

复合保鲜剂对鲜切山药保鲜效果的影响

Effect of compound preservative on Fresh-keeping of fresh-cut yam

王梅 徐俐 王美芬 汤静

WANG Mei XU Li WANG Mei-fen TANG Jing

(贵州大学酿酒与食品工程学院, 贵州 贵阳 550025)

(School of Liquor and Food Engineering, Guizhou University, Guiyang, Guizhou 550025, China)

摘要:为了延缓鲜切山药的褐变和品质劣变,延长保鲜期。从洋葱中提取洋葱油,结合保鲜剂柠檬酸和壳聚糖,以色差 L^* 值和感官评分为考察指标,在单因素试验的基础上进行正交试验,筛选适合鲜切山药保鲜的复合保鲜剂配方。结果表明:鲜切山药最佳保鲜剂组合为 0.6% 洋葱油+1.0% 柠檬酸+1.0% 壳聚糖,与清水处理相比,该组合可显著抑制鲜切山药贮藏过程中多酚氧化酶(PPO)和过氧化物酶(POD)的活性,降低鲜切山药的相对电导率和丙二醛(MDA)含量,延缓失重和软化,保持鲜切山药的亮度和总酚含量,维持鲜切山药可溶性固形物和还原糖含量,且具有较好的感官品质。与对照组相比,该复合保鲜剂可使鲜切山药保鲜期延长 6 d 左右。

关键词:鲜切山药;品质劣变;洋葱油;保鲜

Abstract: In order to control the browning and quality deterioration of fresh-cut yam and extend its shelf life. By using the onion oil extracted from onion, which was combined with citric acid and chitosan, taking the L^* values and sensory score as index, the formula of compound preservative for fresh-cut yam was optimized by single factor and orthogonal experiments. The results showed that the optimal formula of preservative for fresh-cut yam was 0.6% onion oil + 1.0% citric acid + 1.0% chitosan. This formula could significantly inhibit the activities of polyphenol oxidase (PPO) and peroxidase (POD), reduce relative conductivity and the accumulation of MDA content, delay weight loss and softening, keep brightness and total phenol content, maintain the content of total soluble solid, soluble sugar and reducing sugar, and has better sensory quality. This formula extended the shelf life of fresh-cut yam about 6 d compared with the control group.

基金项目:国家星火计划项目(编号:2012GA820001)

作者简介:王梅,女,贵州大学在读硕士研究生。

通信作者:徐俐(1963—),女,贵州大学教授。

E-mail:gzdxuli@tom.com

收稿日期:2016—08—05

Keywords: fresh-cut yam; quality deterioration; onion oil; preservation

山药(*Chinese yam*)为薯蓣科(*Dioscorea*)多年生草本藤蔓植物的根茎^[1],含有丰富的多糖、黄酮、尿囊素等活性成分^[2],具有营养滋补、降低血糖、帮助消化、益肺止咳等功效^[3],是中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会公布的药食同源蔬菜之一。山药表皮多泥,去皮费时且渗出的黏液致痒,鲜切山药是指山药经过分级、整理、清洗、切分、包装等处理,并使产品保持生鲜状态的制品。鲜切山药具有新鲜营养、干净卫生、方便快捷等优点,深受消费者的喜爱。但山药在加工和贮藏过程中非常容易发生褐变和品质劣变,严重影响鲜切山药的食用价值和商品价值。

现今,果蔬的保鲜方法越来越倾向于天然保鲜剂保鲜^[4-5]。洋葱为百合科葱属植物,不仅营养丰富,更重要的是洋葱油中含有各种含硫化合物、类黄酮类化合物、含氮化合物等,使其具有较强的杀菌性和抗氧化性,同时还具有降血糖、降血脂、防癌抗癌等保健功能^[6-8]。大量试验^[9-12]已证明,洋葱油具有防褐变的功效,目前还未见洋葱油对鲜切山药保鲜效果的研究报道。柠檬酸可降低 pH,螯合 PPO 酶活性中心的金属离子,降低酶活性,从而抑制酶促褐变的发生^[13];壳聚糖由于具有良好的成膜性和抗菌性而被广泛用于鲜切山药的保鲜^[14-16]。本试验以山药和洋葱为原料,从洋葱中提取洋葱油,并结合柠檬酸和壳聚糖,通过单因素及正交试验筛选适合鲜切山药保鲜的复合保鲜剂配方,在此基础上,以清水处理为对照,探究优选配方对鲜切山药的保鲜效果,以期解决鲜切山药的褐变、软化、腐烂变质等问题,为鲜切山药的加工及贮藏保鲜提供新思路。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与试剂

新鲜铁棍山药、红皮洋葱:购于贵阳市花溪区徐家冲农

贸市场;

- 壳聚糖:脱乙酰度>90%,潍坊科海甲壳素有限公司;
- 柠檬酸:分析纯,天津市永大化学试剂有限公司;
- 福林酚:生化试剂,北京索莱宝科技有限公司;
- 邻苯二酚:分析纯,成都金山化学试剂有限公司;
- 俞创木酚:分析纯,天津市科密欧化学试剂有限公司;
- 硫代巴比妥酸:生化试剂,国药集团化学试剂有限公司;
- 三氯乙酸:分析纯,国药集团化学试剂有限公司;
- 石油醚(沸程 60~90 ℃)、过氧化氢 30%、无水乙醇:分析纯,天津富宇精细化工有限公司。

1.2 仪器与设备

- 测色色差计:WSC-S型,上海精密科学仪器有限公司;
- 型电子恒温水浴锅:DZKW-4型,余姚电讯仪表实业公司;
- 分析天平:METTLER AE100型,梅特勒-托利多仪器上海有限公司;
- 紫外可见分光光度计:T6型,北京普析通用仪器有限责任公司;
- 手持式折光仪:PAL-1型,广州市爱宕科学仪器有限公司;
- 台式高速冷冻离心机:TGL-20M型,长沙迈佳森仪器设备有限公司;
- 旋转蒸发仪:RE-5298型,上海亚荣生化仪器厂;
- 果实硬度计:FHM-1型,日本竹村电机制作所;
- 全温摇瓶柜:HYG-A型,太仓市实验设备厂;
- 电导率仪:DDS-11A型,上海虹益仪器仪表有限公司。

1.3 方法

1.3.1 洋葱油提取方法 新鲜洋葱切碎匀浆,常温下按 100 g 洋葱 40 mL 石油醚的比例浸提 9 h^[17],抽滤取滤液上层,减压蒸馏得到洋葱油,备用。

1.3.2 复合保鲜液的制备 称取一定质量的柠檬酸溶于蒸馏水,制得柠檬酸溶液。使用少量 25%食用酒精将一定质量的洋葱油溶解,再称取一定质量的壳聚糖溶于浓度为 1%的冰醋酸溶液中,室温条件下,用磁力搅拌棒搅拌壳聚糖溶液,使之完全溶解。将溶解后的洋葱油和壳聚糖加入柠檬酸溶液中,搅拌均匀,制得复合保鲜液,备用。

1.3.3 试样处理 挑选新鲜、色泽正常、无机械伤、无腐烂变质的山药为原材料,清洗,去皮,切分成 0.5 cm 左右的切片,随机分组,分别置于不同保鲜液中浸泡 15 min,以清水处理为对照(CK),取出晾干,分别置于四面有孔的塑料托盘中,用 0.02 mm 厚聚乙烯薄膜包装,每个样品重约 350 g,包装后于(4±1) ℃冷藏柜中贮藏备用。

1.3.4 单因素试验 在前期小试试验的基础上,以清水处理为对照,分别选用洋葱油、柠檬酸和壳聚糖对鲜切山药进行保鲜处理,做 3 因素 5 水平的单因素试验。

(1) 洋葱油浓度单因素试验:以清水处理为对照,洋葱油提取后,称取不同质量的洋葱油,分别溶于 2 mL 25%食用酒精,再用蒸馏水分别配制成浓度为 0.2%,0.4%,0.6%,0.8%,1.0%的洋葱油保鲜液。新鲜山药去皮切块后立即放入洋葱油保鲜液中浸泡 15 min,取出晾干,包装后于(4±1) ℃冷

藏柜中贮藏,6 d 后对样品的色差(L^* 值)、失重率和感官质量进行评价测定。每个处理重复 3 次,结果取平均值。

(2) 柠檬酸浓度单因素试验:以清水处理为对照,分别称取不同质量的柠檬酸,用蒸馏水配制成浓度为 0.5%,1.0%,1.5%,2.0%,2.5%的柠檬酸保鲜液。新鲜山药去皮切块后立即放入柠檬酸保鲜液中浸泡 15 min,取出晾干,包装后于(4±1) ℃冷藏柜中贮藏,6 d 后对样品的色差(L^* 值)、失重率和感官质量进行评价测定。每个处理重复 3 次,结果取平均值。

(3) 壳聚糖浓度单因素试验:以清水处理为对照,分别称取不同质量的壳聚糖,先用 1%的冰醋酸溶解后,再用蒸馏水配制成浓度为 0.5%,1.0%,1.5%,2.0%,2.5%的壳聚糖保鲜液。新鲜山药去皮切块后立即放入壳聚糖保鲜液中浸泡 15 min,取出晾干,包装后于(4±1) ℃冷藏柜中贮藏,6 d 后对样品的色差(L^* 值)、失重率和感官质量进行评价测定。每个处理重复 3 次,结果取平均值。

1.3.5 正交试验 在单因素试验的基础上,以鲜切山药贮藏 6 d 后的 L^* 值和感官评分的综合指标(通过 L^* 值和感官评分加权平均得到,加权系数分别为 0.5,0.5)为评价指标,筛选鲜切山药最优保鲜剂配方。

1.4 测定指标与方法

1.4.1 贮藏效果的测定

- (1) 失重率:称重法。
- (2) 硬度:参照文献^{[18]3-5}。

(3) 切面颜色:采用色差计测定,选取鲜切山药片的正中央部位进行测定,每个处理组随机选取 18 片,测量正反面($n=36$)求其平均值,结果以 L^* 值表示, L^* 值代表亮度,其值越大,表示白度越大,褐变度越轻,反之褐变越重。

1.4.2 营养指标

- (1) 可溶性固形物(TSS):采用手持折光仪测定^{[18]20-22}。
- (2) 还原糖含量:3,5-二硝基水杨酸法^{[18]25-27}。

1.4.3 生理及酶活性指标

- (1) 总酚:参照文献^[19]。
- (2) 相对电导率:电导率仪测定^{[18]83-84}。
- (3) 丙二醛:硫代巴比妥酸法^{[18]85-86}。
- (4) 多酚氧化酶(PPO)活性:采用邻苯二酚法^{[18]94-95}。
- (5) 过氧化物酶(POD)活性:采用愈创木酚法^{[18]71-72}。

1.4.4 感官评定 由 10 名专业人员根据产品的外观、颜色、质地、风味和腐烂情况进行感官评价,每 3 d 评定一次,感官评定标准见表 1。

表 1 鲜切山药感官评分标准

Table 1 Sensory evaluation standards for fresh-cut yam

等级分数	评分标准
一等(90~100)	无褐变、无腐烂、质地良好
二等(80~89)	颜色不均匀,无腐烂,质地稍有软化
三等(70~79)	轻微褐变和腐烂,质地变软
四等(60~69)	褐变及腐烂较严重,质地软化
五等(<60)	严重褐变和腐烂,呈黑褐色,组织软化

1.5 数据分析

采用 Excel 2007 进行数据统计及标准偏差的计算; Origin 9.0 制图; SPSS 17.0 进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 各种不同浓度保鲜液对鲜切山药 L^* 值、失重率和感官评分的影响

由图 1(a)可知,当洋葱油浓度为 0.2%~0.8%时,鲜切山药 L^* 值逐渐增大,0.8%洋葱油处理 L^* 值最大,亮度最好,1.0%洋葱油处理 L^* 值则降为最低,可能是洋葱油的淡红色对鲜切山药的颜色产生了干扰;鲜切山药的亮度与柠檬酸浓度呈正相关,柠檬酸浓度越大,鲜切山药亮度也越大;当壳聚糖浓度为 1.5%时,鲜切山药亮度最大。贮藏 6 d 时,对照组 L^* 值为 68.95,比各处理组低,说明与对照组相比,各保鲜剂一定程度上均能保持鲜切山药的亮度。

由图 1(b)可知,随着保鲜剂浓度增大,鲜切山药失重率逐渐减小,当洋葱油浓度达到 0.6%时,能显著降低鲜切山药的失重率;当柠檬酸和壳聚糖浓度达到 1.5%时,能较好地抑

图 1 不同保鲜剂处理对鲜切山药 L^* 值、失重率和感官评分的影响

Figure 1 Effects on L^* values weight loss rate and sensory score of fresh-cut yam treated with various preservation solutions

制鲜切山药的失重;贮藏 6 d 时,对照组失重率为 1.74%,高于各保鲜剂处理组,表明各保鲜剂处理可减少鲜切山药水分的散失,延缓失重。

由图 1(c)可知,当洋葱油浓度为 0.6%,柠檬酸浓度为 2.0%,壳聚糖浓度为 1.5%时,鲜切山药感官评分最高,分别为 91.7,91.0,91.2 分,试验选用的洋葱油浓度较低,对鲜切山药的风味几乎无影响;贮藏 6 d 时,对照组感官评分为 80.3,低于各保鲜剂处理组,表明各保鲜剂在一定程度上均能保持鲜切山药的感官品质。

综合以上,当洋葱油浓度为 0.8% 时,鲜切山药亮度保持较好,浓度为 0.6% 时,失重较低且感官评分较高;在 0.5%~2.5% 浓度范围内,柠檬酸浓度越高,鲜切山药的亮度保持越好,失重率越低,当柠檬酸浓度为 1.5% 和 2.0% 时,鲜切山药感官评分较高;在 0.5%~2.5% 浓度范围内,壳聚糖浓度越高,鲜切山药失重率越低,当壳聚糖浓度为 1.5% 时,鲜切山药的亮度保持较好且感官评分较高。由此,选取正交试验的浓度水平为洋葱油 0.4%,0.6%,0.8%;柠檬酸 1.0%,1.5%,2.0%;壳聚糖 1.0%,1.5%,2.0%。

2.2 鲜切山药保鲜配方的筛选

在单因素试验的基础上,选取保鲜效果较好的浓度水平进行 $L_9(3^4)$ 正交试验,正交试验因素水平见表 2,正交试验结果和方差分析分别见表 3、4,正交试验综合指标值越大,保鲜效果越好,结合表 3、4 可知,各因素对鲜切山药保鲜效果

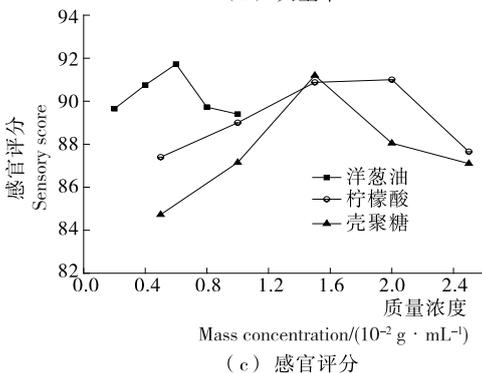
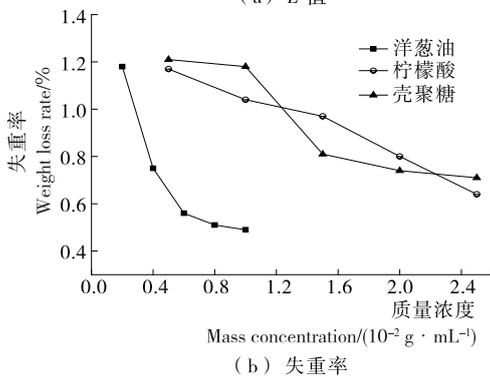
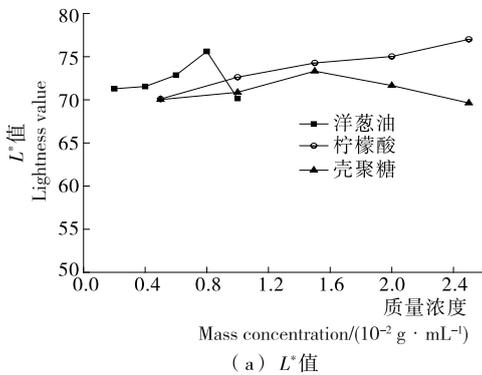
表 2 正交试验因素水平表

水平	A 柠檬酸/%	B 洋葱油/%	C 壳聚糖/%
1	1.0	0.4	1.0
2	1.5	0.6	1.5
3	2.0	0.8	2.0

表 3 鲜切山药复合保鲜正交试验结果

Table 3 Results of orthogonal test for compound preservation of fresh-cut yam

试验号	A	B	C	L^* 值	感官评分	综合指标
1	1	1	1	78.79	92.50	85.65
2	1	2	2	75.83	96.75	86.29
3	1	3	3	75.92	95.25	85.59
4	2	1	2	75.81	92.75	84.28
5	2	2	3	77.61	95.00	86.31
6	2	3	1	76.31	95.00	85.66
7	3	1	3	75.46	91.75	83.61
8	3	2	1	76.82	96.00	86.41



9	3	3	2	77.89	91.25	84.57
K_1	85.84	84.51	85.90			
K_2	85.41	86.34	85.05			
K_3	84.86	85.27	85.17			
R	0.98	1.82	0.86			
优化水平	A_1	B_2	C_1			

表4 正交试验结果方差分析[†]

Table 4 Variance analysis of orthogonal test results

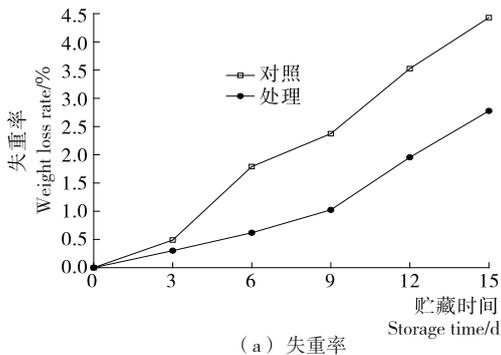
变异来源	SS	df	MS	F	显著性
A	1.444	2	0.722	8.510	
B	5.042	2	2.521	29.729	*
C	1.293	2	0.647	7.623	
误差	0.170	2	0.085		
总变异	7.949	8			

[†] *表示显著, $P < 0.05$ 。

的影响主次为 $B > A > C$, 即洋葱油的影响最大, 具有显著性 ($P < 0.05$), 其次为柠檬酸, 壳聚糖影响最小, 与单一保鲜剂相比, 复合保鲜剂处理使鲜切山药的亮度更高, 感官品质更好。鲜切山药最优保鲜剂配方为 $A_1 B_2 C_1$, 即 1.0% 柠檬酸, 0.6% 洋葱油和 1.0% 壳聚糖, 以此配方进行 3 个重复验证实验, 测得综合指标平均值为 87.95, 大于正交试验任何处理组, 进一步证实了正交试验结果的可靠性。

2.3 最优复合保鲜剂对鲜切山药贮藏效果的影响

由图 2(a)可知, 整个贮藏过程中, 鲜切山药的失重率逐渐上升, 其中以对照组的失重率变化较大, 与处理组相比差异极显著 ($P < 0.01$), 第 15 天时, 对照组失重率达 4.43%, 而处理组仅为 2.78%, 产生此差异的主要原因可能是处理组经复合保鲜液浸泡后, 在样品表面形成一层薄膜, 可防止水分的挥发, 从而降低失重率, 保持产品的新鲜度。由图 2(b)可知, 鲜切山药经复合保鲜剂处理后, 硬度保持较好, 整个贮藏期硬度值都比对照组高, 贮藏 15 d 时, 处理组硬度为初始硬度的 89.6%, 而对照组仅为初始硬度的 67.2%, 说明复合保



(a) 失重率

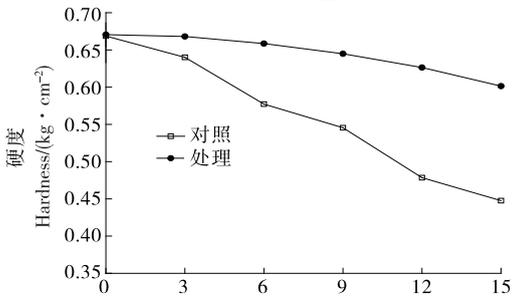


图2 复合保鲜剂对鲜切山药失重率和硬度的影响

Figure 2 Effects of compound preservative on weight loss rate and hardness of fresh-cut yam

鲜剂处理可延缓鲜切山药硬度的下降, 一方面, 可能是鲜切山药经复合保鲜剂浸泡后在其表面形成一层薄膜, 可防止水分的蒸发散失, 维持鲜切山药的细胞膨压, 保持鲜切山药的硬度; 另一方面, 可能是洋葱油具有杀菌作用, 可防止微生物对鲜切山药结构的破坏, 从而保持鲜切山药的硬度, 也有可能是洋葱油中的活性物质抑制了果胶酶的活性, 减缓了细胞壁的降解。

山药切分后组织结构受到损伤, 细胞完整性遭到破坏, 酶与底物的区域化结构被破坏, 导致酶与底物直接接触, 在空气中 O_2 的作用下很容易发生酶促褐变。由图 3 可知, 随着贮藏时间的延长, 鲜切山药的褐变逐渐加深, 特别是对对照组的褐变较为严重, L^* 值一直低于处理组, 贮藏 15 d 时, 对照组 L^* 值与初始值相比下降了 26.0%, 与处理组相比差异极显著 ($P < 0.01$), 说明洋葱油与柠檬酸和壳聚糖复合涂膜可显著抑制鲜切山药的褐变。一方面, 可能是洋葱油中的含硫化合物, 特别是二硫化物和三硫化物对鲜切果蔬具有防褐变作用^[20]; 另一方面, 柠檬酸可螯合 PPO 酶活性中心的金属离子, 使发生褐变的关键酶活性降低, 防止褐变的发生; 而壳聚糖具有良好的成膜性, 可在鲜切山药表面形成一层薄膜, 阻止空气中 O_2 与酶促褐变的底物直接接触, 同样可防止褐变的发生。

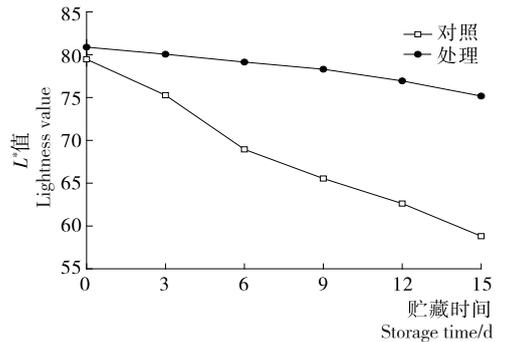


图3 复合保鲜剂对鲜切山药 L^* 值的影响

Figure 3 Effects of compound preservative on L^* values of fresh-cut yam

2.4 最优复合保鲜剂对鲜切山药营养成分的影响

果蔬采后仍然是一个活的生命体, 呼吸作用仍在进行, 但其失去了外界的营养和能源的供应, 只能靠消耗自身的营养物质来提供能量和延续生命, 这个过程糖类物质被大量氧化分解。由表 5 可知, 鲜切山药贮藏过程中可溶性固形物和还原糖含量均呈先降低后略有升高的变化趋势, 分析其原因主要是山药切割后受到机械损伤, 呼吸作用增强, 营养物质被消耗, 使其含量降低, 而贮藏后期则由于水分蒸发损失、淀粉等大分子物质的降解导致含量略有上升, 但无论是可溶性固形物还是还原糖, 处理组含量均比对照组高, 可能是复合保鲜剂涂膜可抑制鲜切山药的呼吸强度和微生物的生长, 从而降

低消耗,保持鲜切山药各营养成分的含量,其中可溶性固形物含量在贮藏的前 6 d,对照组与处理组差异不显著($P>0.05$),第 9~15 天,差异显著($P<0.05$);还原糖含量从贮藏的第 6 天开始,对照组与处理组差异显著($P<0.05$)。

表 5 贮藏期间鲜切山药可溶性固形物和还原糖含量的变化[†]

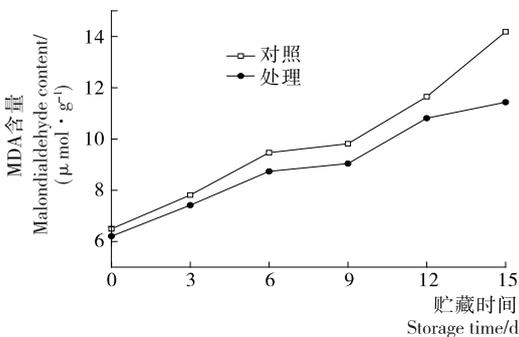
Table 5 Changes of contents on total soluble solid and reducing sugar of fresh-cut yam during storage ($n=3$) %

贮藏时 间/d	可溶性固形物		还原糖	
	对照	处理	对照	处理
0	6.31±0.09 ^a	6.30±0.03 ^a	1.41±0.01 ^a	1.42±0.01 ^a
3	6.09±0.25 ^a	6.10±0.06 ^a	1.23±0.04 ^a	1.28±0.02 ^a
6	5.84±0.15 ^a	6.00±0.05 ^a	1.06±0.06 ^a	1.27±0.02 ^b
9	5.44±0.10 ^a	5.83±0.06 ^b	1.00±0.02 ^a	1.19±0.01 ^b
12	2.98±0.05 ^a	3.96±0.03 ^b	1.07±0.04 ^a	1.27±0.01 ^b
15	3.07±0.05 ^a	4.51±0.05 ^b	1.13±0.02 ^a	1.28±0.01 ^b

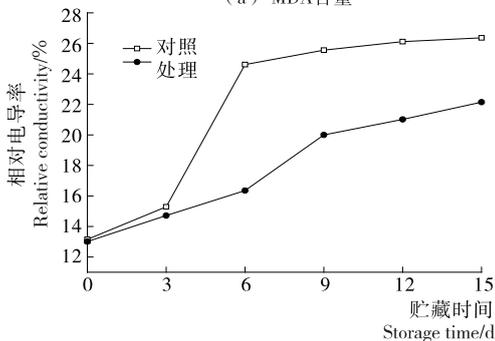
† 同行不同字母表示显著性差异($P<0.05$)。

2.5 最优复合保鲜剂对鲜切山药生理及酶活性的影响

丙二醛(MDA)是植物衰老过程中膜脂过氧化作用的产物,其含量的多少可反映植物的衰老和膜脂过氧化程度^[21]。MDA 可与细胞内各种成分发生反应,使多种酶和膜系统遭受损伤,从而使电导率升高,加速植物衰老。图 4 中,鲜切山药 MDA 含量和相对电导率均呈上升趋势变化,且对照组的 MDA 含量和相对电导率均比处理组高,表明洋葱油复合保鲜剂处理可保持鲜切山药的细胞膜透性,延缓组织衰老,保持产品新鲜度。由图 4(a)可知,贮藏的前 12 d,对照组与处理组 MDA 含量变化速率相差不大,但贮藏至 15 d 时,对照组含量大幅度上升,达 $14.19 \mu\text{mol/g}$,鲜切山药严重衰老。



(a) MDA 含量



(b) 相对电导率

图 4 复合保鲜剂对鲜切山药 MDA 含量和相对电导率的影响

Figure 4 Effects of compound preservative on MDA content and relative conductivity of fresh-cut yam

图 4(b)中,对照组贮藏至 6 d 时,相对电导率大幅度上升,比初始值上升了 87.1%,随后变化相对缓慢,而处理组于贮藏的第 9 天上升较大,之后变化也较为平缓,主要是因为贮藏后期鲜切山药已严重褐变和衰老,几乎失去生命活性,所以相对电导率变化较为平缓。

酚类物质是果蔬中含量最多的次生代谢产物之一,也是酶促褐变的关键底物。酚类物质一般在果蔬生长发育中合成,但若采后处理不当造成机械损伤,或在胁迫环境中也能诱导酚类物质的合成^[22]。如图 5 所示,山药切分后,由于机械损伤和环境胁迫等逆境导致酚类物质大量合成,于贮藏的第 12 天达到高峰,随后酚类物质因为氧化而降低,呈现先增大后减小的变化趋势,此变化趋势与谭谊谈等^[23]的研究结果相似。可能是对照组酶促褐变较为严重的原因,整个贮藏过程中对照组总酚含量均低于处理组,贮藏 15 d 时,处理组总酚含量比对照组高 18.7%,说明此最优复合保鲜剂可抑制鲜切山药酶促褐变,保持鲜切山药贮藏过程中总酚的含量。

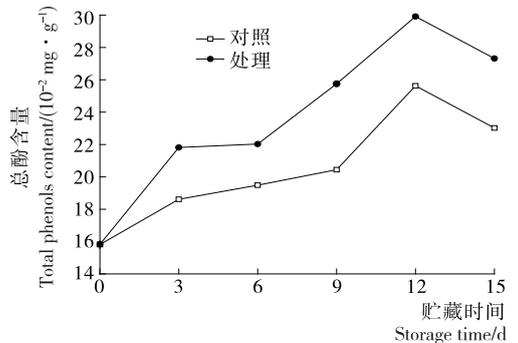


图 5 复合保鲜剂对鲜切山药总酚含量的影响

Figure 5 Effect of compound preservative on total phenols content of fresh-cut yam

多酚氧化酶(PPO)和过氧化物酶(POD)广泛存在于植物细胞中,是果蔬中酚类代谢的关键酶类,其活性与果蔬的褐变显著相关^[24]。PPO 在空气中氧气的作用下可催化果蔬中酚类物质氧化成醌,醌再进一步聚合成褐色素,导致果蔬褐变,而 POD 在 H_2O_2 存在条件下能迅速氧化酚类物质,同样导致果蔬褐变。果蔬切割后,PPO 和 POD 酶活性增加,酚酶区域化结构遭到破坏,很容易发生褐变^[25]。图 6 表明,鲜切山药从贮藏的第 3 天开始,PPO 和 POD 活性快速增加,对照组 PPO 和 POD 活性均于贮藏的第 6 天达到高峰,与对照组不同的是,鲜切山药经复合保鲜剂处理后,可推迟 PPO 和 POD 活性高峰的到来,于贮藏的第 9 天到达活性高峰,且峰值均低于对照组,其中 PPO 活性高峰比对照组低 18.5%,POD 活性高峰比对照组低 31.5%,表明复合保鲜剂涂膜可抑制鲜切山药 PPO 和 POD 酶活性,从而抑制鲜切山药的褐

变。图6(a)中,对照组鲜切山药PPO活性达到活性高峰期,其值迅速减小,比处理组还低,其原因可能是:一方面,鲜切山药贮藏6d时,褐变已经很严重,且试验过程中发现样品已开始逐渐腐烂,逐渐失去生命体征;另一方面,可能是贮藏后期PPO活性中的自杀性失活^[26]。与PPO酶活性的变

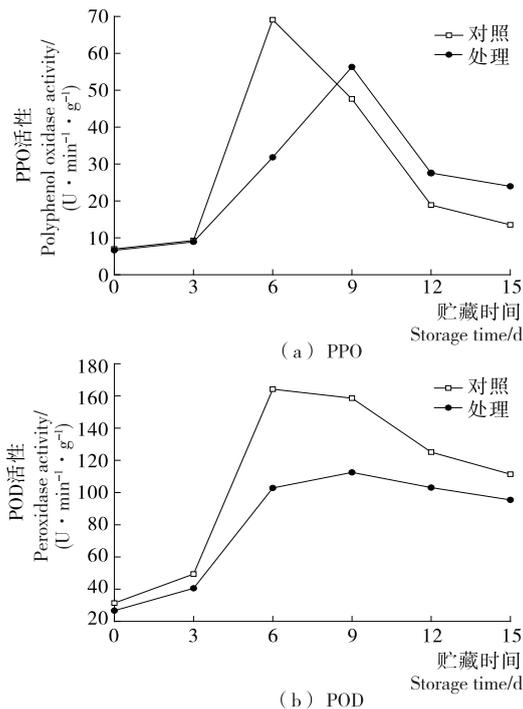


图6 复合保鲜剂对鲜切山药PPO和POD活性的影响
Figure 6 Effects of compound preservative on PPO and POD activities of fresh-cut yam

化趋势相比,POD酶活性的变化相对平缓,推测导致鲜切山药发生褐变的主要酶是PPO酶。

2.6 最优复合保鲜剂对鲜切山药感官评分的影响

感官评分是对鲜切山药贮藏期间品质好坏的一个直观评价指标,如图7所示,鲜切山药贮藏期间感官品质不断下降,贮藏至15d时,对照组与处理组均失去食用价值,其中贮藏至第6天时,对照组评分为80.5分,与处理组相比差异显著($P < 0.05$),并开始发生褐变和腐烂,失去食用价值,而处理组于贮藏的12d才开始发生褐变和腐烂,说明筛选出的复合保鲜剂配方能较好地抑制鲜切山药的褐变和腐烂变质,保持鲜切山药良好的感官品质。与对照组相比,复合保鲜剂处理可延长鲜切山药保鲜期6d左右。

3 结论

在 $(4 \pm 1)^\circ\text{C}$ 的冷藏条件下,通过单因素和正交试验筛选出适合鲜切山药保鲜的复合保鲜剂配方为0.6%洋葱油+

图7 鲜切山药贮藏期间的感官评分

Figure 7 Sensory score of fresh-cut yam during storage

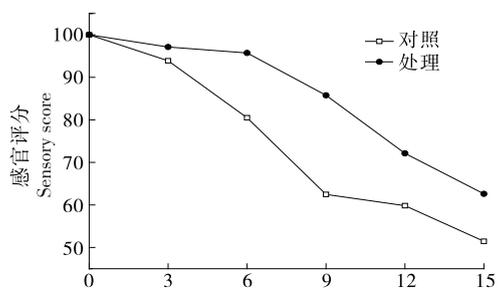
1.0%柠檬酸+1.0%壳聚糖,其中洋葱油对鲜切山药保鲜效果的影响较为显著($P < 0.05$),其次为柠檬酸,壳聚糖影响最小,复合涂膜具有互补性,比单一保鲜剂处理效果好。

贮藏过程中,鲜切山药的硬度逐渐降低,褐变度逐渐增大,且均以对照组的变化较快,这与前人对鲜切茄子^[27]和鲜切马铃薯^[28]的研究结果一致。与清水处理相比,复合保鲜剂处理可显著抑制鲜切山药贮藏过程中多酚氧化酶(PPO)和过氧化物酶(POD)的酶活性,降低鲜切山药的相对电导率和丙二醛(MDA)含量,延缓衰老,保持鲜切山药的亮度和总酚含量。其中对照组于贮藏的第6天失去食用价值,而处理组贮藏至12d时,品质完好,营养成分含量相对较高,具有食用价值和商品价值,与对照组相比,复合保鲜剂涂膜可有效延长鲜切山药保鲜期6d左右。

褐变严重影响了鲜切果蔬的加工品质,限制了鲜切果蔬业的发展。因此,解决鲜切果蔬的褐变问题成为其扩大化生产的关键。与传统的化学保鲜剂相比,天然保鲜剂的绿色、安全及其环保性更易被消费者接受。本试验使用的天然提取物洋葱油对鲜切山药的褐变具有较好的抑制作用,洋葱油与柠檬酸和壳聚糖复合涂膜可显著延长鲜切山药的保鲜期。但要从根本上解决鲜切山药的褐变问题,还得从分子水平甚至是基因水平弄清楚鲜切山药的褐变机理,找出相关的褐变基因,应用生物技术从源头上解决鲜切山药的褐变问题。

参考文献

- [1] WANG Shu-jun, LIU Hong-yan, GAO Wen-yuan. Characterization of new starches separated from different Chinese yam (*Dioscorea opposita* Thunb.) cultivars[J]. Food Chemistry, 2006, 99(1): 30-37.
- [2] WANG Shu-jun, YU Jing-lin, GAO Wen-yuan, et al. New starches from traditional Chinese medicine (TCM)—Chinese yam (*Dioscorea opposita* Thunb.) cultivars[J]. Carbohydrate Research, 2006, 341(2): 289-293.
- [3] LI Meng-hua, KONG Wei-jun, LI Yan-jun, et al. High-throughput determination of multi-mycotoxins in Chinese yam and related products by ultra fast liquid chromatography coupled with tandem mass spectrometry after one-step extraction[J]. Journal of Chromatography B, 2016, 1022(14): 118-125.
- [4] ESPLEYR V, BUTTSC A, LAING W A, et al. Dietary flavonoids from modified apple reduce inflammation markets and modulate gut microbiota in mice[J]. Journal of Nutrition, 2014, 144(2): 146-154.
- [5] SUDHA G, PRIYA M S, SHREE R L, et al. In vitro free radical scavenging activity of raw pepino fruit (*solanum muricatum* Aiton)[J]. International Journal of Current Pharmaceutical Research, 2011, 3(2): 137-140.
- [6] SIDDIQ M, ROIDOUNG S, SOGI D S, et al. Total phenolics antioxidant properties and quality of fresh-cut onions (*Allium ce-*



- pal.) treated with mild-heat[J]. *Food Chemistry*, 2013, 136(2): 803-806.
- [7] ALBISHI T, JOHN J A, ALKHALIFA A S, et al. Antioxidative phenolic constituents of skins of onion varieties and their activities[J]. *Journal of Functional Foods*, 2013, 5(1): 191-203.
- [8] LEE B, JUNG J H, KIM H S. Assessment of red onion on antioxidant activity in rat[J]. *Food and Chemical Toxicology*, 2012, 50(11): 3912-3919.
- [9] 徐靖. 洋葱提取物的防褐变研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2005: 27-30.
- [10] LEE B, JEONG D S, RHEE J K, et al. Heated apple juice supplemented with onion has greatly improved nutritional quality and browning index[J]. *Food Chemistry*, 2016, 201(92): 315-319.
- [11] LEE M Y, LEE M K, PARK I. Inhibitory effect of onion extract on polyphenol oxidase and enzymatic browning of taro (*Colocasia antiquorum* var. *esculenta*) [J]. *Food Chemistry*, 2007, 105(10): 528-532.
- [12] 胡燕, 陈忠杰. 洋葱提取液对鲜切莲藕保鲜效果的研究[J]. *中国食品添加剂*, 2014(5): 166-170.
- [13] 李向红, 王建辉, 靳娜. 海藻酸钠复合膜对带壳鲜莲贮藏品质的影响[J]. *食品与机械*, 2015, 31(5): 169-173.
- [14] 刘峥颖, 吴广臣, 王庭欣. 壳聚糖保鲜食品的机理及其应用的研究[J]. *食品科学*, 2005, 26(8): 533-537.
- [15] 马利华, 秦卫东, 陈学红, 等. 可食性膜特性与鲜切山药涂膜保鲜效果的研究[J]. *食品工业科技*, 2013, 34(17): 326-333.
- [16] 王兰菊, 屠琼芳, 刘颖, 等. 壳聚糖涂膜对鲜切山药品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2009, 30(4): 309-311.
- [17] 刘焕云, 张香美. 溶剂法提取洋葱油的工艺研究[J]. *中国粮油学报*, 2006, 21(6): 123-125.
- [18] 王鸿飞, 邵兴锋. 果品蔬菜贮藏与加工实验指导[M]. 北京: 科学出版社, 2012.
- [19] 李静, 聂继云, 李海飞, 等. Folin-酚法测定水果及其制品中总多酚含量的条件[J]. *果树学报*, 2008, 25(1): 126-131.
- [20] DING C, CHACHIN K, UEDA Y, et al. Inhibition of polyphenol oxidase activity by sulfhydryl compounds[J]. *Food Chemistry*, 2002, 76(1): 213-218.
- [21] 张慧君, 宫春宇, 王文侠, 等. 壳聚糖涂膜保鲜菠菜研究[J]. *食品与机械*, 2011, 27(3): 112-115.
- [22] BOUDET A M. Evolution and current status of research in phenolic compounds[J]. *Phytochemistry*, 2007, 68(22): 2722-2735.
- [23] 谭谊谈, 曾凯芳. 抗坏血酸、半胱氨酸与氯化钙复合处理对鲜切芋艿褐变的影响[J]. *食品科学*, 2014, 35(4): 231-235.
- [24] MASSOLO J F, CONCELLONA A, CHAVESA A R, et al. 1-Methylcyclopropene (1-MCP) delays senescence, maintains quality and reduces browning of nonclimacteric eggplant (*Solanum melongena* L.) fruit[J]. *Postharvest Bio Tec*, 2011, 59(1): 10-15.
- [25] 罗海波, 何雄, 包永华, 等. 鲜切果蔬品质劣变影响因素及其可能机理[J]. *食品科学*, 2012, 33(15): 324-330.
- [26] 刘程惠, 胡文忠, 姜爱丽, 等. 不同贮藏温度下鲜切马铃薯的生理生化变化[J]. *食品与机械*, 2008, 24(2): 38-42.
- [27] 谢晶, 王肽, 杨胜平. 复合保鲜剂结合 MAP 对鲜切茄子贮藏品质的影响[J]. *食品与机械*, 2015, 31(4): 134-137.
- [28] 林顺顺, 李瑜, 祝美云, 等. 大豆分离蛋白复合涂膜对鲜切马铃薯保鲜研究[J]. *食品与机械*, 2010, 26(6): 37-39, 74.

(上接第 133 页)

- [7] 吴月德, 沈旭丹, 吴俊斌, 等. 香辛料在肉类食品中抗氧化效应的研究进展[J]. *中国调味品*, 2015, 40(4): 133-136.
- [8] 田迪英, 杨荣华. 几种香辛料对鱼油抗氧化及消臭作用[J]. *食品工业*, 2002(5): 17-18.
- [9] 孙卫青. 几种天然香辛料抑菌性能的研究[J]. *湖北农学院学报*, 2004, 24(3): 207-209.
- [10] 沈文娇, 何新益, 冯长禄, 等. 辣椒籽对猪油抗氧化作用研究[J]. *食品与机械*, 2016, 32(12): 170-174.
- [11] 李达, 王知松, 丁筑红, 等. 辣椒籽品质分析及黄酮提取工艺研究[J]. *中国调味品*, 2010, 35(4): 49-51.
- [12] 韩文杰, 张俊强, 袁新英, 等. 辣椒籽油的抗氧化性和生产方法的研究进展[J]. *食品研究与开发*, 2015, 36(4): 149-152.
- [13] 刘彩丽, 马雪平, 王瑞霞, 等. 辣椒籽甲醇提取物的抗氧化性能的研究[J]. *中国粮油学报*, 2006, 21(3): 277-279.
- [14] 蒋平香. 油脂对重组肉干硬度及优化成型的影响研究[D]. 南宁: 广西大学, 2015.
- [15] 王世平. 食品理化检验技术[M]. 北京: 中国林业出版社, 2009: 136.
- [16] WANG Lynn L, XIONG You-ling L. Inhibition of lipid oxidation in cooked beef patties by hydrolyzed potato protein is related to its reducing and radical scavenging ability[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2005, 53(23): 9186-9192.
- [17] 韩齐, 姚来斌, 李媛媛, 等. 贮藏温度及相溶剂对红肠品质的影响[J]. *食品研究与开发*, 2016, 37(10): 188-195.
- [18] 陈娟, 徐学明. 软曲奇质地的 TPA 质构分析[J]. *中国粮油学报*, 2008, 23(1): 194-197.
- [19] 段红敏. 不同包装材料对酱卤类低温肉制品品质变化影响的研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2014: 15-16.
- [20] 周德庆. 微生物学教程[M]. 北京: 高等教育出版社, 1993: 35-36.
- [21] DE Wit M, OSTHOFF G, VILJOEN B C, et al. A comparative study of lipolysis and proteolysis in Cheddar cheese and yeast-inoculated Cheddar cheese during ripening[J]. *Enzyme and Microbial Technology*, 2005, 37(6): 606-616.
- [22] 贾娜, 郭倩, 宋立, 等. 迷迭香提取物对鸡肉糜冷藏过程中品质特性的影响[J]. *食品与发酵科技*, 2014, 50(1): 60-63.
- [23] 肖香, 王莉莉, 王敏, 等. 真空包装水晶肴肉的贮藏特性研究[J]. *食品与机械*, 2013, 29(1): 187-189.
- [24] 宋永, 李梦洋, 张春江, 等. 风干肠加工用混合香料挥发性化合物分析及其中两种香辛料对猪肉的保鲜效果[J]. *中国调味品*, 2016, 41(5): 37-40.