

复合保鲜液对鲜切荸荠的保鲜效果

Effect of compound preservative solution on freshness-retaining of fresh-cut chufa

王金鑫 杨福馨 司婉芳

WANG Jin-xin YANG Fu-xin SI Wan-fang

(上海海洋大学食品学院, 上海 201306)

(College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

摘要:根据鲜切荸荠在储藏过程中容易氧化变质的现象,研究一种复合保鲜液对鲜切荸荠进行保鲜;利用食盐、白糖、白醋等溶液对鲜切荸荠进行浸泡预处理后再进行包装,置于室温条件(25℃)下储藏;分别测定了特定时间内鲜切荸荠的颜色、硬度、失重率、电导率、多酚氧化酶活性、可溶性固形物、总酚含量等参数,并对气味、胀袋情况等进行了感官评价;同时在单因素试验的基础上进行正交试验。结果表明:最佳工艺组合为食盐浓度80 g/L+白糖浓度3 g/L+白醋浓度100 g/L+浸泡时间15 min,与对照组相比,使鲜切荸荠保鲜期延长了6 d以上。

关键词:鲜切荸荠;预处理;保鲜

Abstract: According to the phenomenon that fresh cut water chestnut was easily oxidized and degraded during storage, a kind of compound preservative solution was studied to preserve fresh-cut chufa. The fresh-cut chufa were pretreated with salt, white sugar, white vinegar and other solutions, and then stored at room temperature (25℃). The color, hardness, weight loss, electrical conductivity, polyphenol oxidase activity, soluble solids and total phenol content, odor and bagging were then evaluated in specific period of time. Orthogonal test was carried out on the basis of single factor experiment. The results showed that the best preservative solution was 80 g/L + salt concentration of 3 g/L + white vinegar concentration of 100 g/L + soaking time 15 min, compared with the control group, the freshness-retaining period of the fresh-cut chufa was longer than 6 days.

Keywords: fresh-cut chufa; pretreatment; freshness-retaining

基金项目:国家863项目(编号:2012AA0992301);上海市科委工程中心建设(编号:11DZ2280300);上海市助推计划资助项目(编号:2013CL1312HY)

作者简介:王金鑫,男,上海海洋大学在读硕士研究生。

通信作者:杨福馨(1958—),男,上海海洋大学教授,博士。

E-mail: fxyang@shou.edu.cn

收稿日期:2018-09-01

荸荠(water chestnut)又名马蹄、地栗、乌芋等,是一种营养与保健价值较高的蔬菜,通常食用其地下球茎,临床上可用于痰热咳嗽、咽喉疼痛、小便不利等症^[1]。但是对荸荠进行去皮后,不仅会受到严重的机械损伤,且容易发生酶促褐变,影响食用品质,极大地降低了商业价值^[2]。目前,由于保鲜效果、资金投入、技术限制等原因,实际生产中大部分的保鲜方法依然较为传统,如缸藏保鲜法、窖藏保鲜法、沙藏保鲜法、溶液保鲜法、堆藏保鲜法^[3]等。这些方法虽然简单方便,效果显著,但是只适合家庭未去皮的荸荠储藏,而不适合工业生产。当前去皮的荸荠更受消费者青睐,因此,如能解决鲜切荸荠的保鲜问题将会有巨大的市场前景。

前人对鲜切荸荠的保鲜已有一定的研究,有研究^[4]用复合护色剂(0.2%植酸+0.1% L-半胱氨酸+0.25%醋酸锌+1%双乙酸钠)处理鲜切荸荠保鲜效果良好;也有研究^[5]采用强力安、次氯酸钠及强力安与次氯酸钠混合剂配制的杀菌液对荸荠进行杀菌;此外,还有研究利用热处理结合自发气调包装用于鲜切荸荠^[6]的保鲜以及采用壳聚糖—葛根淀粉膜液涂膜处理鲜切荸荠^[7]等等;用这些化学剂处理虽然具有一定效果,但是半胱氨酸、双乙酸钠等添加剂不仅会影响荸荠的口感和风味,而且食用较多会影响身体健康;涂膜处理虽然也有效果,但是涂膜处理操作较为复杂,当前还不适用于工业中大量生产;因此这些化学手段通常由于成本较高、效率低或者对健康有危害而被限制^[8]。因此,如果能用一种绿色安全的溶液来处理鲜切荸荠才符合当前发展趋势。

引起荸荠品质变坏的主要原因是酶促褐变及微生物的作用,食盐、白糖、白醋等溶液浸泡处理可以通过调节渗透压的方式来使微生物失水死亡,而且还能降低酶促褐变中酶的活性,从而在一定程度上延缓鲜切荸荠的褐变,可利用这些原理对鲜切荸荠进行预处理。本课题利用家庭调味品白砂糖、食盐、白醋等配制保鲜液,通过单因素试验并结合正交试验得到最佳保鲜液配比,利用实验室自制的低密度聚乙烯(Low Density Polyethylene, LDPE)薄膜包装鲜切荸荠,以期

找到一种安全健康的延长其货架期的处理方法。

1 材料与方法

1.1 材料

新鲜荸荠:上海海洋大学附近农贸市场;
无碘盐:食品级,上海中盐莫顿盐业有限公司;
白砂糖:食品级,上海市糖业烟酒(集团)有限公司;
食用白醋:食品级,总酸含量 ≥ 5.0 g/100 mL,上海鼎丰酿造食品有限公司;
LDPE 薄膜:厚度 0.062 5 mm、水蒸气透过系数 1.625×10^{-13} g/(m $\cdot$ s $\cdot$ Pa)、氧气透过量 26 445.582 cm³/(m² $\cdot$ 24 h $\cdot$ MPa),实验室自制;
浓盐酸、甲醇:分析纯,上海海洋大学提供;
聚乙二醇 6000、无水乙酸钠、聚乙二醇辛基苯基醚:分析纯,上海凌峰化学试剂有限公司;
聚乙烯吡咯烷酮:分析纯,上海阿拉丁生化科技有限公司;
邻苯二酚:分析纯,上海麦克林生化科技有限公司。

1.2 主要仪器设备

电子天平:SZ-A30002 型;诸暨市超泽衡器设备有限公司;
塑料薄膜封口机:FR-300A 型,上海翔一包装机械有限公司;
硬度测试仪:HL-600 型,上海伦捷机电仪表有限公司;
色差分析仪:NR1103nh 型,苏州诺威特测控科技有限公司;
冷冻离心机:H1850R 型,长沙湘仪离心机仪器有限公司;
紫外分光光度计:T6 型,北京普析通用仪器有限责任公司;
手持式折射仪:WYY-T 型,成都豪创光电仪器有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 单因素试验 以前期预试验为基础,分别用食盐、白糖和白醋溶液对鲜切荸荠进行保鲜处理;以清水处理为对照,称取不同质量的食盐、白糖、白醋,分别溶于蒸馏水配制浓度为 40,60,80,100,120 g/L 的食盐保鲜液、浓度为 1,3,5,7,10 g/L 的白糖保鲜液、浓度为 10,40,70,100,130 g/L 的白醋保鲜液。挑选无机械损伤、无腐烂变质的新鲜荸荠清洗去皮后立即放入保鲜液中浸泡,15 min 后取出晾干,每个处理取 4 个平行,用 LDPE 包装袋包装密封后置于室温中贮藏,每袋包装 50 g 果肉,分别在第 2、4、6、8、10 天测定样品的

总色差(ΔE 值)和失重率,并对其感官质量进行评价,结果取平均值。

1.3.2 正交试验 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四因素三水平正交试验,以鲜切荸荠贮藏 6 d 后综合评分(通过 ΔE 值、失重率和感官评分加权平均得到,加权系数分别为 0.3,0.3,0.4)为评价指标,筛选出处理鲜切荸荠的最佳保鲜剂配方。

1.4 测定指标与方法

1.4.1 失重率的测定 贮藏期间每隔 1 d 对鲜切荸荠进行称重,并记录其质量变化情况。失重率按式(1)计算^[9]:

$$W=\frac{m-m_i}{m}\times 100\%,\tag{1}$$

式中:
 W ——失重率,%;
 m ——包装前荸荠的质量,g;
 m_i ——存放第*i*天荸荠的质量,g。

1.4.2 硬度的测定 参照文献[10]³⁻⁵。

1.4.3 总色差的测定 将色差仪紧贴于待测鲜切荸荠的表面,测出鲜切荸荠的亮度值 L^* 、红绿值 a^* 和黄蓝值 b^* ,按式(2)计算鲜切荸荠的总色差^[11]。

$$\Delta E=\sqrt{(\Delta L^*)^2+(\Delta a^*)^2+(\Delta b^*)^2},\tag{2}$$

式中:
 ΔE ——总色差;
 ΔL^* ——样品与标准品明度的差值;
 Δa^* ——样品与标准品红绿的差值;
 Δb^* ——样品与标准品黄蓝的差值。

1.4.4 可溶性固形物(TSS)的测定 取鲜切荸荠样品经高速(2 000 r/min)离心匀浆后用纱布过滤得到果汁用手持式折射仪进行测定^{[10]20-22}。

1.4.5 总酚含量的测定 参照文献[12]⁴⁴⁻⁴⁶,以每克荸荠在波长 280 nm 处吸光值表示总酚含量,即 OD₂₈₀/g。

1.4.6 多酚氧化酶(PPO)活性的测定 参考文献[12]¹⁰³⁻¹⁰⁵。

1.4.7 感官评定 由 10 名专业人员根据产品是否胀袋、色泽、气味和状态等进行感官评价^[13],每隔 1 d 评定一次,感官评分标准见表 1。

2 结果与分析

2.1 食盐浓度对鲜切荸荠失重率、 ΔE 值和感官评分的影响

由于空白样品(CK)在包装第 6 天后已经发生了较为严重的腐烂变质,故对空白处理的鲜切荸荠只测其前 6 d 的指标。由图 1(a)可知,鲜切荸荠在储藏期间的失重率随时间的

表 1 鲜切荸荠感官评分标准

Table 1 Sensory evaluation criteria for fresh cut water chestnut

分值	胀袋	色泽	气味及滋味	状态
8~10	未胀袋	外表白色,内部乳白色	硬度好、有荸荠香味	果实表面干燥
4~7	微胀袋	外表白色,内部暗白色	轻微发酵味、口感较差	表面有水渗出,无霉变
0~3	袋内有大量气体	外表褐色,内部微黄色	有腐败酸味	表面出现浑浊黏液和霉变

延长而逐渐增加,而且与食盐溶液浓度有关,在食盐溶液浓度为 60~80 g/L 时失重率相对较低。但由图 1(b)可以看出,当食盐浓度为 80~120 g/L 时,其总色差增长的幅度均相对较小,这意味着食盐溶液 80~120 g/L 能有效延缓鲜切荸荠的褐变。由图 1(c)可知,当食盐浓度为 80~100 g/L 时,鲜切荸荠的感官评分最高,当食盐浓度较低时,荸荠储藏第 6 天后就会发生不同程度的腐烂,并产生发酵气味,当食盐浓度>100 g/L 时,鲜荸荠的气味会受到食盐的影响。表明食盐在一定程度上能保持鲜切荸荠的感官品质,但是浓度不宜过高。

2.2 白糖浓度对鲜切荸荠失重率、 ΔE 值和感官评分的影响

由图 2(a)可知,鲜切荸荠的失重率在白糖浓度为 1~3 g/L 时失重率会较空白组低,但当白糖浓度>5 g/L 后,其

失重率较空白组高,表明适当的白糖溶液处理能有效减少鲜切荸荠的水分散失。由图 2(b)可知,当白糖浓度为 3 g/L 时,其总色差增长的幅度最小,说明白糖溶液能有效延缓鲜切荸荠的褐变,在 3 g/L 左右效果达到最佳。由图 2(c)可知,当白糖浓度为 3 g/L 时,鲜切荸荠的感官评分最高,当白糖浓度较低时,其感官评分较高,但是随着白糖浓度的增加,鲜切荸荠的品质会发生下降,可能是白糖为荸荠表面的微生物提供营养物质,促使了荸荠的变质;表明白糖溶液在一定程度上能保持鲜切荸荠的感官品质,但是要保持较低的白糖浓度,否则会影响鲜切荸荠的储藏品质。

2.3 白醋浓度对鲜切荸荠失重率、 ΔE 值和感官评分的影响

由图 3(a)可知,当白醋浓度达到为 100 g/L 时,能显著降低鲜切荸荠的失重率,这表明合适浓度的白醋溶液浸泡处

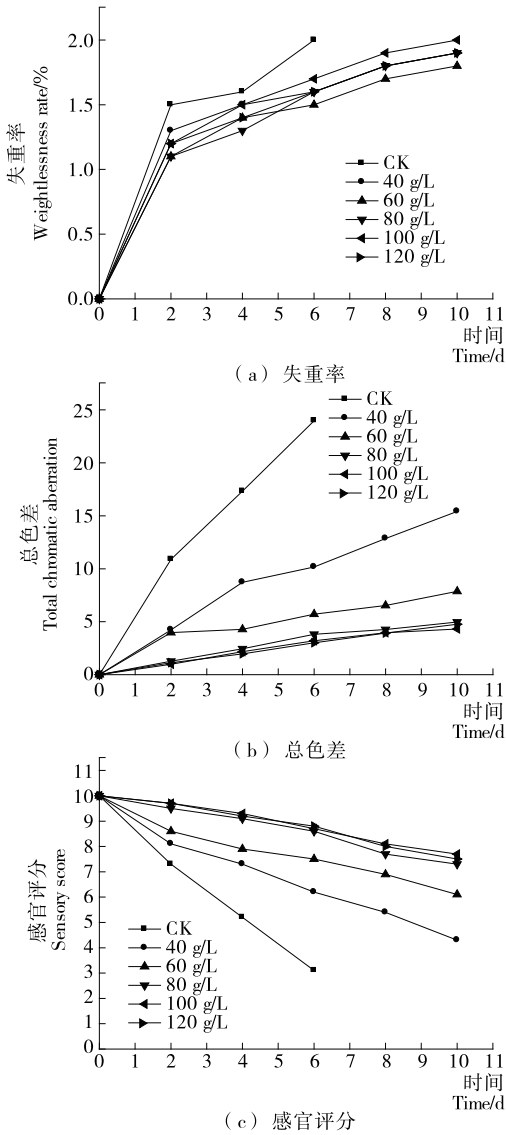


图 1 食盐溶液处理对鲜切荸荠失重率、 ΔE 和感官评分的影响

Figure 1 Effects of various salt solutions on ΔE , weight loss rate and sensory score of fresh-cut water chestnut

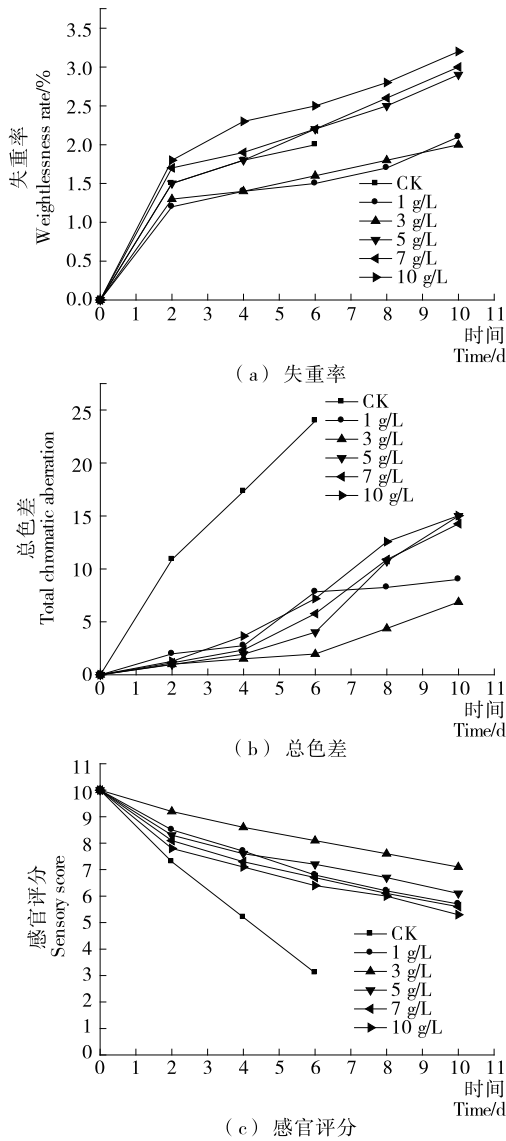


图 2 白糖溶液处理对鲜切荸荠失重率、 ΔE 和感官评分的影响

Figure 2 Effects of various sugarsolutions on ΔE , weight loss rate and sensory score of fresh-cut water chestnut

理能减少荸荠的水分散失,延缓失重。由图 3(b)可知,当白醋浓度逐渐增大至 100~130 g/L 时,其总色差增长的幅度都比较小,说明白醋溶液能有效延缓鲜切荸荠的褐变,在 70~130 g/L 时效果较好。由图 3(c)可知,当白醋浓度为 100 g/L 时,鲜切荸荠的感官评分最高,当白醋浓度较低时,鲜切荸荠的感官评分较低,当白醋浓度>100 g/L 时,鲜切荸荠的评分有一定的降低。表明白醋溶液在一定程度上能保持鲜切荸荠的感官品质,但是当浓度较高时其自身气味会影响鲜切荸荠的品质。

2.4 鲜切荸荠保鲜工艺条件的筛选

在单因素试验的基础上,取效果最好的水平进行四因素三水平正交试验,试验因素水平见表 2,试验结果和方差分析见表 3、4。由表 3、4 可知,各因素对鲜切荸荠保鲜效果的影

响主次为 B>A>C>D,即白糖的影响最大,具有显著性(P<0.05),其次为食盐、白醋,浸泡时间的影响最小,与单一保鲜液处理相比,复合保鲜液处理使鲜切荸荠评分较高。鲜切荸荠的最优工艺组合方为 A₁B₂C₂D₃,即食盐浓度 80 g/L、白糖浓度 3 g/L、白醋浓度 100 g/L、浸泡时间 15 min,以此配方进行验证实验,测得此配方处理鲜切荸荠 6 d 后的综合评分为 9.01,较正交试验中的处理组均高,说明正交试验结果较为可靠。

2.5 最优复合保鲜液对鲜切荸荠品质的影响

2.5.1 硬度 由图 4 可知,在储藏期间,处理组的硬度一直较对照组高,贮藏 6 d 时,处理组硬度为初始硬度的 92.8%,而对照组仅为初始硬度的 59.5%,之后对照组已经发生腐

表 2 正交试验因素水平表

Table 2 Factors and levels of orthognal test				
水平	A 食盐浓度/ (g · L ⁻¹)	B 白糖浓度/ (g · L ⁻¹)	C 白醋浓度/ (g · L ⁻¹)	D 时间/ min
1	80	1	70	5
2	100	3	100	10
3	120	5	130	15

表 3 鲜切荸荠复合保鲜正交试验结果

Table 3 Results of orthogonal test for compound preservation solution of fresh-cut water chestnut					
试验号	A	B	C	D	综合指标
1	1	1	1	1	8.53
2	1	2	2	2	8.95
3	1	3	3	3	8.27
4	2	1	2	3	8.71
5	2	2	3	1	8.74
6	2	3	1	2	7.95
7	3	1	3	2	8.52
8	3	2	1	3	8.46
9	3	3	2	1	7.98
K ₁	25.75	25.76	24.94	25.25	
K ₂	25.40	26.15	25.64	25.42	
K ₃	24.96	24.20	25.53	25.44	
R	0.79	1.95	0.70	0.19	
优化水平	A ₁	B ₂	C ₂	D ₃	

表 4 正交试验结果方差分析表[†]

Table 4 Variance analysis of orthogonal test results					
变异来源	SS	df	MS	F	显著性
A	0.104	2	0.052	14.85	
B	0.710	2	0.355	88.75	*
C	0.095	2	0.048	13.57	
D(误差)	0.007	2	0.004		
总变异	+0.916	8			

[†] F_{0.05(2,2)} = 19.00; * 表示差异显著, P<0.05。

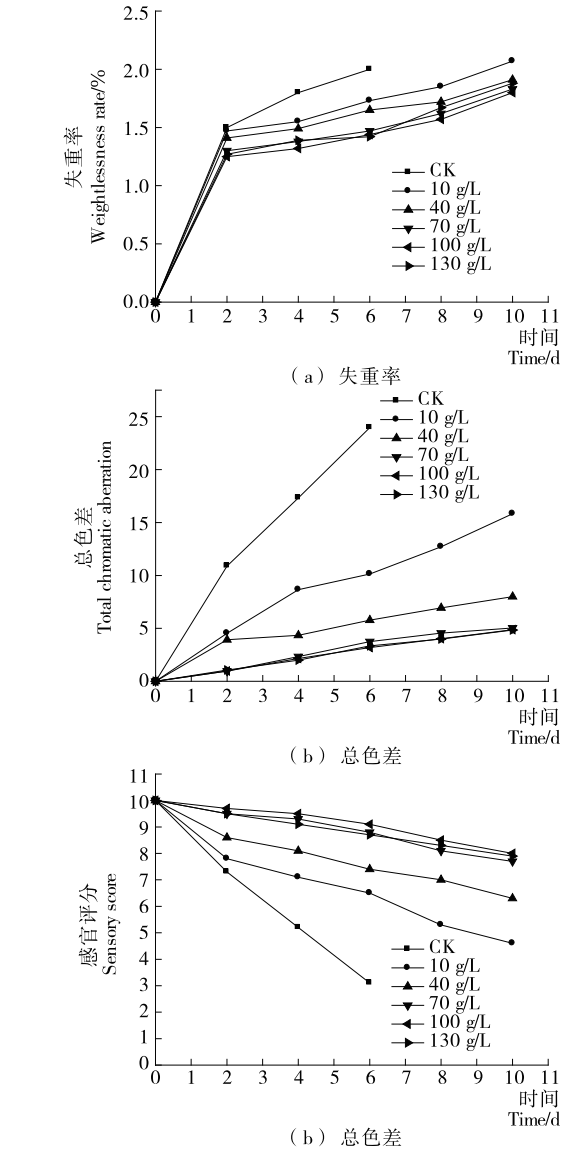


图 3 白醋溶液处理对鲜切荸荠失重率、 ΔE 和感官评分的影响

Figure 3 Effects of various white vinegar solutions on ΔE weight loss rate and sensory score of fresh-cut water chestnut

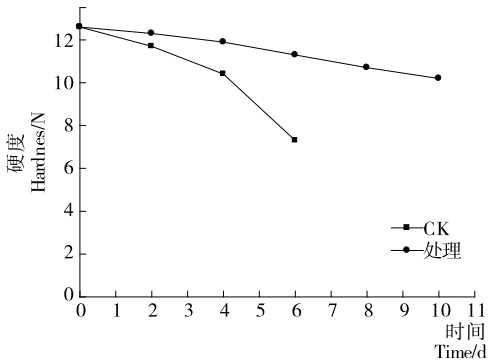


图 4 复合保鲜液对鲜切荸荠硬度的影响

Figure 4 Effects of compound preservative solution on hardness of fresh-cut water chestnut

烂,说明复合保鲜液的浸泡处理可有效延缓硬度的下降,可能是食盐和白醋具有一定的杀菌作用,可减少微生物对鲜切荸荠结构的破坏,也可能是白醋可以抑制荸荠中果胶酶的活性,减缓了细胞壁的降解,从而维持鲜切荸荠的硬度。

2.5.2 失重率 由图 5 可知,整个贮藏过程中,鲜切荸荠的失重率在逐渐上升,空白组与处理组相比失重较为明显,第 6 天时,对照组失重率达 2.0%,而处理组仅 1.6%,在第 6 天后,空白组发生腐烂,已无法正常测量其失重率,可能是处理组经复合保鲜液浸泡表面形成了薄膜,可减少水分的挥发,也可能是复合保鲜液具有杀菌功能,防止组织细胞的破坏,从而降低其失重率。

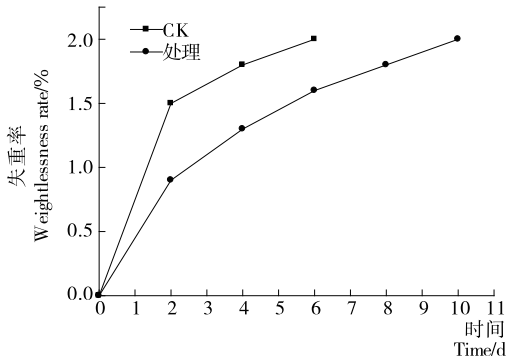


图 5 复合保鲜液对鲜切荸荠失重率的影响

Figure 5 Effects of compound preservative solution on weight loss of fresh-cut water chestnut

2.5.3 ΔE 值 荸荠去皮时受到机械损伤,组织细胞的完整性被破坏,酶与底物的区域化结构同时遭到破坏,使酶与底物直接接触,由于 O_2 的作用容易导致酶促褐变^[13]。由图 6 可知,随着时间的推移,鲜切荸荠的褐变程度也在逐渐加深,但处理组的 ΔE 值一直低于空白组,说明复合保鲜液能显著抑制鲜切荸荠的褐变;一方面可能盐、糖、醋能有效降低荸荠表面的 pH 或者其本身可螯合 PPO 酶活性中心的金属离子来抑制酶活性来达到护色效果;另一方面可能是盐、糖、醋能有效抑制微生物的繁殖从而减缓其品质劣变^[14]。

2.5.4 可溶性固形物 荸荠在采摘去皮后其组织细胞依然会进行呼吸作用,由于缺少外界的能量供应,糖类物质会被

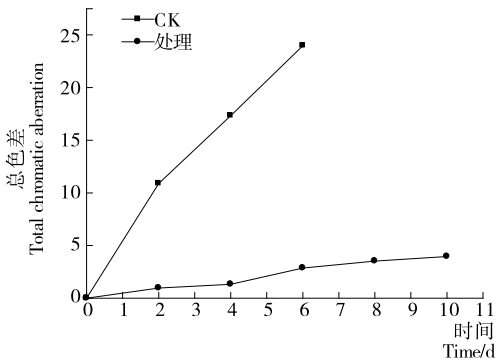


图 6 保鲜液对鲜切荸荠 ΔE 的影响

Figure 6 Effects of compound preservative solution on ΔE of fresh-cut water chestnut

大量消耗分解。由图 7 可知,可溶性固形物在鲜切荸荠的储藏过程中不断降低,并且呈先快后慢的趋势,可能是开始组织细胞通过消耗自身的营养物质来为细胞的呼吸作用提供能量,于是组织中的可溶性固形物含量逐渐降低,但与对照组相比,处理组的可溶性固形物含量均较高,可能是经过复合保鲜液处理,鲜切荸荠的细胞呼吸强度会受到抑制,同时,表面微生物也不易繁殖,使得可溶性固形物含量降低幅度较对照组小,后期可溶性固形物降低速度减慢也可能是组织细胞的呼吸作用得到了抑制。

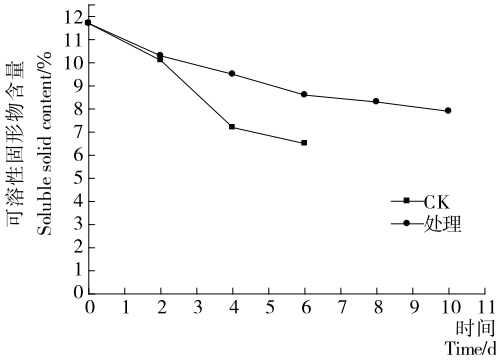


图 7 保鲜液液对鲜切荸荠可溶性固形物的影响

Figure 7 Effects of compound preservative solution on soluble solid of fresh-cut water chestnut

2.5.5 总酚含量 酚类物质是酶促褐变的关键底物^[13],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^[15]。如图 8 所示,荸荠在去皮后,酚类物质会出现较多且呈上升的趋势;处理组的总酚含量高于对照组说明此最优复合保鲜剂可保持鲜切荸荠贮藏过程中总酚的含量,从而达到抑制鲜切荸荠酶促褐变的效果。

2.5.6 多酚氧化酶 多酚氧化酶(PPO)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^[16]。果蔬中酚类物质容易在空气中 O_2 的作用下被 PPO 催化氧化成醌类物质,醌类物质再进一步聚合成褐色素,导致果蔬褐变,PPO 活性增加,酚酶区域化结构遭到破坏,很容易发生褐变^[17]。图 9 表明,鲜切荸荠从贮藏的第 2 天开始,PPO 活性开始快速增加,但是经过复合保鲜液处理过的鲜切荸荠的 PPO 活

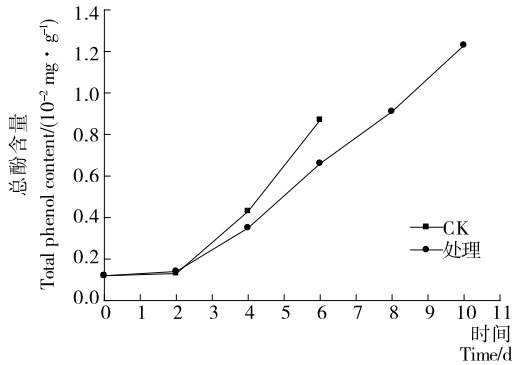


图 8 保鲜液对鲜切荸荠总酚含量的影响

Figure 8 Effects of compound preservative solution on total phenol content of fresh-cut water chestnut

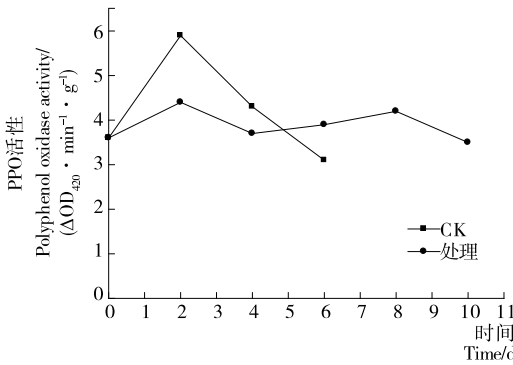


图 9 保鲜液对鲜切 PPO 活性量的影响

Figure 9 Effects of compound preservative solution on PPO activity of fresh-cut water chestnut

性明显比空白组低,说明复合保鲜液能明显降低鲜切荸荠储藏过程中的 PPO 活性,从而抑制鲜切荸荠在储藏过程中的褐变。

3 结论

(1) 本试验是在室温条件下,通过单因素试验结合正交试验,得到鲜切荸荠保鲜的复合保鲜液的最佳配方为 80 g/L 食盐+3 g/L 白糖+100 g/L 白醋,最佳浸泡时间 15 min。复合保鲜液中的盐、糖、醋具有互补性,相比单一保鲜液处理的保鲜效果好,和清水处理的鲜切荸荠相比,复合保鲜液的处理可有效延长鲜切荸荠储藏期 6 d 以上。

(2) 本试验采取简单易得的绿色保鲜剂进行处理,相对安全,且效果较为显著,研究结果与前人对鲜切山药^[13]和鲜切马铃薯^[18]的研究结果一致,与前人利用草酸处理去皮荸荠^[19]以及利用异抗坏血酸等处理鲜切荸荠^[20]的研究结果相近,但本试验是在常温情况下进行,且保鲜液更加安全易得,具有一定的优势。

(3) 本试验的保鲜液对鲜切荸荠的褐变具有较好的抑制作用,还可显著延长鲜切荸荠的保鲜期,但本试验中尚有不足之处:试验过程中随着天气的变化,空气温度与湿度都会相应变化,难以完全控制等。要从根本上解决鲜切荸荠的褐变问题,可以尝试通过转基因的方式来改变褐变的源头。

参考文献

[1] 王薇. 荸荠的保健功能及加工利用[J]. 食品与药品, 2005, 7 (4): 45-48.

[2] 邱松山, 李喜宏, 胡云峰, 等. 壳聚糖/纳米 TiO₂ 复合涂膜对鲜切荸荠保鲜作用研究[J]. 食品与发酵工业, 2008, 34(1): 149-151.

[3] 曾晖. 荸荠贮藏保鲜五法[J]. 农村实用技术, 2004(2): 51.

[4] 侯传伟, 魏书信, 王安建. 鲜切荸荠复合保鲜剂的研制[J]. 食品科技, 2007(12): 195-198.

[5] 陈学玲, 何建军, 周明. 荸荠的贮藏保鲜研究[J]. 湖北农业科学, 2007, 46(4): 610-611.

[6] 田维娜. 热处理对鲜切荸荠冷藏品质的影响[D]. 重庆: 西南大学, 2008: 56.

[7] 尹璐, 彭勇, 梅俊, 等. 不同涂膜保鲜处理对荸荠品质变化的影响[J]. 食品科学, 2013, 34(20): 297-301.

[8] YOU Yan-li, JIANG Yue-ming, SUN Jian, et al. Effects of short-term anoxia treatment on browning of fresh-cut Chinese water chestnut in relation to antioxidant activity[J]. Food Chemistry, 2012, 132(3): 1 191-1 196.

[9] 丁晓彤, 杨福馨, 邱艳娜, 等. 生鲜香豆干常温保鲜工艺研究[J]. 食品与机械, 2017, 33(11): 122-126.

[10] 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.

[11] 杨学岩, 周维. 色差的测量和评定方法及应用[J]. 现代涂料与涂装, 2014, 9(14): 1-4, 29.

[12] 曹建康, 蒋微波, 赵玉梅. 果蔬采后生理生化指导[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007.

[13] 王梅, 徐俐, 王美芬, 等. 复合保鲜剂对鲜切山药保鲜效果的影响[J]. 食品与机械, 2017, 33(5): 134-140.

[14] 杜运鹏. 纳米改性聚乙烯醇(PVA)抗氧复合包装薄膜的制备及对鲜切山药保鲜的应用[D]. 上海: 上海海洋大学, 2017: 21.

[15] BOUDET A M. Evolution and current status of research in phenolic compounds [J]. Cheminform, 2007, 68 (22/23/24): 2 722.

[16] MASSOLO J F, CONCELLÓN A, CHAVES A R, et al. 1-Methylcyclopropene (1-MCP) delays senescence, maintains quality and reduces browning of non-climacteric eggplant (*Solanum melongena*, L.) fruit[J]. Postharvest Biology & Technology, 2011, 59(1): 10-15.

[17] 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.

[18] 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.

[19] 杨莹. 草酸处理对去皮荸荠块茎的保鲜效果及其作用机制研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2016: 49-50.

[20] 童刚平. 鲜切荸荠酶促褐变及褐变控制研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2005: 50-51.