

蜂胶涂膜对鲜切苹果的保鲜效果

Study on effect of propolis on the preservation of fresh-cut apple

刘怡康^{1,2} 杨 秦^{1,2,3} 郑人伟^{1,2} 肖 洪^{1,2,4,5}
LIU Yi-kang^{1,2} YANG Qin^{1,2,3} ZHENG Ren-wei^{1,2} XIAO Hong^{1,2,4,5}
王万秋^{1,2} 张 珍^{1,2} 刘士健^{1,2}
WANG Wan-qiu^{1,2} ZHANG Zhen^{1,2} LIU Shi-jian^{1,2}

(1. 西南大学食品科学学院, 重庆 400715; 2. 食品科学与工程国家级实验教学示范中心〔西南大学〕, 重庆 400715; 3. 西南大学柑桔研究所, 重庆 400712; 4. 北京正博和源科技有限公司, 北京 102400; 5. 北京正博和源科技有限公司重庆分公司, 重庆 400716)

(1. College of Food Science Southwest University, Chongqing 400715, China; 2. National Demonstration Center for Experimental Food Science and Technology Education〔Southwest University〕, Chongqing 400715, China; 3. Citrus Research Institute, Southwest University, Chongqing 400712, China; 4. Beijing Zhengboheyuan Technology Co., Ltd., Beijing 102400, China; 5. Beijing Zhengboheyuan Technology Co., Ltd., Chongqing Branch, Chongqing 400716, China)

摘要: 分别以浓度 0.00%, 0.25%, 0.50%, 0.75% 的水溶性蜂胶与 1.50% 的壳聚糖、1.00% 的氯化钙配制复合涂膜剂, 对鲜切苹果进行涂膜处理, 检测鲜切苹果在不同时期失重率、褐变度、可滴定酸含量、抗坏血酸含量和硬度等指标, 以探究蜂胶对鲜切苹果的保鲜效果。结果表明: 加入 0.50% 水溶性蜂胶的鲜切苹果处理组对硬度和可滴定酸有较好的保鲜效果, 加入 0.75% 水溶性蜂胶的处理组对失重率、褐变度和抗坏血酸含量有较好的保鲜效果, 而涂膜剂中加入水溶性蜂胶对鲜切苹果的菌落总数有一定负面影响。涂膜剂中加入适量的水溶性蜂胶对鲜切苹果短期内的贮藏品质保持有促进作用。

关键词: 鲜切苹果; 蜂胶; 涂膜

Abstract: In order to study the effect of propolis compound coating agent on fresh-cut apple. The compound coating agent was prepared with 0.00%, 0.25%, 0.50% and 0.75% water-soluble propolis, 1.50% chitosan and 1.00% calcium chloride to coat the fresh-cut apple. The weight loss rate, browning degree, titrate acid contents, ascorbic acid content and hardness of fresh-cut apples in different periods were detected to investigate the effect of propolis to fresh-cut apple. The physical and chemical indexes of fresh-cut apple in different storage periods were compared and analyzed. The coating agent with

0.50% water-soluble propolis was added to the hardness and titratable acid of fresh-cut apple. The coating agent with 0.75% water-soluble propolis had better effect on weight loss rate, browning degree and ascorbic acid content of fresh-cut apple, while the coating agent with water-soluble propolis had some negative effects on the total colony of fresh-cut apple. To sum up, adding proper amount of water-soluble propolis in the coating agent could improve the quality of fresh-cut apple in short term.

Keywords: fresh-cut apples; propolis; coatings

苹果果实肉脆味美, 含有大量糖类、维生素等重要营养素, 同时富含有机酸、维生素、矿物质、膳食纤维、果胶、多酚及黄酮类等多种营养物质^[1-2]。鲜切苹果经分级、整理、清洗、去皮、切分、修整和包装等加工处理, 可最大程度保持苹果的新鲜状态, 同时可以方便消费者食用^[3]。

目前对鲜切苹果保鲜的研究主要集中在食用膜^[4]、魔芋甘聚糖^[5]、溶菌酶^[6]、生姜提取液^[7]等, 目前使用的各种保鲜剂都有一定的缺点, 如食用膜和溶菌酶成本高, 生姜提取液具体功能成分不明确、魔芋葡聚糖成分相对单一。

蜂胶涂膜对鲜切苹果的保鲜研究还未见报道。本研究拟以市售的苹果为研究对象, 以水溶性蜂胶、壳聚糖、氯化钙配制复合涂膜剂, 对鲜切苹果进行涂膜处理, 研究鲜切苹果在不同时期失重率、褐变度、可滴定酸含量、抗坏血酸含量和硬度等指标的变化, 以探究蜂胶对鲜切苹果的保鲜效果, 以期对鲜切苹果的保鲜提供理论依据。

作者简介: 刘怡康, 男, 西南大学在读本科生。
通信作者: 刘士健(1977—), 男, 西南大学讲师, 博士。
E-mail: 253900061@qq.com
收稿日期: 2018-08-10

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

80#套袋红富士:市售;
水溶性蜂胶浓缩液:重庆佳尔生物技术研究所以;
无水氯化钙、石英砂、氯化钠、酚酞、壳聚糖:成都市科龙化工试剂厂;
抗坏血酸:广东省化学试剂工程技术研究开发中心;
偏磷酸:天津市光复精细化工研究所;
可见光分光光度计:722 型,上海菁华科技仪器有限公司;
数显恒温水浴锅:HH-4 型,常州澳华仪器有限公司;
多功能离心机:1580 型,金坛市鸿科仪器厂;
质构仪:CT-3 型,美国 Brookfield 公司;
紫外分光光度计:UV-2450 型,日本 Shimadzu 公司。

1.2 试验方法

1.2.1 涂膜液的制备 参考文献[8],略有修改:预试验中分别配制浓度为 0.00%,0.25%,0.50%,0.75%,1.00%的水溶性蜂胶涂膜液对鲜切苹果进行涂膜处理,并对失重率、可滴定酸、褐变度和硬度进行检测。最终确定以浓度 0.25%,0.50%,0.75%的水溶性蜂胶与壳聚糖、氯化钙复配。

分别称取 0.25、0.50、0.75 g 水溶性蜂胶,用适量热蒸馏水水搅拌溶解,再分别称取 1.5 g 壳聚糖和 1 g 无水氯化钙溶解于蜂胶溶液中,待冷却后定容至 100 mL;另配制等量 1.5% 壳聚糖+1%氯化钙涂膜液和蒸馏水备用。涂膜液成分见表 1。

表 1 涂膜液成分表

Table 1 Coating liquid composition table %			
组别	水溶性蜂胶	壳聚糖	无水氯化钙
对照组	0.00	0.00	0.00
第 1 组	0.00	1.50	1.00
第 2 组	0.25	1.50	1.00
第 3 组	0.50	1.50	1.00
第 4 组	0.75	1.50	1.00

1.2.2 鲜切苹果的涂膜处理 参照文献[9]。

1.2.3 指标测定

(1) 失重率:按式(1)计算失重率。
$$X=\frac{m_1-(m_2-m_0)}{m_1}\times 100\%,$$
 (1)
式中:
X——贮藏前鲜切苹果的失重率,%;
 m_1 ——贮藏前鲜切苹果的净重,g;
 m_2 ——贮藏后鲜切苹果和纸杯的总重量,g;
 m_0 ——纸杯和保鲜膜的重量,g。
(2) 可滴定酸含量:按 GB/T 12456—2008 执行。
(3) 硬度:根据文献[10]修改如下,使用质构仪测定,使用 TA/6 对样品底面中心进行检测,测试参数为:距离 4.00 mm,触发点载荷 5 g,预压速度 2.0 mm/s,下压速度 0.5 mm/s,测后上行速度 1 mm/s,数据频率 50 Points/s。按式(2)计算硬度。

$$HB=\frac{N}{S},$$

式中:
HB——硬度,Pa;
N——样品压力值,N;
S——探头截面积,m²。

(4) 褐变度:根据文献[11]修改如下,使用可见光分光光度计检测,称取 2 块鲜切苹果块,加入样品 10 倍质量的预冷蒸馏水(4 ℃),冰浴研磨至匀浆,于 12 000 r/min 离心 5 min,立刻取上清液于 410 nm 波长处测定吸光度值。按式(3) 计算褐变度。

$$Q=OD_{410}\times 10,$$

式中:
Q——褐变度;
 OD_{410} ——410 nm 波长处测得的吸光度值。

(5) 褐变指数:根据文献[12]修改如下,按鲜切苹果片贮藏期间切面褐变面积和程度划分 4 个褐变等级。鲜切苹果褐变分级见表 2。

表 2 鲜切苹果褐变分级表

Table 2 Fresh-cut apple browning classification table	
褐变等级	特征
0 级	无褐变,切面保持新鲜色泽和质地
1 级	轻度褐变,切面轻微褐变
2 级	中度褐变,切面明显发生褐变,色泽略微加深,质地仍可分辨
3 级	重度褐变,切面褐变色泽浓重,质地模糊不清,难以分辨初始色泽和质地

每次对 10 个样品的褐变等级进行统计计算,设 3 组平行取平均值。按式(4)计算褐变指数。

$$R=\frac{\sum(D\times F)}{S\times Z},$$

式中:
R——褐变指数;
D——褐变等级;
F——改褐变等级样品数;
S——褐变最高级别;
Z——调查样品数。

(6) 抗坏血酸含量:参照文献[13]。

(7) 菌落总数:按 GB 4789.2—2016 执行。

1.2.4 数据分析 使用 EXCEL 2016 统计分析数据并作图,IBM SPSS Statistics 22 进行方差分析

2 结果与分析

2.1 对鲜切苹果失重率的影响

由图 1 可知,各组鲜切苹果的失重率随时间延长呈上升趋势,且对照组的失重率增加最为明显;贮藏 4 d 后对照组

与其他组之间失重率出现显著差异($P<0.05$),贮藏 6 d 后对照组与第 4 组之间失重率相比差异极显著($P<0.01$),并且随着贮藏时间的延长,对照组与处理组失重率的差异越来越大。说明涂膜剂可以在鲜切苹果表面形成一层连续的保护膜,有效降低鲜切苹果在贮藏过程中的水分流失。

涂膜剂处理组之间,从变化趋势看第 3 组失重率低于第 1 组和第 2 组,但差异不显著;第 4 组失重率始终处于最低水平,且从第 6 天开始第 1 组失重率与第 4 组相比存在显著差异($P<0.05$)。说明加入了蜂胶的涂膜剂能更好地阻止水分流失。推测是由于随着蜂胶浓度增大,涂膜剂渗透压和成膜性能增强,能更好地减缓鲜切苹果的失重。

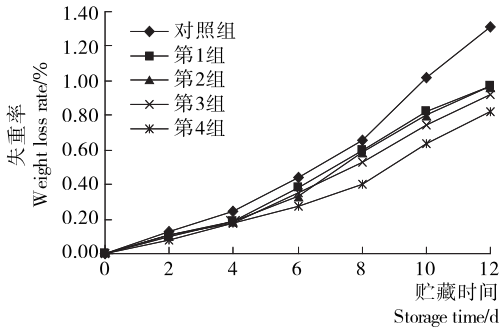


图 1 不同涂膜剂处理组鲜切苹果失重率变化
Figure 1 Changes in weight loss rate of fresh-cut apple coated with different coating agent

2.2 对鲜切苹果硬度的影响

由图 2 可知,对照组鲜切苹果的硬度下降快速,第 2 天与涂膜的 4 组之间硬度都出现极显著差异($P<0.01$);从第 4 天开始,对照组与第 1 组、第 3 组和第 4 组硬度差异不断扩大($P<0.01$);第 4~6 天第 2 组硬度下降速度加快,与对照组之间差异缩小,但第 8 天两组之间硬度差异显著($P<0.05$)。整体来看,涂膜剂能有效抑制鲜切苹果组织的衰老,保持鲜切苹果果实硬度,推测是由于涂膜剂能减少水分散失的同时,抑制微生物繁殖,降低果实中纤维素和果胶的分解速度,从而保持果实硬度。

不同涂膜剂处理组之间,第 1 组和第 3 组在第 0~8 天硬度变化趋势基本一致,之后第 1 组硬度下降速度加快,而第 3 组变化趋于平缓,两组之间出现极显著性差异($P<$

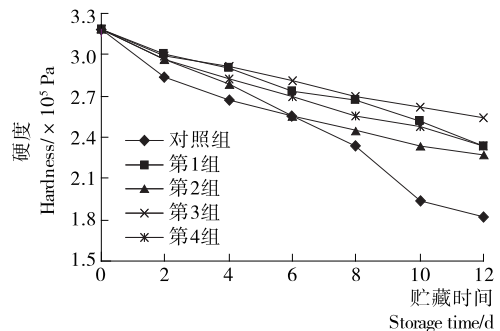


图 2 不同涂膜剂处理组鲜切苹果硬度变化
Figure 2 Changes in hardness of fresh-cut apple coated with different coating agent

0.01);第 2 组是涂膜剂处理组硬度下降最快的一组,第 3 组是硬度保持最好的一组,但两组之间没有显著性差异;第 4 组是蜂胶浓度最高的涂膜处理组,硬度介于第 2 组和第 3 组之间。说明添加蜂胶能在一定程度上有助于鲜切苹果的硬度保持,但由于蜂胶成分过于复杂,浓度过低或过高都会对鲜切苹果硬度保持产生不利影响,只有涂膜剂中添加适合浓度的蜂胶才对硬度保持有所帮助。

2.3 对鲜切苹果褐变的影响

从图 3、4 可知,对照组鲜切苹果褐变非常快速,从第 2 天开始与涂膜处理组之间就出现了极显著差异($P<0.01$),表明涂膜处理能有效抑制鲜切苹果褐变,保持良好色泽。与同时期对照组褐变度和褐变指数相比,褐变度与涂膜组之间的差异最大。

不同涂膜剂处理组之间鲜切苹果褐变程度相比,在第 4 天之前涂膜剂中没有添加蜂胶的第 1 组较低,与第 3 组和第 4 组相比都存在显著差异($P<0.05$)。但从整个贮藏期间鲜切苹果褐变程度来看,加入了蜂胶的第 2 组、第 3 组和第 4 组变化趋势更加平缓,并且随着时间延长(第 10 天之后),第 4 组变化趋势与其他 3 组相比更加平缓,且与其他 3 组之间都存在极显著差异($P<0.01$)。表明涂膜剂中添加蜂胶能在一定程度上延缓鲜切苹果的褐变,且随着贮藏时间的延长护色效果更加明显。

2.4 对鲜切苹果可滴定酸含量的影响

由图 5 可知,对照组、第 2 组、第 3 组和第 4 组的可滴定

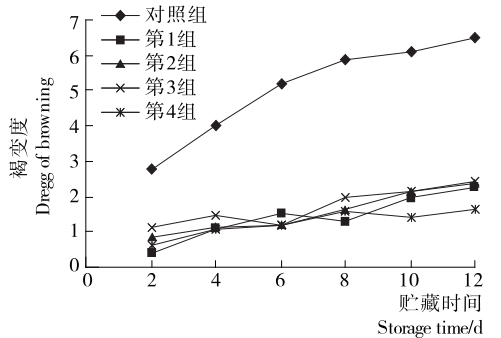


图 3 不同涂膜剂处理组鲜切苹果褐变度变化
Figure 3 Changes in degree of browning of fresh-cut apple coated with different coating agent

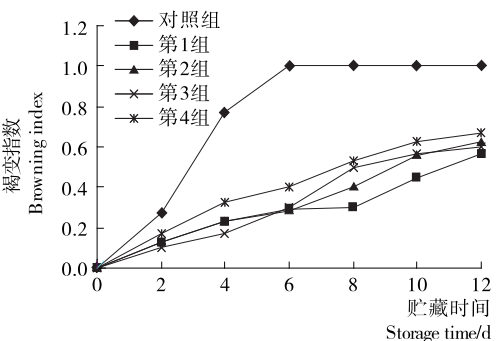


图 4 不同涂膜剂处理组鲜切苹果褐变指数变化
Figure 4 Changes in browning index of fresh-cut apple coated with different coating agent

酸含量都是先上升后下降,而第 1 组的可滴定酸含量在第 2~6 天也有小幅上升,其中对照组可滴定酸含量在第 4 天前上升明显,第 4 天与涂膜剂处理组之间可滴定酸含量存在显著性差异($P<0.05$),此后可滴定酸含量便开始快速下降,与涂膜处理组之间可滴定酸含量差异缩小($P>0.05$)。由于前期对照组水分蒸发和干物质损耗,导致可滴定酸相对含量增加比较多,随着贮藏时间延长,对照组鲜切苹果呼吸作用不断消耗有机酸,而涂膜剂处理组通过在样品表面形成一层具有一定气调作用的涂膜层,调整组织内的二氧化碳和氧气含量,抑制组织内的呼吸代谢,导致对照组与涂膜剂处理组之间可滴定酸含量差异不断变化。试验结果表明涂膜处理在维持鲜切苹果可滴定酸含量稳定和贮藏后期减缓可滴定酸含量下降具有正面作用。

不同涂膜剂处理组之间,第 1 组的可滴定酸含量在第 8 天以前变化比较平缓,第 8 天以后开始快速降低,而加入了蜂胶的涂膜剂处理组在贮藏期间变化趋势都比较平缓,第 6~8 天第 1 组的可滴定酸含量显著高于涂膜剂中加入了蜂胶的 3 个组($P<0.01$);第 10 天,由于第 1 组可滴定酸含量下降快速,第 2 组和第 3 组的可滴定酸含量都显著高于第 1 组($P<0.05$)。

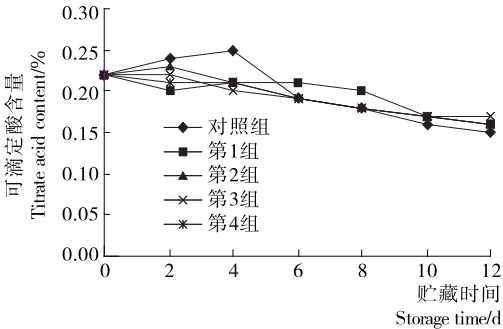


图 5 不同涂膜剂处理组鲜切苹果可滴定酸含量变化
Figure 5 Changes in titratable acid contents of fresh-cut apple coated with different coating agent

2.5 对鲜切苹果抗坏血酸含量的影响

由图 6 可知,贮藏期间随着时间延长,鲜切苹果的抗坏血酸含量不断降低,其中对照组抗坏血酸含量下降较多,从第 2 天开始对照组抗坏血酸含量与第 3 组和第 4 组差异极显著($P<0.01$),与第 1 组和第 2 组差异不显著($P>0.05$)。表明涂膜剂处理能有效抑制果实中抗坏血酸的氧化进程,维持鲜切苹果的营养物质。

不同涂膜剂处理组之间,第 1 组和第 2 组抗坏血酸含量下降趋势基本一致,第 3 组和第 4 组下降趋势也基本一致,但第 3 组和第 4 组抗坏血酸含量较高,并且第 2 天开始,第 3 组和第 4 组抗坏血酸含量显著高于第 1 组和第 4 组($P<0.01$)。表明涂膜剂中加入一定量的蜂胶能有效抑制鲜切苹果中抗坏血酸的氧化分解,从而减缓鲜切苹果的品质劣变。

2.6 对鲜切苹果菌落总数的影响

对贮藏中期和后期鲜切苹果菌落总数的检测,第 6 天时,对照组鲜切苹果菌落总数就达到 9.24×10^5 CFU/g,与涂

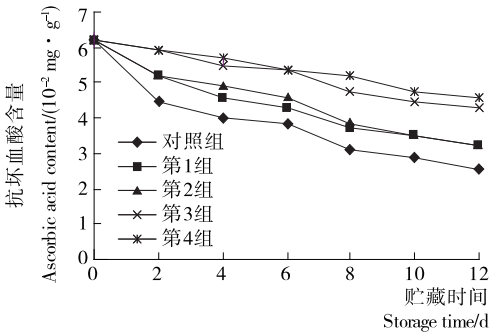


图 6 不同涂膜剂处理组鲜切苹果抗坏血酸含量变化
Figure 6 Changes in V_C contents of fresh-cut apple coated with different coating agent

膜剂处理组之间菌落总数差异极显著($P<0.01$)。从第 8 天开始,对照组部分样品表面出现可用肉眼观察到的绿色菌落斑点,基本失去商品价值。

对于涂膜剂处理组,第 6 天稀释了 1 000 倍的样品在平板计数培养基上培养 48 h 后,几乎看不到菌落生长;第 12 天,第 1 组的菌落总数达到 2.57×10^5 CFU/g,与第 2 组 (3.43×10^5 CFU/g)、第 3 组 (6.04×10^5 CFU/g) 和第 4 组 (5.88×10^5 CFU/g) 的存在极显著差异($P<0.01$),而第 2 组的菌落总数与第 3 组和第 4 组之间都存在极显著差异($P<0.01$)。推测是由于水溶性蜂胶中加入了乳化剂,蜂胶被乳化后,乳化剂与蜂胶中抑菌成分发生作用,将其有效部位包裹住,使蜂胶抑菌作用大大降低。同时蜂胶中的营养成分在其抑菌作用受到抑制后,更有利于微生物的生长繁殖。

3 结论

涂膜剂中分别加入 0.50% 和 0.75% 的水溶性蜂胶对鲜切苹果贮藏过程中不同的生理指标的保鲜效果不同,从整个 12 d 的贮藏期来看,加入 0.50% 水溶性蜂胶的涂膜剂对鲜切苹果的硬度和可滴定酸有较好的保鲜效果,加入 0.75% 水溶性蜂胶的涂膜剂对鲜切苹果失重率、褐变度和抗坏血酸含量有较好的保鲜效果。但正常情况下,鲜切苹果的货架期很短,在 0~6 d 的贮藏期内加入 0.50% 水溶性蜂胶的涂膜剂对鲜切苹果硬度、可滴定酸、褐变度和抗坏血酸含量都有较好的保鲜效果,且样品的失重率与加入 0.75% 水溶性蜂胶的处理组没有显著差异($P>0.05$)。虽然贮藏后期加入蜂胶的涂膜剂组对鲜切苹果菌落总数有不利影响,但在鲜切苹果合理的货架期内对应处理组样品的菌落总数远低于 1×10^5 CFU/g,不会影响鲜切苹果的商品价值。同时,水溶性蜂胶的抑菌效果会因乳化剂的作用受到抑制,在配制涂膜剂的过程中可以考虑使用蜂胶的醇提取液进行复配,来恢复蜂胶抑菌功能,以获得更好的保鲜效果。

本研究仅针对鲜切苹果,后期可对其他鲜切果蔬进一步研究。

参考文献

[1] 袁云香. 苹果的贮藏与保鲜技术研究进展[J]. 北方园艺, 2015 (4): 189-191.

[36] YAN Hong-yuan, GAO Meng-meng, QIAO Jin-dong. New ionic liquid modified polymeric microspheres for solid-phase extraction of four Sudan dyes in foodstuff samples[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2012, 60(27): 6 907-6 912.

[37] WU Hao, GUO Jing-bo, DU Li-ming, et al. A rapid shaking-based ionic liquid dispersive liquid phase microextraction for the simultaneous determination of six synthetic food colourants in soft drinks, sugar-and gelatin-based confectionery by high-performance liquid chromatography[J]. Food Chemistry, 2013, 141(1): 182-186.

[38] ZHANG Zhong, XU Shou-fang, LI Jin-hua, et al. Selective solid-phase extraction of Sudan I in chilli sauce by single-hole hollow molecularly imprinted polymers[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2011, 60(1): 180-187.

[39] 肖海龙, 屠海云, 王红青, 等. 反相高效液相色谱法快速测定食品中 18 种水溶性合成着色剂[J]. 中国卫生检验杂志, 2011, 21(2): 264-266.

[40] CHEN Bo, HUANG Yu-ming. Dispersive liquid-phase micro-extraction with solidification of floating organic droplet coupled with High-performance liquid chromatography for the determination of sudan dyes in foodstuffs and water samples[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2014, 62(25): 5 818-5 826.

[41] TATEO F, BONONI M. Fast determination of Sudan I by HPLC/APCI-MS in hot chili, spices, and oven-baked foods[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2004, 52(4): 655-658.

[42] CALBIANI F, CARERI M, ELVIRI L, et al. Development and in-house validation of a liquid chromatography-electrospray-tandem mass spectrometry method for the simultaneous determination of Sudan I, Sudan II, Sudan III and Sudan IV in hot chili products[J]. Journal of Chromatography A, 2004, 1 042(1): 123-130.

[43] HOU Xiao-lin, LI Yong-gang, CAO Shou-jun, et al. Analysis of para red and Sudan dyes in egg yolk by UPLC-MS-MS[J]. Chromatographia, 2010, 71(1/2): 135-138.

[44] MAZZOTTI F, DI DONNA L, MAIUOLO L, et al. Assay of the set of all sudan azodye (I, II, III, IV, and para-red) contaminating agents by liquid chromatography-tandem mass spectrometry and isotope dilution methodology[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2007, 56(1): 63-67.

[45] SCHUMMER C, SASSEL J, BONENBERGER P, et al. Low-level detections of sudan I, II, III and IV in spices and chili-containing foodstuffs using UPLC-ESI-MS/MS[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2013, 61(9): 2 284-2 289.

[46] 赵珊, 张晶, 杨奕, 等. 超高效液相色谱-电喷雾串联四级杆质谱法检测果汁和葡萄酒中的 27 种工业染料[J]. 色谱, 2010, 28(4): 356-362.

[47] FENG Feng, ZHAO Yan-sheng, YONG Wei, et al. Highly sensitive and accurate screening of 40 dyes in soft drinks by liquid chromatography-electrospray tandem mass spectrometry[J]. Journal of Chromatography B, 2011, 879(20): 1 813-1 818.

[48] 赵珊, 张晶, 丁晓静, 等. 凝胶净化/超高效液相色谱电喷雾质谱法检测调味油中 11 种禁用偶氮染料及罗丹明 B[J]. 分析测试学报, 2012, 31(4): 448-452.

[49] FANG Guo-zhen, WU Yu, DONG Xiao-meng, et al. Simultaneous determination of banned acid orange dyes and basic orange dyes in foodstuffs by liquid chromatography-tandem electrospray ionization mass spectrometry via negative/positive ion switching mode[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2013, 61: 3 834-3 841.

[50] 钱疆, 杨方, 陈弛, 等. 超高压液相色谱-飞行时间质谱法测定食品中 19 种非法染料[J]. 分析试验室, 2012, 33(6): 50-53.

[51] LI Xiu-qin, ZHANG Qing-he, MA Kang, et al. Identification and determination of 34 water-soluble synthetic dyes in foodstuff by high performance liquid chromatography-diode array detection-ion trap time-of-flight tandem mass spectrometry[J]. Food Chemistry, 2015, 182: 316-326.

[52] JIA Wei, CHU Xiao-gang, LING Yun, et al. Simultaneous determination of dyes in wines by HPLC coupled to quadrupole orbitrap mass spectrometry[J]. Liquid Chromatography, 2014, 37: 782-791.

(上接第 134 页)

[2] 范林林, 冯叙桥. 不同保鲜处理对鲜切苹果保鲜效果的影响[J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(1): 252-256.

[3] 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): 144-147.

[4] 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.

[5] 闫子娇, 张有林, 于月英. 魔芋葡甘聚糖涂膜对鲜切苹果保鲜的研究[J]. 农产品加工, 2009(10): 60-66.

[6] 冯叙桥, 范林林, 韩鹏祥, 等. 溶菌酶涂膜对鲜切“寒富”苹果的贮藏保鲜作用研究[J]. 现代食品科技, 2014, 30(11): 125-131.

[7] 李伟锋, 何玲, 冯金霞, 等. 生姜提取物对鲜切苹果保鲜研究[J]. 食品科学, 2013(4): 236-240.

[8] 邓茜菲, 唐慧, 田沛霖, 等. 壳聚糖涂膜对鲜切苹果品质的影响[J]. 食品工业科技, 2010(4): 122-124.

[9] 袁仲玉, 周会玲, 张晓晓, 等. 芦荟粗提液对红富士苹果常温贮藏保鲜的影响[J]. 中国食品学报, 2014, 14(11): 104-110.

[10] WANG Cheng, CHEN Yu-long, XUE Yu-juan, et al. Effect of dimethyl dicarbonate as disinfectant on the quality of fresh-cut carrot (*Daucus carota* L.)[J]. Journal of Food Processing & Preservation, 2013, 37(5): 751-758.

[11] SUPAPVANICH S, PIMSAGA J, SRISUJAN P. Physico-chemical changes in fresh-cut wax apple (*Syzygium samarangense* [Blume] Merrill & L. M. Perry) during storage[J]. Food Chemistry, 2011, 127(3): 912-917.

[12] 杨巍, 刘晶, 吕春晶, 等. 氯化钙和抗坏血酸处理对鲜切苹果品质和褐变的影响[J]. 中国农业科学, 2010, 43(16): 3 402-3 410.

[13] 丁晓雯. 食品分析实验[M]. 北京: 中国林业出版社, 2012: 44-46.