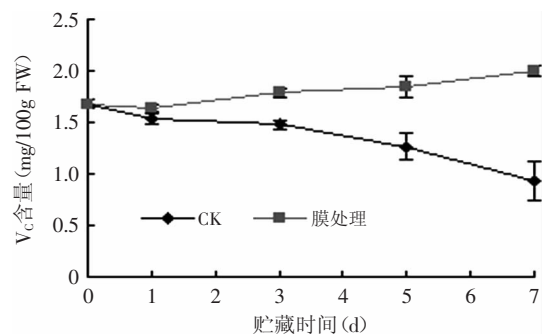


图4 贮藏期间鲜切苹果V_c含量的变化

Fig.4 Change of V_c contents in fresh-cut apples during storage

2.5 鲜切苹果贮藏期间表面色泽的变化

果蔬组织的颜色及其变化可通过色差计的L值、a值和b值进行量化,L值越大表明样品表面颜色越亮,a值、b值越大,表明样品色泽偏向红色和黄色,而果蔬褐变往往生成黄色、红色物质进而表面变暗,因此用L值、a值和b值能较好地反映果蔬的褐变情况。鲜切苹果在贮藏期间的L值、a值和b值变化如图5所示。由图5(A)可见,对照组贮藏期间的L值持续减小,0~1d下降速度最快,1~3d的L值间无显著差异($p>0.05$),3d后L值下降明显。表明褐变反应在切分后的24h内最快,表面颜色明显变暗,此后明度下降相对缓和。处理组样品的L值在切分后的24h内也明显下降,此后样品的L值均高于切分时的L值,样品的亮度增加,说明膜处理对鲜切苹果的外观色泽有明显改善作用。这基于两个方面原因:一是通过涂膜抑制了鲜切苹果的褐变,另一方面是膜部分失水后其中的淀粉的白度增加。由图5(B)、图5(C)可以看出,对照组的a值和b值均呈上升趋势,且b值均为正值,a值趋于0,表明样品表面呈现的黄色不断加深,趋于向红色转变;处理组样品的a值和b值较切分时均减小,色泽变浅,因此明度增大。

鲜切苹果外观色泽的变化,主要是由于切分表面在贮藏期间发生了褐变,且主要是酶促褐变。该因素是导致浅色果蔬加工过程中品质劣变的主要因素之一,严重影响产品外观,导致产品丧失其商品性。多酚氧化酶(PPO)、多酚底物和氧存在是果蔬酶促褐变的3要素,缺一不可。氧对鲜切苹果维持正常的呼吸作用必不可少,因此,有必要进一步探讨膜处理对鲜切苹果贮藏期间多酚底物含量和PPO活力的影响,

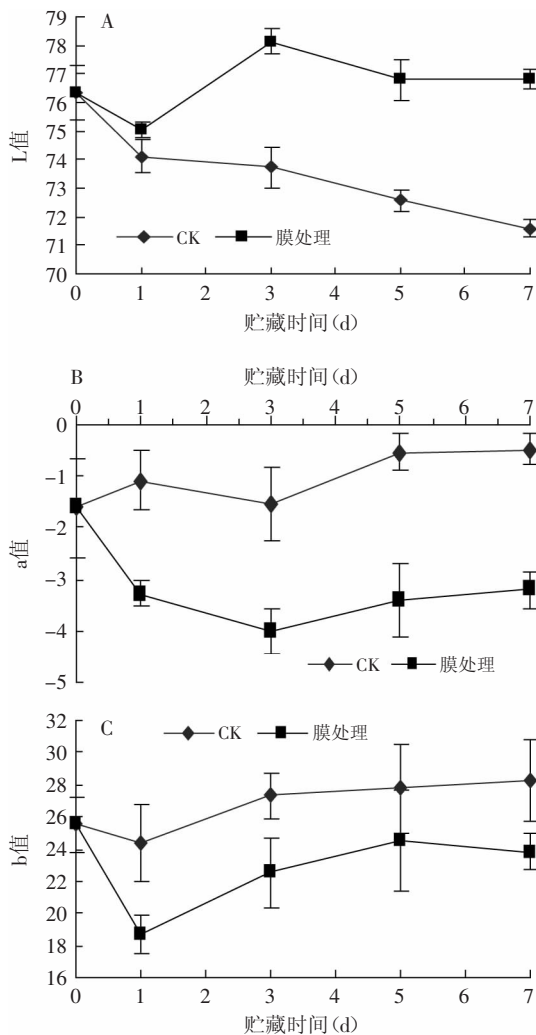


图5 鲜切苹果冷藏期间表面色泽的变化

Fig.5 Changes of L value, a value and b value of the fresh-cut apples during storage

以进一步加深对膜处理抑制鲜切苹果褐变的认识。

2.6 膜处理对鲜切苹果贮藏期间的游离酚含量的影响

苹果中含有大量的多酚类物质,如绿原酸和儿茶素等,被PPO催化氧化下,形成中间产物醌,并进一步聚合形成类黑素物质,导致产品表面变色变暗。植物组织中的多酚结合态和游离态存在,参与褐变的主要是游离态多酚。为进一步了解膜处理对褐变底物的影响,对贮藏期间样品中的游离酚含量进行测定,结果如图6所示。在整个贮藏期间,对照组样品中游离酚呈现下降趋势,且刚切分后游离酚含量下降最快,贮藏的中后期游离酚含量下降趋势相对较慢。处理组切分当天的游离酚含量迅速上升,此后逐渐下降。植物组织是通过“机械伤-伤信号-酚代谢-多酚-木质素-硬化”过程实现愈伤,多酚是植物应对机械伤或逆境而产生的重要的次生代谢产物^[12-14],贮藏期间,处理组样品中游离酚的含量均显著高于对照组 ($p < 0.05$),这说明经涂膜处理后的样品对切分导致的机械伤害的应对能力增强。处理组在贮藏期间游离酚含量逐渐下降,说明膜处理使伤信号逐渐

消失。当植物完整的细胞结构被破坏,多酚与PPO的区域分隔被打破,在氧存在的条件下,多酚被PPO催化氧化而引起褐变现象^[14],因此游离酚的增加,导致酶促褐变的潜力增加,可能会导致褐变的程度增大。但由图5可知,处理组鲜切苹果的褐变程度并未因游离酚的增加而提高,表明处理组鲜切苹果细胞完整性好,相反,对照组具有显著低的游离酚含量 ($p < 0.05$),但褐变明显。

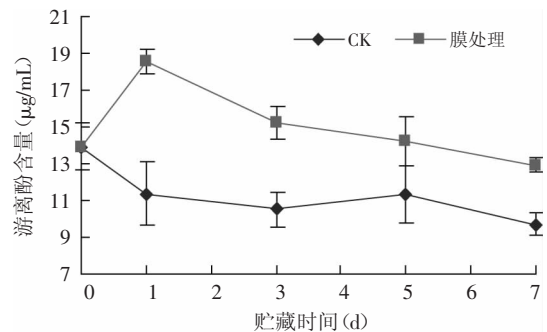


图6 贮藏期间鲜切苹果中游离酚含量的变化

Fig.6 Changes of free phenols content in the fresh-cut apples during storage

2.7 可食膜对鲜切苹果中PPO活力的影响

通过膜处理后,鲜切苹果贮藏期间的PPO活力如图7所示。由图7可以看出,对照组样品在贮藏期间,其PPO活力均大于切分当天。0~1d PPO活力迅速增大,这与南海娟等^[15]的研究结果一致,可能是活体组织对切分伤害进行修复的生理反应。1~5d, PPO酶活力基本不变, PPO活力值之间无显著差异 ($p > 0.05$), 5d后又显著地下降 ($p < 0.05$)。处理组样品的PPO活力变化与对照组相似,但比较第1d的PPO值,处理组仅增加21%,而对照组增加110%,且显著高于处理组 ($p < 0.05$),这可能是导致切分后对照组褐变程度更明显的主要原因。PPO是酶促褐变过程中的关键酶,其活力的高低影响酶促褐变的速度和褐变的程度。使用SYSTAT 12软件对贮藏期间PPO活力值与对应的色差值进行线性和非线性拟合,但两者之间建立的回归方程均不显著 ($p > 0.05$),说明两者之间并不存在直接的相关性关系,褐变程度是由多个因素的决定(如PPO,游离酚含量,氧,抑制剂等)。比较整个

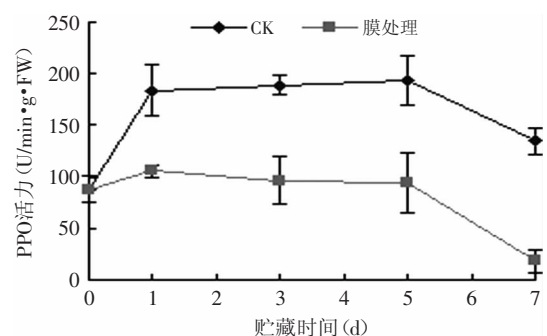


图7 贮藏期间鲜切苹果PPO活力的变化

Fig.7 Changes of PPO in the fresh-cut apples during storage

(下转第359页)

GC-PID for quantification of parabens in aqueous matrices[J]. Journal of Separation Science, 2013, 2(36):311-319.

[38] P Canosa, I Rodriguez, E Rubi, *et al.* Optimisation of a solid-phase microextraction method for the determination of parabens in water samples at the low ng per litre level[J]. Journal of Chromatography A, 2006, 1124(1-2):3-10.

[39] 余泽红, 贺小贤, 丁勇, 等. 固相微萃取在食品挥发组分测定方面研究进展[J]. 粮食与油脂, 2010(7):44-46.

[40] Juan He, Si Chen, Yili Jiang, *et al.* Preparation and selective recognition of a novel solid-phase microextraction fiber combined with molecularly imprinted polymers for the extraction of parabens in soy sample[J]. Journal of Separation Science, 2012, 35:308-314.

[41] Yi Han, Xiaoyu Jia, Xinli Liu, *et al.* DLLME Combined with GC-MS for the Determination of Methylparaben, Ethylparaben, Propylparaben and Butylparaben in Beverage Samples [J]. Chromatographi, 2010, 72:351-355.

[42] HSIU-JUNG LIN, YOUK-MENG CHOONG. A Simple Method

for the Simultaneous Determination of Various Preservatives in Liquid Foods[J]. Journal of Food and Drug Analysis, 1999, 7(4):291-304.

[43] Saraji, Mohammad, Mirmahdieh, *et al.* Single-drop microextraction followed by in-syringe derivatization and GC-MS detection for the determination of parabens in water and cosmetic products[J]. Journal of Separation Science, 2009, 32(7):988-995.

[44] Ishiwata, Hajimu, Takeda, *et al.* Determination and confirmation of methyl p-hydroxybenzoate in royal jelly and other foods produced by the Honey Bee[J]. Food Additives and Contaminants, 1995, 12(2):281-285.

[45] Eva Blanco, Maria del Carmen Casais, Maria del Carmen Mejuto, *et al.* Simultaneous determination of p-hydroxybenzoic acid and parabens by capillary electrophoresis with improved sensitivity in nonaqueous media[J]. Electrophoresis, 2008, 29:3229-3238.

(上接第335页)

贮藏期间对照组和处理组的PPO活力值, 处理组样品的PPO活力显著低于对照组的 ($p < 0.05$), 且与0d值比较, 其PPO活力的总变化趋势为下降, 而对照组相反。这表明, 用该复合膜处理鲜切苹果, 能显著抑制其中PPO的活力, 有利于对鲜切苹果酶促褐变进行控制。原因可能是膜中的L-Cys对PPO活性的抑制^[5, 16], 与醌反应可形成无色的加合物^[17]。

3 结论

用5%淀粉+2% CMC-Na+3.5%甘油+1.5%L-cys复配制得的可食膜对鲜切的红富士苹果进行处理, 贮藏末期其硬度、SSC和V_c含量等均显著高于对照组, 鲜切苹果的货架期得到延长。保鲜效果的实现主要得益于该可食膜处理能显著降低鲜切苹果的呼吸强度, 延缓鲜切苹果细胞的成熟和衰老。该可食膜还能显著减轻鲜切苹果的褐变, 改善产品的外观品质, 主要途径可能是有效抑制了PPO的活力, 从而使酶促褐变的速度下降, 同时复合膜中的L-半胱氨酸能将褐变的中间产物醌还原为无色物质, 从而有效防止鲜切苹果发生褐变。

参考文献

- [1] 郑林彦, 韩涛, 李丽萍. 国内切割果蔬的保鲜研究现状[J]. 食品科学, 2005, 26(S):125-127.
- [2] Watada A E, Qi L. Quality of fresh-cut produce[J]. Postharvest Biology and Technology, 1999, 15(3):201-205.
- [3] Falguera V, Quintero J P, Jiménez A, *et al.* Edible films and coatings: structures, active functions and trends in their use[J]. Trends in Food Science & Technology, 2011, 22(6):292-303.
- [4] 刘新友, 南海娟, 郝亚勤, 等. 鲜切富士苹果涂膜保鲜研究[J]. 河南农业科学, 2007(3):85-88.
- [5] Perez-Gago M B, Serra M, Rfo M A. Color change of fresh-cut apples coated with whey protein concentrate-based edible

coatings[J]. Postharvest Biology and Technology, 2006, 39(1):84-92.

[6] 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.

[7] 李桂锋, 刘兴华, 付卷妮. 可食涂膜对鲜切红地球葡萄粒呼吸强度和品质的影响[J]. 西北农业学报, 2005, 14(1):66-70.

[8] 郑京平. 水果、蔬菜中维生素C含量的测定—紫外分光光度快速测定方法探讨[J]. 光谱实验室, 2006(7):731-735.

[9] Mikal E Saltveit. Effect of 1-methylcyclopropene on phenylpropanoid metabolism, the accumulation of phenolic compounds, and browning of whole and fresh-cut 'iceberg' lettuce[J]. Postharvest Biology and Technology, 2004, 34:75-80.

[10] 罗颖, 薛琳, 黄帅, 等. 番茄果实可溶性固形物含量与果实指标的相关性研究[J]. 石河子大学学报:自然科学版, 2010(1):23-27.

[11] 李任强, 江凤仪, 方玲, 等. 维生素C与氨基酸褐变反应的研究[J]. 食品工业科技, 2002(11):32-34.

[12] Carine L B, Jean-Michel L Q, Philippe S, *et al.* Inhibition of apple polyphenol oxidase activity by procyanidins and polyphenol oxidation products[J]. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 2004, 52(1):122-130.

[13] Toivonen P, Brummell D A. Biochemical bases of appearance and texture changes in fresh-cut fruit and vegetables[J]. Postharvest Biology and Technology, 2008, 48(1):1-14.

[14] 郝志芳. 鲜切芦蒿的品质和酶促褐变机理研究[D]. 南京:南京农业大学, 2005.

[15] 南海娟, 高愿军, 郝亚勤. 鲜切苹果抗褐变研究[J]. 食品与机械, 2006(5):90-94.

[16] 郝志芳, 彭贵霞, 夏志华, 等. 鲜切山药酶促褐变机理的研究[J]. 食品科学, 2003(24):44-49.

[17] 杜传来. 鲜切慈菇贮藏期间褐变相关生理生化变化及酶促褐变机理的研究[D]. 南京:南京农业大学, 2002.