

马铃薯变性淀粉基涂膜对早酥梨的保鲜效果

刘瑾瑾^{1,2}, 李永才^{1,*}, 毕 阳¹, 王 毅¹, 胡林刚¹, 李渐鹏¹

(1. 甘肃农业大学食品科学与工程学院, 甘肃 兰州 730070;

2. 柳州师范高等专科学校化学与生命科学系, 广西 柳州 546100)

摘 要: 为探讨马铃薯变性淀粉在采后早酥梨涂膜保鲜中的应用效果, 以马铃薯变性淀粉为主剂, 通过正交试验, 优化筛选马铃薯变性淀粉基保鲜膜最佳配方, 分析比较最佳涂膜处理对早酥梨常温及低温贮藏期间品质指标变化的影响。结果表明, 最佳的保鲜膜配方为4.00%氧化醋酸酯淀粉、0.50%单甘酯、1.00% β -环糊精、2.00%甘油和0.50%棕榈酸。涂膜处理显著地降低了常温和低温贮藏期间早酥梨质量损失率、腐烂指数以及黄化指数, 抑制了果实中叶绿素含量的下降, 同时涂膜处理有效地抑制了果实在贮藏期间还原糖、有机酸含量的下降, 涂膜处理还可有效地封闭皮孔。可见马铃薯变性淀粉基保鲜膜在果蔬采后防腐保鲜中具有潜在的应用前景。

关键词: 马铃薯变性淀粉; 涂膜处理; 早酥梨; 贮藏特性

Effect of Modified Potato Starch-Based Coating on Quality Preservation of “Zaosu” Pear

LIU Jinjin^{1,2}, LI Yongcai^{1,*}, BI Yang¹, WANG Yi¹, HU Lingang¹, LI Jianpeng¹

(1. College of Food Science and Engineering, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China;

2. Department of Chemistry and Life Science, Liuzhou Teachers College, Liuzhou 546100, China)

Abstract: This study aimed to examine the preservative effect of modified potato starch-based coating on postharvest “Zaosu” pears. The optimum formulation of potato modified starch-based coating composed of 4.00 % oxidized starch acetate, 0.50% stearic acid glycerides, 1.00% β -cyclodextrin, 2.00% glycerol and 0.50% palmitic acid was screened by orthogonal array design. The coating significantly reduced the weight loss rate, decay rate and yellowing index of “Zaosu” pear during the storage period, inhibited the decline of chlorophyll content, and also effectively slowed down the decreases in sugar and organic acid contents in addition to sealing lenticels. These findings suggested that potato modified starch-based coating might have a potential prospect in preserving postharvest fruit and vegetables.

Key words: potato modified starch; coating treatment; “Zaosu” pear; storage characteristics

中图分类号: TS255.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2015) 16-0278-06

doi:10.7506/spkx1002-6630-201516053

早酥梨 (*Pyrus bretschneideri* cv. Zaosu) 是甘肃名优特水果, 其果实大, 肉质松脆细嫩, 汁多味甜, 深受消费者欢迎。但早酥梨采后呼吸强度大, 且果色极易褪绿发黄, 采后常温条件下10 d左右便黄化, 导致肉质变软, 色泽退变, 货架期明显缩短, 严重影响早酥梨产业化发展及经济效益。目前对早酥梨的采后防腐保鲜技术进行了一些研究报道^[1-5], 但多集中于机理的探讨。因此寻求一种安全高效的果蔬贮藏保鲜方法已迫在眉睫。

涂膜保鲜技术因其安全、环保、成本低廉、操作简便而成为果蔬采后防腐保鲜的主要方法之一^[6-8]。该技术是以天然可食性物质为基质, 添加乳化剂、增塑剂、交联剂等辅料, 配制涂膜剂涂布于果蔬表面, 形成具有保

护组织的薄层, 以有效地降低水分蒸腾、阻止病原物侵染、抑制果蔬组织与空气的气体交换、封闭果实表面的皮孔或气孔, 进而延长果蔬的保鲜期^[8-10]。常用的可食性涂膜材料包括脂类、多糖类、蛋白质和淀粉, 淀粉因其价廉易得、成膜性好等特点在果蔬保鲜中得到了广泛应用^[11-14]。

变性淀粉是通过物理或化学方法使淀粉分子链被切断、重排或引入其他化学基团以改变其结构而获得的。经过变性的淀粉比原淀粉具有更优良的性能。通过变性后的淀粉主要是作为增稠剂、胶凝剂、黏结剂和稳定剂等, 同时具有良好的成膜性、高温膨胀性和稳定性, 因此在食品行业得到了广泛研究和应用, 但在果蔬涂膜保

收稿日期: 2014-12-05

基金项目: 甘肃农业大学青年导师基金项目 (GAU-QNDS-201208); “十二五” 国家科技支撑计划项目 (2013BAD19B01)

作者简介: 刘瑾瑾 (1989—), 女, 助教, 硕士, 研究方向为果蔬采后生物学与技术。E-mail: 32604366@qq.com

*通信作者: 李永才 (1972—), 男, 副教授, 博士, 研究方向为果蔬采后生物学与技术。E-mail: liyongcai@gsau.edu.cn

鲜中的研究报道较少^[15]。因此本实验以马铃薯变性淀粉为基质,在预实验的基础上通过正交试验,以早酥梨贮藏品质特性为指标优化筛选了变性淀粉基保鲜膜最佳配方,同时进一步对其保鲜效果进行了系统研究,以期及早酥梨采后保鲜提供一定的技术。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

供试早酥梨(*Pyrus bretschneideri* cv. Zaosu):于2013年8月采自甘肃省景泰县条山农场,选取7~8成熟、无病虫害、大小均一的果实,并用发泡网套袋进行单果包装,于当天运抵实验室立即进行处理。

马铃薯氧化醋酸酯淀粉 甘肃圣大方舟淀粉有限公司。

1.2 仪器与设备

HH-2 电热恒温水浴锅 北京科伟永兴仪器有限公司;精密增力电动搅拌器 上海梅香仪器有限公司;UV-2450紫外分光光度计 日本岛津公司。

1.3 方法

1.3.1 马铃薯变性淀粉保鲜膜的制备

按实验方案,配制3 000 mL膜液,将马铃薯变性淀粉于80℃水浴中充分糊化,然后加入棕榈酸、单甘酯、环糊精及甘油后继续高速搅拌30 min,再均质2~3次,冷却后备用。

1.3.2 涂膜处理

采用浸涂法涂膜保鲜早酥梨。选取成熟度一致、大小均匀、无病虫害和表皮无破损的果实,随机分为8组,每组用果15个,将果实浸泡在涂膜液中1 min,待涂膜液在果实表面完全浸润后,捞出,自然风干,置于纸箱中,一部分贮藏于常温(温度 $(20\pm 2)^{\circ}\text{C}$,相对湿度55%~60%),另一部分贮藏于低温(温度 $(0\pm 2)^{\circ}\text{C}$,相对湿度85%~90%)的环境中。

1.3.3 涂膜配方的确定

在预实验的基础上,采用 $L_8(2^7)$ 正交表(表1)进行正交试验,以贮藏后早酥梨的腐烂指数、质量损失率、黄化指数及硬度4项指标的综合指数进行最佳涂膜液配方筛选,4项指标的加权系数分别为0.2、0.3、0.3和0.2,即综合指数=0.2×腐烂指数+0.3×质量损失率+0.3×黄化指数+0.2×硬度。

表1 $L_8(2^7)$ 正交试验因素水平表
Table 1 Factors and levels used in $L_8(2^7)$ orthogonal array design

水平	A氧化醋酸酯淀粉添加量/%	B单甘酯添加量/%	C β -环糊精添加量/%	D甘油添加量/%	E棕榈酸添加量/%
1	3.00	0.50	0.50	2.00	0.50
2	4.00	1.00	1.00	3.00	1.00

1.3.4 果实贮藏品质的测定

分别在常温贮藏5、10、15、20、25 d以及低温贮

藏30、60、90、120 d后,将常温贮藏的果实直接去皮,取皮下3 mm处果肉3 g,每次用果5个,锡箔纸包裹,液氮迅速冷冻后置于超低温冰箱(-80°C)保存待测指标;而低温贮藏的果实在贮藏后,置于常温(温度 $(20\pm 2)^{\circ}\text{C}$,相对湿度55%~60%)7 d后再进行取样并分析测定。

果实贮藏期间质量损失率、腐烂指数、黄化指数、硬度、可溶性固形物含量(soluble solid content, SSC)、可滴定酸(titratable acid, TA)含量、还原糖含量及叶绿素含量均参照曹建康等^[9]方法测定。

1.3.5 涂膜液处理对早酥梨表皮形态结构的影响

将果实的皮部切成 $2\text{ cm}\times 2\text{ cm}$ 、1 mm厚的组织薄片后,用液氮预冷(-196°C),然后放入冷冻干燥机中,逐步降温干燥5 h。将干燥后的样品固定在金属架上,镀金膜,在30 kV的条件下用扫描电镜观察涂膜后早酥梨表皮结构的变化并拍照。

1.4 数据分析

采用Microsoft Excel 2010、SPSS 17.0对实验数据进行统计和处理,计算标准偏差或进行Duncan's多重差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 马铃薯变性淀粉基保鲜膜配方优化

表2 $L_8(2^7)$ 正交试验设计及结果
Table 2 Results of $L_8(2^7)$ orthogonal array design

试验号	A氧化醋酸酯淀粉添加量/%	B单甘酯添加量/%	C β -环糊精添加量/%	D甘油添加量/%	E棕榈酸添加量/%	综合指标
1	1 (3.00)	1 (0.50)	1 (0.50)	1 (2.00)	1 (0.50)	0.41
2	1	1	1	2 (3.00)	1	0.45
3	1	2 (1.00)	2 (1.00)	1	2 (1.00)	0.62
4	1	2	2	2	1	0.68
5	2 (4.00)	1	2	1	2	0.53
6	2	1	2	2	1	0.50
7	2	2	1	1	2	0.53
8	2	2	1	2	1	0.51
K_1	2.16	1.90	2.00	2.09	2.14	
K_2	2.07	2.43	2.33	2.24	2.19	
k_1	0.54	0.48	0.50	0.52	0.53	
k_2	0.51	0.61	0.58	0.56	0.55	
R	0.03	0.130	0.08	0.04	0.02	

表3 方差分析结果
Table 3 Analysis of variance

变异来源	平方和	自由度	均方	F值	显著性
A氧化醋酸酯淀粉添加量	0.00	1	0.00	0.02	0.91
B单甘酯添加量	0.04	1	0.03	20.55	0.05
C β -环糊精添加量	0.01	1	0.01	7.85	0.11
D甘油添加量	0.00	1	0.00	1.82	0.31
E棕榈酸添加量	0.00	1	0.00	0.21	0.69
误差	0.003	2			
总和	2.397	8			

早酥梨贮藏期间综合指数越小,表明其保鲜效果越好。由表2正交分析结果可见,涂膜液对的最优组合为: $A_2B_1C_1D_1E_1$,即4.00%氧化醋酸酯淀粉、0.50%单甘酯、0.50% β -环糊精、2.00%甘油、0.50%棕榈酸。极差 R 比较可知,对早酥梨综合指标影响的主次顺序为 $B>C>D>E>A$,即单甘酯添加量 $>\beta$ -环糊精添加量 $>$ 甘油添加量 $>$ 棕榈酸添加量 $>$ 氧化醋酸酯淀粉添加量。进一步方差分析发现5个因素中以单甘酯添加量对早酥梨贮藏品质的影响最为显著(表3)。验证实验表明上述最佳涂膜液处理的早酥梨贮藏第30天贮藏品质优于对照,与正交试验结果基本一致。

2.2 涂膜处理对早酥梨贮藏品质的影响

2.2.1 对早酥梨质量损失率的影响

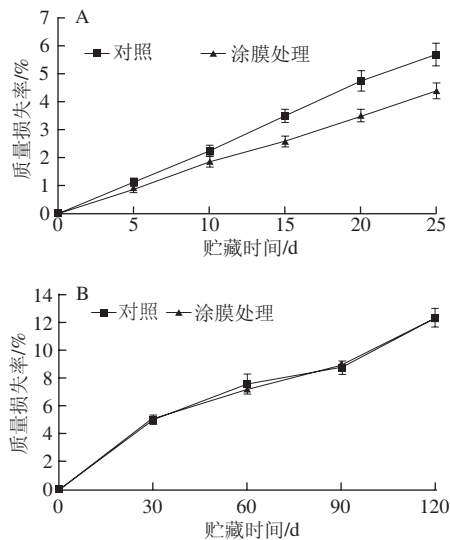


图1 涂膜处理对常温(A)和低温(B)贮藏早酥梨质量损失率的影响
Fig.1 Effect of coating treatment on weight loss of "Zaosu" pears stored at room temperature (A) and low temperature (B)

由图1可知,早酥梨贮藏期间质量损失率总体呈现上升的趋势,低温条件下的增长趋势较为缓慢,涂膜处理能在一定程度上延缓果实质量损失率的升高,其中对常温条件下贮藏早酥梨的作用更明显,在第25天时的保鲜膜处理的质量损失率仅为对照的76.33%(图1A),而低温条件下涂膜处理与对照的差异不明显,仅在第60天时涂膜处理的质量损失率低于对照,为对照的95.42%(图1B)。

2.2.2 对早酥梨硬度的影响

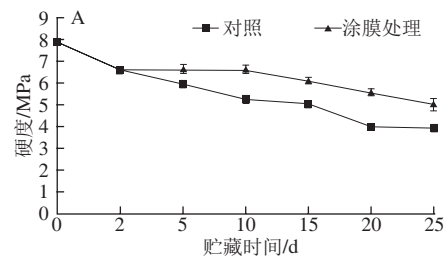


图2 涂膜处理对常温(A)和低温(B)贮藏早酥梨硬度的影响
Fig.2 Effect of coating treatment on firmness of "Zaosu" pears stored at room temperature (A) and low temperature (B)

由图2可见,无论对照还是涂膜处理的早酥梨果实硬度均随着贮藏期的延长而下降,前期(常温0~2 d,低温0~30 d)果实硬度急剧下降,后期变化较为平缓,但总体来看常温贮藏果实硬度的下降速率高于低温。不同贮藏温度环境中的涂膜处理均可以显著抑制早酥梨果实硬度的下降。

2.2.3 对早酥梨SSC的影响

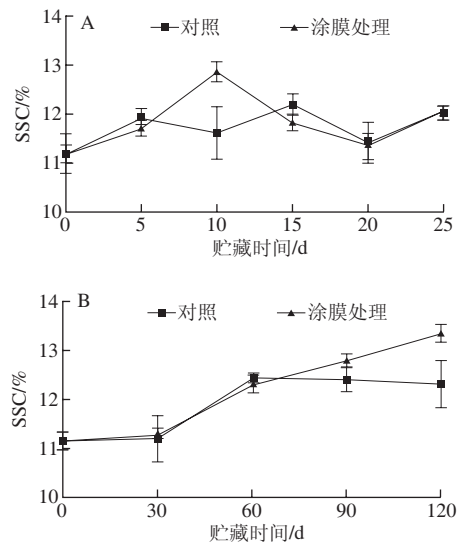


图3 涂膜处理对常温(A)和低温(B)贮藏早酥梨SSC的影响
Fig.3 Effect of coating treatment on soluble solids content of "Zaosu" pears stored at room temperature (A) and low temperature (B)

由图3可知,贮藏期间早酥梨果实的SSC的变化趋势不明显。常温贮藏期间,对照与涂膜处理果实的SSC均呈现先升高后降低的趋势,涂膜处理果实SSC的高峰值较对照提前5 d,且含量明显高于对照(图3A)。而低温贮藏期间果实SSC基本呈现上升趋势,且涂膜处理组均明显高于对照(图3B)。

2.2.4 对早酥梨还原糖含量的影响

由图4可知,早酥梨贮藏期间还原糖含量的变化趋势不同温度条件下存在明显差异。常温条件下贮藏25 d,涂膜组还原糖含量较对照高出1.5%(图4A)。低温贮藏的果实在低温贮藏30 d后常温放置7 d后,涂膜处理组果实

还原糖含量显著高于对照组。在第90天时果实还原糖含量达到最大值,随后呈现下降趋势(图4B)。

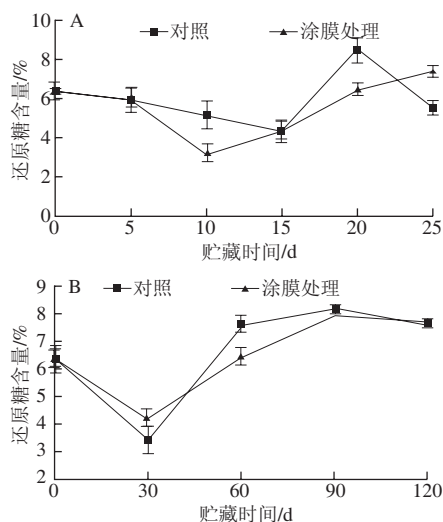


图4 涂膜处理对常温(A)和低温(B)贮藏早酥梨还原糖含量的影响
Fig.4 Effect of coating treatment on reducing sugar content of "Zaosu" pears stored at room temperature (A) and low temperature (B)

2.2.5 对早酥梨TA含量的影响

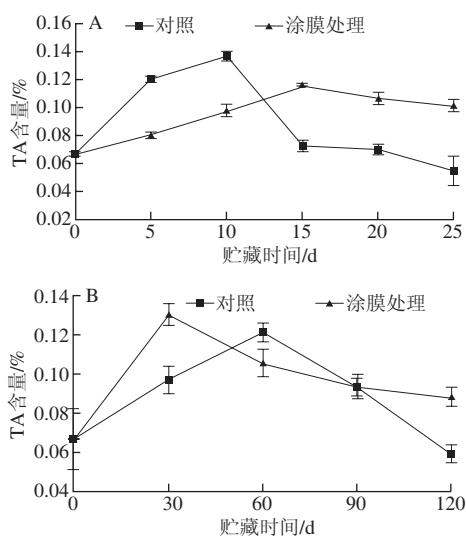


图5 涂膜处理对常温(A)和低温(B)贮藏早酥梨TA含量的影响
Fig.5 Effect of coating treatment on titratable acid content of "Zaosu" pears stored at room temperature (A) and low temperature (B)

早酥梨贮藏期间TA含量总体呈现先升高后下降的趋势(图5)。常温贮藏条件下对照组TA含量在第10天达到最大,然后迅速下降,到贮藏末期(第25天)时,其总酸含量降低到了0.05%,而涂膜组在第15天后达到最大值后始终保持在较高状态。低温贮藏条件下涂膜组在30 d时TA含量达到最大,随后随着贮藏期的延长,果实中TA含量逐渐降低,但在贮藏末期(120 d)涂膜组果实中TA含量仍高于对照。

2.2.6 对早酥梨腐烂及黄化指数的影响

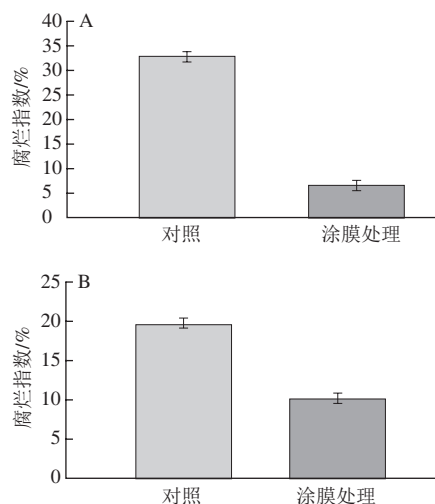


图6 涂膜处理对常温贮藏25 d (A)和低温贮藏120 d (B)早酥梨腐烂指数的影响

Fig.6 Effect of coating treatment on rotting index of "Zaosu" pears stored at room temperature (A) and low temperature (B)

涂膜处理对早酥梨贮藏中腐烂的发生具有一定的控制作用(图6),常温条件下贮藏25 d后保鲜膜处理组腐烂指数仅为对照的20.34%(图6A)。低温贮藏4个月(120 d)时,对照果实腐烂指数高达19.63%,而相同条件下保鲜膜处理的腐烂指数仅为10.16%(图6B)。

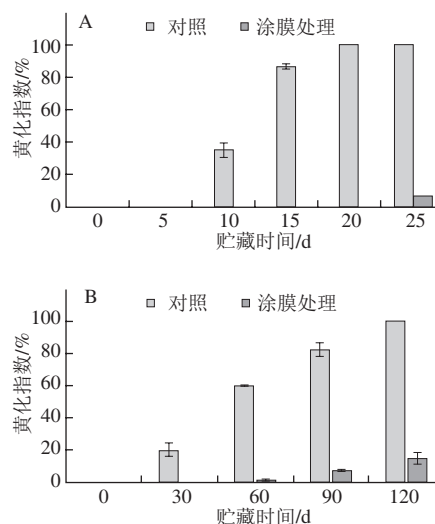


图7 涂膜处理对常温(A)和低温(B)贮藏早酥梨黄化指数的影响
Fig.7 Effect of coating treatment on yellowing index of "Zaosu" pears stored at room temperature (A) and low temperature (B)

从图7可以看出,常温贮藏20 d后对照组黄化指数就达到了100%,即已失去了其商品价值,而涂膜处理的早酥梨贮藏25 d后表皮才开始黄化(图7A)。低温贮藏条件下涂膜处理早酥梨果皮黄化指数整个贮藏期均显著低于对照(图7B)。

2.2.7 对早酥梨叶绿素含量的影响

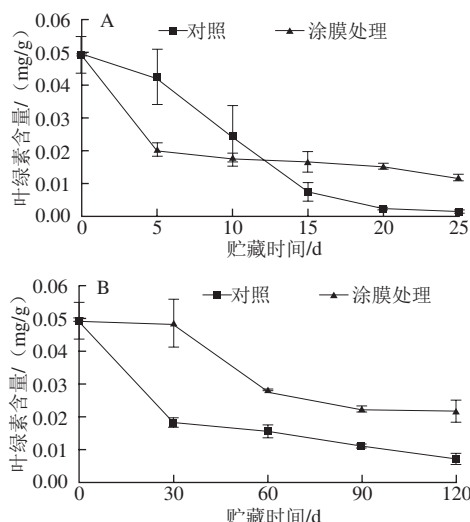


图8 涂膜处理对常温(A)及低温(B)贮藏早酥梨叶绿素含量的影响
Fig.8 Effect of coating treatment on chlorophyll content of "Zaosu" pears stored at room temperature (A) and low temperature (B)

由图8可知,无论是常温还是低温贮藏,对照与涂膜处理早酥梨的叶绿素含量变化趋势大致相同,均随着贮藏期的延长而降低,涂膜处理能有效地延缓果实叶绿素的下降。常温条件下对照组果实叶绿素含量从第5天开始急剧下降,到20 d后几乎已检测不到叶绿素,涂膜处理果实叶绿素含量虽然前期有所降低,但后期基本保持恒定(图8A)。低温贮藏条件下涂膜与对照果实的叶绿素含量变化趋势基本一致,但涂膜处理果实的叶绿素含量贮藏期间始终高于对照(图8B),这与上述果实黄化指数的变化一致。

2.3 涂膜处理对早酥梨表皮形态结构的影响

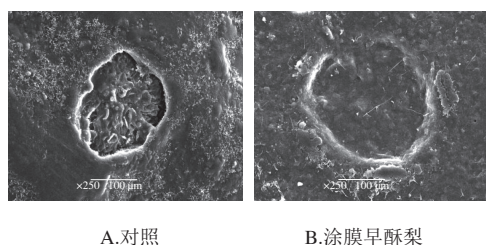


图9 涂膜处理对早酥梨表皮形态结构的影响

Fig.9 Effect of coating treatment on peel morphology of "Zaosu" pears

扫描电子显微镜观察发现,对照果实表皮覆有蜡质晶体,且有明显的皮孔(图9A),而经涂膜处理后表皮保护层增厚,且有效地封闭了果实表皮的皮孔(图9B),这样不但能阻止水分的蒸腾,而且减缓了果实内外进行的气体交换,造成气调环境,抑制呼吸作用进而减弱果实中的糖类、酸类等营养物质消耗,最终达到保鲜果实的作用。

3 讨论

果实表面覆有一层具疏水特性的蜡质,因此要提高涂膜的均一性,防止放置后膜不再发生脱落,保鲜膜配方的优化则显得尤为重要。本研究发现马铃薯变性淀粉具有较好的成膜性和稳定性,但同时正交试验分析表明膜助剂单甘酯对膜的特性及早酥梨贮藏品质的影响最为显著。同样Fakhoury等^[17]在制备树薯淀粉与凝胶可食膜时发现增塑剂山梨醇在提高膜的抗张强度和延伸性方面优于甘油;Kim等^[18]研究了高羧甲基淀粉膜,发现随增塑剂山梨醇、木糖醇和甘露醇添加量的增大,膜的抗拉强度和伸长率增加,透湿率和溶解度下降,添加复合增塑剂可提高膜的抗张强度。可见涂膜助剂的选择及其添加比例的筛选对膜特性和保鲜效果具有重要的影响。

涂膜处理能有效维持果蔬的采后品质,延长货架期。最佳马铃薯变性淀粉基涂膜液处理可显著地降低常温和低温贮藏期间早酥梨质量损失率,维持果实的硬度,且低温条件下硬度下降速度慢于常温,这与李锋^[19]、孙希生^[20]等在砀山酥梨上的研究结果一致。同样Arnon等^[9]研究表明羧甲基纤维素与壳聚糖混合涂膜可增加柑橘果实的硬度,但却发现对果实质量损失率影响不大;Zhou Ran等^[21]等发现用Semperfresh™复合涂膜剂处理可通过降低果实细胞壁降解酶而保持黄花梨果实的脆度和硬度。涂膜处理效果因果蔬产品种类、涂膜剂而异。另外马铃薯变性淀粉基保鲜膜还能有效地降低早酥梨贮藏期间的腐烂率,这一结果与可食膜处理对番茄^[22]、草莓^[23]腐烂控制的结果一致,说明可食膜处理可通过直接抑菌或阻止病原侵染而降低腐烂的发生。马铃薯变性淀粉基涂膜处理能显著地降低早酥梨的黄化指数,延缓叶绿素降解速度常温贮藏期间,对照组在贮藏15 d时开始变黄,第20天时几乎完全变黄,叶绿素基本全部降解。而涂膜处理能够有效达到保绿效果,这与辣椒^[24]、黄瓜^[25]等果实的研究结果相同,这可能是由于淀粉涂膜处理后可以显著抑制呼吸作用,延缓果实叶绿素的降解,保持果实原有的色泽。可见马铃薯变性淀粉基保鲜膜在采后果蔬保鲜中具有潜在的应用前景,但有关其保鲜机理及采后规模化应用技术规范尚需进一步研究。

4 结论

马铃薯变性淀粉基保鲜膜的最佳配方为4.00%氧化醋酸酯淀粉、0.50%单甘酯、0.50%β-环糊精、2.00%甘油、0.50%棕榈酸。各因素对早酥梨综合指标影响的主次顺序为单甘酯添加量>β-环糊精添加量>甘油添加量>棕榈酸添加量>氧化醋酸酯淀粉添加量。进一步方差分析结果表明单甘酯对添加量早酥梨贮藏品质的影响最为

显著。最佳马铃薯变性淀粉基涂膜液处理可显著地降低常温贮藏25 d和低温贮藏120 d早酥梨质量损失率、腐烂指数以及黄化指数,延缓果实中叶绿素含量的下降,同时涂膜处理有效地抑制了果实在贮藏期间还原糖、有机酸含量的下降。涂膜处理还可有效地封闭果实表皮的皮孔,以阻止水分的蒸腾、减缓果实内外气体交换,达到保鲜的目的。

参考文献:

- [1] ZHANG Haixia, BI Yang, LI Yongcai, et al. Effect of 1-MCP on postharvest yellowing and quality of Asia pear (*Pyrus bretschneideri* Rehd. cv. Early Crisp) during ambient storage[J]. *Acta Horticulturae*, 2010, 876: 243-247.
- [2] LI Yongcai, YIN Yan, BI Yang, et al. Effect of riboflavin on postharvest disease of Asia pear and the possible mechanisms involved[J]. *Phytoparasitica*, 2012, 40: 261-268.
- [3] YIN Yan, BI Yang, LI Yongcai, et al. Use of thiamine for controlling *Alternaria alternata* postharvest rot in Asian pear (*Pyrus bretschneideri* Rehd. cv. Zaosu)[J]. *International Journal of Food Science and Technology*, 2012, 47: 2190-2197.
- [4] 李玉梅, 李梅, 王学喜. 3种保鲜剂对常温贮藏早酥梨保鲜效果的影响[J]. *甘肃农业科技*, 2009(8): 16-18.
- [5] 吴利华, 董冬梅. 保鲜剂和保鲜膜对早酥梨保鲜效果的影响[J]. *甘肃农业科技*, 2010(6): 17-19.
- [6] 段丹萍, 鲁丽莎, 王海宏, 等. 果蔬涂膜保鲜技术研究现状与应用前景[J]. *保鲜与加工*, 2009(6): 1-5.
- [7] 张霁红. 果蔬采后涂膜保鲜处理技术[J]. *甘肃农业科技*, 2005(8): 31-33.
- [8] FALGUERA V, QUINTERO J P, JIMENEZ A, et al. Edible films and coatings: structures, active functions and trends in their use[J]. *Trends in Food Science and Technology*, 2011, 22: 292-303.
- [9] ARNON H, ZAITSEV Y, PORAT R, et al. Effects of carboxymethyl cellulose and chitosan bilayer edible coating on postharvest quality of citrus fruit[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2014, 87(1): 21-26.
- [10] FAGUNDES C, PALOU L, MONTEIRO A R, et al. Effect of antifungal hydroxypropyl methyl cellulose-beeswax edible coatings on gray mold development and quality attributes of cold-stored cherry tomato fruit[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2014, 92(1): 1-8.
- [11] JIMENEZ A, FABRA M J, TALENS P, et al. Edible and biodegradable starch films: a review[J]. *Food and Bioprocess Technology*, 2012, 5(6): 2058-2076.
- [12] GARCIA M A, MARINO M N. Starch-based coatings: effect on refrigerated strawberry (*Fragaria ananassa*) quality[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 1998, 76(3): 411-420.
- [13] 刘尚军, 李霞. 大豆分离蛋白/淀粉复合涂膜对白蘑菇贮藏品质的影响[J]. *农产品加工*, 2008(9): 76-78.
- [14] 林鸳鸯, 郑宝东, 曾绍校, 等. 可食性莲子淀粉涂膜对鲜切菠萝品质的影响[J]. *福建农林大学学报: 自然科学版*, 2011, 40(2): 205-210.
- [15] 于小磊, 郭雪松. 以变性淀粉为基质涂膜保鲜液的制备与应用研究[J]. *中国农学通报*, 2012, 28(18): 276-281.
- [16] 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.
- [17] FAKHOURY F M, MARTELLI S M, BERTAN L C, et al. Edible films made from blends of manioc starch and gelatin: influence of different types of plasticizer and different levels of macromolecules on their properties[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2012, 49(1): 149-154.
- [18] KIM K W, KO C J, PARK H J. Mechanical properties, water vapor permeabilities and solubilities of highly carboxymethylated starch-based edible films[J]. *Food Engineering and Physical Properties*, 2002, 67(1): 218-222.
- [19] 李锋. 1-MCP对丰水梨常温贮藏的影响[J]. *北方园艺*, 2008(4): 252-254.
- [20] 孙希生, 王文辉, 李志强, 等. 1-MCP对砀山酥梨保鲜效果的影响[J]. *保鲜与加工*, 2001(6): 14-17.
- [21] ZHOU Ran, LI Yunfei, YAN Liping, et al. Effect of edible coatings on enzymes, cell-membrane integrity, and cell-wall constituents in relation to brittleness and firmness of Huanghua pears (*Pyrus pyrifolia* Nakai, cv. Huanghua) during storage[J]. *Food Chemistry*, 2011, 124(2): 569-575.
- [22] FAGUNDES C, PEREZ-GAGO M B, MONTEIRO A R, et al. Antifungal activity of food additives *in vitro* and as ingredients of hydroxypropyl methylcellulose-lipid edible coatings against *Botrytis cinerea* and *Alternaria alternata* on cherry tomato fruit[J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2013, 166(3): 391-398.
- [23] GOL N B, PATEL P R, RAO T V R. Improvement of quality and shelf-life of strawberries with edible coatings enriched with chitosan[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2013, 85(2): 185-195.
- [24] 岳晓华. 可食性壳聚糖-淀粉复合膜的研究[J]. *食品科学*, 2004, 25(1): 7-10.
- [25] 袁唯, 邵金良, 焦凌梅, 等. 壳聚糖涂膜处理黄瓜保鲜作用的研究[J]. *中国食品添加剂*, 2005(4): 18-21.