

L-半胱氨酸对鲜切紫甘薯护色保鲜作用

冯程程,于筠,王春玲*

(天津科技大学 食品工程与生物技术学院,天津,300457)

摘 要 以鲜切紫甘薯为原料,用 0.5、1.0、2.0、3.0、4.0 g/L,五种不同质量浓度的 L-半胱氨酸(L-cysteine, L-cys)溶液分别对鲜切紫甘薯做浸泡 15 min 处理。通过对各项理化指标与营养成分的测定,结果表明,L-cys 处理能维持鲜切紫甘薯原有的色泽,较好地保持花色苷的含量,延缓营养物质含量的下降,通过在一定程度上抑制丙二醛(malondialdehyde,MDA)的生成及过氧化物酶(peroxidase,POD)和多酚氧化酶(polyphenol oxidase,PPO)的活性,有效延缓鲜切紫甘薯的褐变程度。其中质量浓度为 2.0 g/L 的 L-cys 溶液效果最好,贮藏 12 d 后,褐变度抑制率可达 62.5%。因此,L-cys 处理可以作为一种简单合理的鲜切紫甘薯保鲜方法,延长其货架期,为鲜切紫甘薯产品的开发提供支持。

关键词 紫甘薯;L-半胱氨酸;鲜切;褐变;护色

甘薯是一种旋花科(牵牛花)的双子叶植物^[1],因其营养和促进健康的价值而被广泛种植^[2],是继水稻、小麦、马铃薯、玉米和木薯之后最重要的粮食作物^[3]。紫甘薯为甘薯中的一种,其具有高水平的酰化花色苷和其他酚类物质^[4-5],还含有丰富的维生素、矿物质、膳食纤维和碳水化合物^[6]。随着人们对健康生活的追求,紫甘薯因其较高的营养价值获得了大众的青睐。然而,紫甘薯切割后呼吸消耗加剧,代谢反应增强,营养品质迅速下降,尤以因切割操作引起的酶促褐变反应的不良问题,严重影响了产品外观和营养价值,直接导致货架期的缩短,因此,研发出一种适用于鲜切紫甘薯的保鲜技术是极为重要的。

SGROPPO 等^[7]发现用柠檬酸调节 pH 至 2.91 的 2% 偏亚硫酸氢钠溶液浸泡鲜切甘薯,可以较好地减少鲜切甘薯贮藏过程中颜色的变化,延长其货架期。赵嫚等^[8]研究表明用 0.4% 植酸、0.6% L-赖氨酸、0.2% 壳聚糖、0.3% 菠萝酶复合处理鲜切甘薯可以有效抑制鲜切甘薯的酶促褐变。刘硕等^[9]发现用 5% 抗坏血酸钙 + 0.03% ϵ -聚赖氨酸复合液浸泡鲜切甘薯能够有效降低鲜切甘薯贮藏期间的褐变度和菌落总数。目前,虽然国内外有部分对鲜切甘薯的护色保鲜研究,但基本停留在有关色度和褐变度等感官方面指标的测定,对于鲜切甘薯贮藏过程中营养物质

的变化,以及影响褐变的几种相关酶的研究较少。加之紫甘薯与其他甘薯相比富含花青素的特殊性,找到一种简单有效且具有针对性的保鲜技术十分重要。

L-半胱氨酸(L-cysteine, L-cys)是组成蛋白质的 20 种氨基酸之一,属于脂肪族氨基酸^[10],有较好的褐变控制能力。L-半胱氨酸控制鲜切果蔬褐变的机理有多种说法^[11-15]。

本实验利用 0.5、1.0、2.0、3.0、4.0 g/L,五种不同质量浓度的 L-cys 溶液浸泡紫甘薯,与蒸馏水处理组比较,测定各项理化指标以及褐变相关酶活性,研究 L-cys 对于延缓鲜切紫甘薯的褐变效果,确定一种简单合理的鲜切紫甘薯加工工艺参数方法,延长货架期,为紫甘薯的护色保鲜提供参考,以期对鲜切紫甘薯产品的开发提供支持。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

实验所用的紫甘薯品种为紫罗兰,购于天津金元宝农贸市场。挑选大小基本一致、无机械伤和病虫害的新鲜紫甘薯。L-cys(食品级),浙江多味化工食品有限公司;乙醇、浓 HCl、福林酚试剂(分析纯),天津市天工化工厂;无水 Na_2CO_3 (分析纯),天津市化学试剂一厂;醋酸钠、乙酸:分析纯,天津市北洋第一化工厂;愈创木酚、邻苯二酚(HPLC $\geq 98\%$),上海源叶生物科技有限公司。

1.2 仪器与设备

CPA 电子分析天平,德国 Sartorius 公司;SCOUT

第一作者:硕士研究生(王春玲教授为通讯作者,E-mail: wang-chunling@tust.edu.cn)。

基金项目:“十三五”国家重点研发计划重点专项(20130)

收稿日期:2019-06-18,改回日期:2019-08-02

SE 式电子天平,美国 OHAUS 公司;DZ-400 2F 型真空包装机,大江机械设备有限公司;SC-10 精密色差仪,深圳市三恩驰科技有限公司;GY-4 数显式水果硬度计,艾德堡仪器有限公司;L550 型离心机,湘仪离心机仪器有限公司;电热恒温水浴锅,郑州长城工贸有限公司;MULTISKAN GO 酶标仪,美国 Thermo 公司;紫外可见分光光度计,美国 Thermo 公司;FE20/EL20 型 pH 计,梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司;制冰机,日本 SANYO 公司

1.3 实验方法

1.3.1 试样处理

实验前用体积分数 75% 的乙醇对所有试验用具进行灭菌处理。将原料经 200 $\mu\text{L/L}$ 的次氯酸钠溶液浸洗 2 min 后,用蒸馏水冲洗干净,用纱布擦干后,快速削皮,切成 5 mm 厚的紫甘薯片,放于配制的不同质量浓度 *L*-半胱氨酸溶液中浸泡 15 min,取出沥干,真空包装后置于 4 $^{\circ}\text{C}$ 冰箱中储存。

通过预实验感官评价确定鲜切紫甘薯在 4 $^{\circ}\text{C}$ 储存条件下,12 d 后表面颜色差,褐变现象明显,商品性状逐渐丧失,逐渐出现腐烂,失去商品价值。因此选定共测量 12 d,每隔 48 h 测定 1 次指标。每个指标重复测定 3 次,结果取平均值。*L*-cys 溶液浓度的设定通过初筛预实验根据鲜切紫甘薯的货架期筛选得出,分别为 0.5、1.0、2.0、3.0、4.0 g/L 五种浓度。实验以蒸馏水处理组作为对照。

1.3.2 失重率的测定

称重法,对保存的鲜切紫甘薯片进行称重。

$$\text{切片失重率}/\% = \frac{W_0 - W_n}{W_0} \times 100 \quad (1)$$

式中: W_0 ,贮藏第 0 天鲜切紫甘薯片的重量,g; W_n ,贮藏第 n 天鲜切紫甘薯片的重量,g。

1.3.3 色差的测定

采用色差法^[16],略作修改。样品袋中随机选取 3 片紫甘薯,用色差仪测定紫甘薯正反两边的 L^* (白度)、 b^* (黄度)、 a^* (红度),计算色差 $\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$,用 ΔE 来表示紫甘薯的颜色变化。由于鲜切紫甘薯个体之间存在差异,初始色泽有所不同,对实验结果造成一定误差,本方法修改色差测量法,采用色差变化率来表示鲜切紫甘薯贮藏期间色泽的变化。

$$\text{色差变化率}/\% = \frac{\Delta E_n - \Delta E_0}{\Delta E_0} \times 100 \quad (2)$$

式中: ΔE_n ,贮藏第 n 天鲜切紫甘薯片的色差; ΔE_0 ,贮

藏第 0 天鲜切紫甘薯片的色差。

1.3.4 硬度的测定

硬度用水果硬度计测定,取 3 片鲜切紫甘薯片,手握硬度计,探头竖直接压切片,直至切片没过探头节点处,结果取平均值。由于鲜切紫甘薯之间的个体差异,采用硬度变化率来表示鲜切紫甘薯贮藏期间硬度的变化。

$$\text{硬度变化率}/\% = \frac{\text{硬度}_0 - \text{硬度}_n}{\text{硬度}_0} \times 100 \quad (3)$$

式中:硬度₀,贮藏第 0 天鲜切紫甘薯片的硬度;硬度_n,贮藏第 n 天鲜切紫甘薯片的硬度。

1.3.5 褐变度变化量的测定

采用消光值法^[17],略作修改。取 2.0 g 紫甘薯样品,加入 10 mL 80% 乙醇溶液,研磨成匀浆,室温避光放置 30 min,每 5 min 搅拌 1 次。4 $^{\circ}\text{C}$ 8 000 r/min 离心 10 min,取上清液在 420 nm 测定吸光度值,以 80% 乙醇作为空白,测 3 次取平均值,结果表示为褐变度 $\text{BD} = A \times V/m$, A_{420} 为测定的吸光度值, V 为提取液体积, m 为样品质量。

$$\text{褐变度变化量 } \Delta \text{BD} = \text{BD}_{12} - \text{BD}_0 \quad (4)$$

式中: BD_0 ,第 0 天时的褐变度; BD_{12} ,第 12 天时的褐变度。

$$\text{褐变度抑制率}/\% = \frac{\Delta \text{BD}_{\text{CK}} - \Delta \text{BD}_{\text{样}}}{\Delta \text{BD}_{\text{CK}}} \times 100 \quad (5)$$

式中: $\Delta \text{BD}_{\text{CK}}$,对照第 12 天的褐变度 - 对照第 0 天的褐变度; $\Delta \text{BD}_{\text{样}}$,样品第 12 天的褐变度 - 样品第 0 天的褐变度。

1.3.6 过氧化物酶活力的测定

采用愈创木酚法测定^[18],略作修改。粗酶液的制备:取 2.0 g 紫薯样品,加入预冷的 10 mL 提取缓冲液(340 mg PEG 6000、4 g PVPP、1 mL Triton X-100,用 0.1 mol/L pH 5.5 乙酸-乙酸钠缓冲液溶解定容至 100 mL),在冰浴条件下研磨成匀浆,滤液于 4 $^{\circ}\text{C}$ 12 000 r/min 离心 30 min,取上清液为酶提取液。

反应体系中含 3 mL 25 mmol/L 愈创木酚 0.5 mL 酶液,加入 200 μL 0.5 mol/L H_2O_2 迅速混匀启动反应,立即开始计时,每隔 20 s 记录反应体系在 470 nm 波长下的吸光值变化,以每分钟吸光度值变化增加 1 时所需的酶量为 1 个活性单位,单位为 U/mg prot。

1.3.7 多酚氧化酶活力的测定

采用邻苯二酚法测定,略作修改。粗酶液的制备:称取 1.0 g 鲜切紫甘薯样品,加入 10.0 mL 的提取缓冲液(0.05 mol/L pH 6.8 磷酸缓冲液),研磨成

匀浆,于4℃、12 000 r/min 离心 30 min,收集上清液,为酶提取液。

酶促反应体系由 4.0 mL、50 mmol/L、pH 5.5 的乙酸-乙酸钠缓冲液、1.0 mL、50 mmol/L 邻苯二酚溶液和 100 μ L 酶提取液,立即开始计时。以蒸馏水为空白参比,在反应 15 s 时开始记录反应体系在 420 nm 处吸光度值,作为初始值,每隔 20 s 记录 1 次,连续测定,至少记录 6 个点。重复 3 次。以每分钟吸光度值变化增加 1 时所需的酶量为 1 个活性单位,单位是 U/ mg prot。

1.3.8 MDA 含量的测定

取 2.0 g 新鲜紫甘薯样品,按 $m:V=1:20$ 的比例加入 100 g/L TCA 溶液,研磨成匀浆,于 4℃ 10 000 r/min 离心 20 min,收集上清液。取 2 mL 上清液加入 2 mL 0.67% TBA,沸水中煮沸 20 min,取出后冷却离心。分别测定在 450、532 和 600 nm 的吸光度,以 100 g/L TCA 溶液作为空白管。

1.3.9 花色苷含量测定

花色苷含量测定采用 pH 示差法^[19]。花色苷提取液:取 2.00 g 紫薯样品,按 $m:V=1:20$ 的比例加入提取液($V(\text{乙醇}):V(\text{水}):V(\text{HCl})=2:1:0.1$),匀浆,避光 60℃ 浸提 60 min,在 4℃、3 000 r/min 离心 15 min。

取 2 mL 提取液分别用 pH 1.0 盐酸-氯化钾缓冲溶液和 pH 4.5 盐酸-醋酸钠缓冲溶液稀释定容至 10 mL,静置 90 min。用蒸馏水做对照,分别测定其在 530 nm 和 700 nm 处的吸光度值。

$$\Delta A = (A_{1(530)} - A_{1(700)}) - (A_{2(530)} - A_{2(700)}) \quad (6)$$

式中: $A_{1(530)}$ 和 $A_{1(700)}$ 分别为用 pH1.0 盐酸-氯化钾缓冲溶液稀释定容后在 530 nm 和 700 nm 测得的吸光度值; $A_{2(530)}$ 和 $A_{2(700)}$ 分别为用 pH4.5 盐酸-醋酸钠缓冲溶液稀释定容后在 530 nm 和 70 nm 测得的吸光度值。

$$\text{花色苷含量}/[\text{mg} \cdot (100 \text{ g})^{-1}] = \frac{\Delta A \times M \times V \times F}{\varepsilon \times L \times m \times 100} \quad (7)$$

式中: ε ,矢车菊-3-葡萄糖苷的摩尔消光系数,26 900 L/(mol·cm); M ,矢车菊-3-葡萄糖苷的相对分子质量,449.2 g/mol; V ,定容的体积,mL; F ,稀释倍数; m 为样品质量,g; L 为比色皿的宽度,1 cm。

1.3.10 总酚含量

总酚测定采用福林-酚比色法^[19]。总酚提取液:取 2.00 g 紫薯样品,按 $m:V=1:20$ 的比例加入提取液($V(\text{乙醇}):V(\text{水}):V(\text{HCl})=2:1:0.1$),匀浆,避光 60℃ 浸提 60 min,在 4℃、3 000 r/min 离心 15 min。

标准曲线制作:将 1 mg/mL 没食子酸母液稀释

成 0.1 mg/mL 的没食子酸标准溶液,分别吸取该溶液 0.0、0.05、0.1、0.2、0.4、0.6、0.8、1.0 mL 于 25 mL 的比色管中,加蒸馏水定容至 1 mL 摇匀后加入 0.5 mL 福林酚试剂(2 mol/L),暗处放置 5 min 后加入 2 mL、200 g/L 的 Na_2CO_3 溶液,加蒸馏水补足至 25 mL,摇匀,室温避光反应 1 h,于 760 nm 处测定吸光度。没食子酸浓度为横坐标,吸光度为纵坐标,绘制标准曲线,求得线性方程。

样品中总酚含量测定:取一定量提取液于比色管中,其余测定方法同标准曲线制作,用没食子酸作标准曲线计算含量,单位为 mg/100g。

2 结果与分析

2.1 *L*-cys 质量浓度对鲜切紫甘薯失重率的影响

失重率是衡量鲜切后甘薯呼吸底物消耗量 and 水分蒸发量的重要指标。由图 1 可知,各实验组失重率均随着贮藏时间的呈现上升趋势,且均低于对照组,说明 *L*-cys 能够很好地起到控制鲜切紫甘薯重量的作用。其原因可能是经过 *L*-cys 处理后,更好地保持了产品新鲜度,从而减少了水分的散失。相比之下,浓度为 2 g/L 时处理的鲜切紫甘薯的失重率在整个贮藏期都处于较低水平,贮藏到第 12 天时为 0.13%。在整个贮藏期间,2 g/L *L*-cys 组失重率与对照组之间始终存在显著性差异($P < 0.05$)。

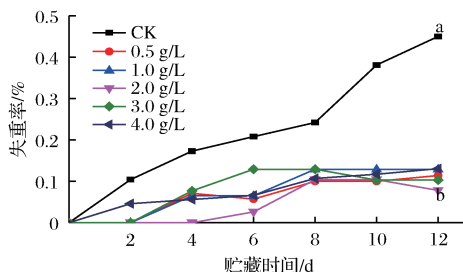


图 1 不同质量浓度 *L*-cys 对鲜切紫甘薯失重率的影响

Fig. 1 Effect of different concentrations of *L*-cysteine on the weight loss rate

注:小写字母不同表示对照组与 *L*-半胱氨酸处理组样品差异显著($P < 0.05$)。下同。

2.2 *L*-cys 质量浓度对鲜切紫甘薯硬度下降率的影响

由图 2 可知,随着贮藏时间的延长,各实验组硬度均逐渐降低,且处理组硬度下降率明显低于对照组。其原因可能是 *L*-cys 可以较好地保持鲜切紫甘薯的新鲜程度,防止水分的蒸发流失,维持鲜切紫甘

薯的细胞膨压,从而较好地保持鲜切紫甘薯的硬度。处理浓度为 0.5 g/L 时的硬度下降率趋势与对照组一致,前期上升速度较快,而后平缓;其他的实验组的硬度下降率在贮藏期间都保持在一个缓慢上升的状态,其中处理浓度为 2.0 g/L 的实验组在贮藏过程一直比较稳定。在整个贮藏期间,2.0 g/L *L*-cys 组硬度变化率与对照组之间始终存在显著性差异 ($P < 0.05$)。

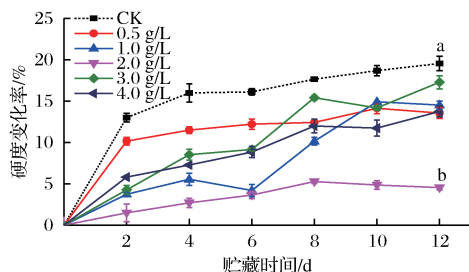


图2 不同质量浓度 *L*-cys 对鲜切紫甘薯硬度变化率的影响

Fig. 2 Effect of different concentrations of *L*-cysteine on the hardness change rate

2.3 *L*-cys 质量浓度对鲜切紫甘薯色泽的影响

由图 3 可知,贮藏过程中,鲜切紫甘薯的色差变化率呈上升趋势,用蒸馏水处理的对照组明显高于 *L*-cys 处理组,说明 *L*-cys 有很好地保持鲜切紫甘薯色泽的作用,其原因可能是由于 *L*-cys 较好地保持了鲜切紫甘薯的新鲜度,延缓了衰老,影响了营养物质花色素的流失以及抑制了褐变,通过这两方面使鲜切紫甘薯保持了较好的色泽,颜色更加鲜亮。2.0 g/L 的处理组色差变化率最低,第 12 天时仅为 1.39%。*L*-cys 的浓度越高并没有使鲜切紫甘薯的色差变化率降低,反而有上升的趋势,说明过高浓度的 *L*-cys 会使鲜切紫甘薯表面发生变化,从而影响其护色效果。在整个贮藏期间,2.0 g/L *L*-cys 组色差变化率与对照组之间始终存在显著性差异 ($P < 0.05$)。

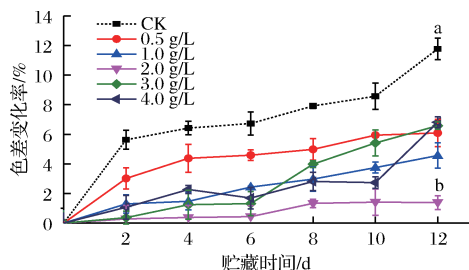


图3 不同质量浓度 *L*-cys 对鲜切紫甘薯色泽变化率的影响

Fig. 3 Effect of different concentrations of *L*-cysteine on the color difference change rate

2.4 *L*-cys 质量浓度对鲜切紫甘薯褐变的影响

褐变是影响果蔬品质的重要因素,褐变不仅对它们的外观有负面影响,还可能损害其他感官特性,包括味觉、气味和结构,以及营养价值^[20-21]。褐变度变化量越高,表明褐变越严重。鲜切紫甘薯褐变度随贮藏时间的延长持续上升。由图 4 可以看出,*L*-cys 处理组鲜切紫甘薯褐变度变化量都显著低于对照组,说明 *L*-cys 可以抑制鲜切紫甘薯的褐变。*L*-cys 可能通过与褐变底物酚反应生成无色化合物来抑制褐变,以及抑制多酚氧化酶的活性或通过自身带有还原性的巯基基团等多方面来控制褐变。随着 *L*-cys 浓度的上升,鲜切紫甘薯褐变度变化量呈现先下降后上升的趋势,过高浓度的 *L*-cys 并不能较好地抑制鲜切紫甘薯的褐变。当 *L*-cys 的处理浓度为 2.0 g/L 时,褐变度变化量最低,即护色效果最好,褐变度抑制率可达 62.5%。

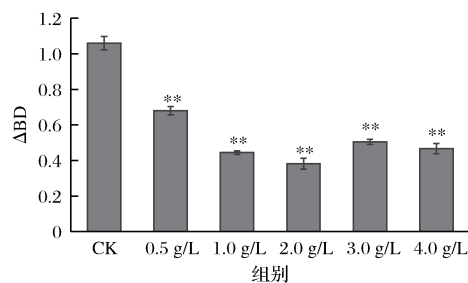


图4 不同浓度 *L*-cys 对鲜切紫甘薯褐变度变化量的影响

Fig. 4 Effect of different concentrations of *L*-cysteine on browning

注: ** 表示与空白组相比差异显著 ($P < 0.01$)。

以上结果表明,*L*-cys 处理浓度为 2.0 g/L 时,可较好地维持鲜切紫甘薯的质量、硬度及色泽,以及延缓紫甘薯褐变的作用。

2.5 *L*-cys 对鲜切紫甘薯 POD 活性的影响

过氧化物酶 (peroxidase, POD) 与衰老相关,其活性间接说明细胞内的过氧化作用的高低。当有 H_2O_2 存在时,POD 可氧化类黄酮、酚类物质,使其聚合成褐色物质,影响鲜切产品的感官^[22]。由图 5 可知,在整个储藏期间,鲜切紫甘薯的 POD 活性呈现先上升后下降的趋势,这与程双等的研究结果一致^[23],鲜切紫甘薯经 *L*-cys 处理后 POD 活性得到显著抑制,随贮藏时间的延长,处理组 POD 活性持续低于对照组。在第 6 天时达到峰值。储藏前期 POD 活性的上升可能是由于机械损伤导致的,同时可能还会产生 POD 同工酶;后期的下降可能是由于伤害产生的损伤作用减小导致^[24]。*L*-cys 处理组的 POD 活性始终

显著低于对照组 ($P < 0.05$), 相比较于对照组, 第 6 天时, 2.0 g/L *L*-cys 处理组对 POD 的抑制率可以达到 53.50%。2.0 g/L *L*-cys 能够有效抑制 POD 的活性。

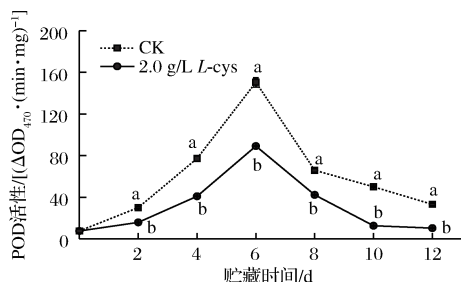


图 5 *L*-cys 对鲜切紫甘薯 POD 活性的影响

Fig. 5 Effect of *L*-cysteine on POD of fresh-cut purple sweet potato

2.6 *L*-cys 对鲜切紫甘薯 PPO 活性的影响

多酚氧化酶 (polyphenol oxidase, PPO) 是植物体内普遍存在的一种末端氧化还原酶^[25-26]。其是使鲜切产品发生酶促褐变的主要酶类, 多以潜伏的状态存在, 当果蔬组织受到破坏后, PPO 被激活, 使酚类物质被氧化为醌, 醌类物质聚合导致鲜切产品的褐变^[27]。PPO 是鲜切紫甘薯发生酶促褐变的主要酶类之一。由图 6 可知, 在整个贮藏期间, 多酚氧化酶活性一直呈现上升趋势。对照组 PPO 活性持续上升明显, *L*-cys 处理组可将鲜切紫甘薯 PPO 活力保持在一个较低水平, 缓慢上升, 第 12 天时, *L*-cys 处理组 PPO 活性对比初始只有轻微上升, 与对照组差别较大。可能是由于 *L*-cys 可与醌类物质的直接结合, 消除醌类物质之间或醌类物质与底物之间的反应, 从而起到抑制 PPO 活性的作用^[28]。2.0 g/L *L*-cys 能够有效地抑制 PPO 的活性, 与对照组之间始终存在显著性差异 ($P < 0.05$)。

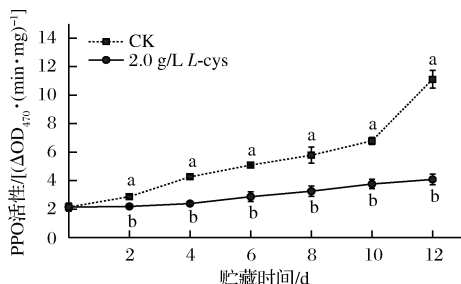


图 6 *L*-cys 对鲜切紫甘薯 PPO 活性的影响

Fig. 6 Effect of *L*-cysteine on PPO of fresh-cut purple sweet potato

2.7 *L*-cys 对鲜切紫甘薯 MDA 含量的影响

丙二醛 (malondialdehyde, MDA) 是膜脂过氧化的产物之一, 其含量的高低可以表示果蔬膜系统的损害情况^[29-30], 是评价鲜切产品腐烂情况的重要指标。由于切割导致细胞膜的脂过氧化程度会随着贮藏时间的延长而积累^[31], 所以鲜切紫甘薯的 MDA 含量随着贮藏时间的增长而增加。由图 7 可知, 鲜切紫甘薯的 MDA 含量不断上升, 2.0 g/L *L*-cys 处理组的 MDA 含量在贮藏过程中维持在较低水平, 且显著低于对照组 ($P < 0.05$), 这说明 *L*-cys 能够有效抑制鲜切紫甘薯 MDA 含量的生成, 从而延缓鲜切紫甘薯的衰老, 使鲜切紫甘薯保持新鲜, 延缓了褐变, 较好地维持了鲜切紫甘薯的色泽。

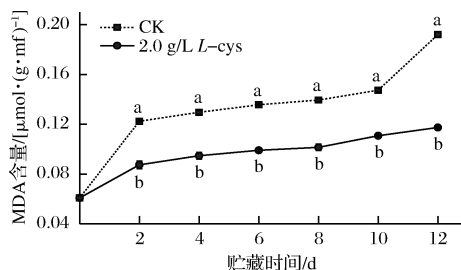


图 7 *L*-cys 对鲜切紫甘薯 MDA 含量的影响

Fig. 7 Effect of *L*-cysteine on MDA content of fresh-cut purple sweet potato

2.8 *L*-cys 对鲜切紫甘薯花色苷含量的影响

花色苷是一种天然紫色素, 稳定性较好, 安全无毒副作用^[32], 是紫甘薯的主要营养成分, 可以抑制致癌物质, 还具有抑制肥胖, 增强人体免疫力, 增强体质, 延缓衰老, 提升视力等多种作用^[33-35]。在整个贮藏期间, 花色苷含量呈下降趋势。第 12 天时, 2.0 g/L *L*-cys 处理组的花色苷含量 (144.70 ± 2.31) mg/100 g 显著高于对照组 (110.93 ± 1.02) mg/100 g, 说明 *L*-cys 可较好地保持鲜切紫甘薯的花色苷含量。

2.9 *L*-cys 对鲜切紫甘薯总酚含量的影响

在加工贮藏阶段, 酚类物质作为褐变底物的存在, 是造成果蔬褐变的重要原因, 在酚酶作用下极易发生氧化, 造成产品色泽的下降其含量直接影响鲜切产品的褐变进程。实验测得鲜切紫甘薯的总酚含量呈现先上升后下降的趋势, 这与潘艳芳等^[36]的研究结果相一致。对照组总酚含量持续高于处理组, 在第 6 天时达到峰值, 为褐变提供了丰富的底物, 从而促进褐变。对第 6 天时 *L*-cys 处理组与对照组的总酚含量进行了比较。贮藏到第 6 天时, 0.2 g/L *L*-cys 处理组的总酚含量为 (108.04 ± 1.17) mg/100 g, 显著低于对照组的 (126.62 ± 0.39) mg/100 g, 可以说明 *L*-cys

能较好地抑制鲜切紫甘薯总酚含量的增加。

3 结论与讨论

褐变主要分为酶促褐变和非酶促褐变,而果蔬的褐变主要是酶促褐变。褐变通常会损害产品的感官特性,一旦细胞壁和细胞膜失去其完整性,酶促氧化进行得更快。植物组织细胞中,酚类物质和酶类通过膜系统区域化分布不直接接触,多酚类物质存在于液泡内,而 PPO 多分布在细胞质内,所以即使有 O_2 存在的条件下也不会发生酶促褐变。但由于切分等胁迫条件导致细胞膜系统的完整性遭到破坏,底物酚类物质与 PPO 接触,当有 O_2 参与时,酚类物质会被氧化成醌类物质,进行一系列的反应,最后聚合形成黑、褐色物质,从而引起果蔬的褐变^[37]。本研究表明 L-cys 可以抑制鲜切紫甘薯 POD、PPO 活性,减少 MDA 以及总酚含量的积累,从而显著延缓鲜切紫甘薯的褐变,使其保有较好的色泽品质和营养价值,达到护色保鲜作用,延长货架期。通过比较得到 L-cys 溶液的最佳处理浓度为 2.0 g/L,使用这种护色方法,能使鲜切紫甘薯褐变度抑制率达到 62.5%。贮藏到第 12 天时,失重率、色差增长率分别为 0.13%、1.39%,POD 抑制率可达到 53.50%,鲜切紫甘薯的花色苷含量得到了很好的保持。

参 考 文 献

- [1] INTERPRETERS S. FAO-Food and Agriculture Organization of the United Nations [J]. Science, 2013, 118 (3077): 3.
- [2] LEE, MIN Y, BAE, et al. Changes in the physiological activities of four sweet potato varieties by cooking condition [J]. Korean Journal of Nutrition, 2012, 45(1): 12.
- [3] SHEKHAR S, MISHRA D, BURAGOHAIR A K, et al. Comparative analysis of phytochemicals and nutrient availability in two contrasting cultivars of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) [J]. Food Chemistry, 2015, 173(9): 57 - 65.
- [4] GRACE M H, YOUSEF G G, GUSTAFSON S J, et al. Phytochemical changes in phenolics, anthocyanins, ascorbic acid, and carotenoids associated with sweetpotato storage and impacts on bioactive properties [J]. Food Chemistry, 2014, 145(4): 717 - 724.
- [5] 张明,王燕.紫甘薯中的功能性成分研究[J].农产品加工,2010(5):65 - 67;70.
- [6] ISHIDA H, SUZUNO H, SUGIYAMA N, et al. Nutritive evaluation on chemical components of leaves, stalks and stems of sweet potatoes (*Ipomoea batatas* Poir) [J]. Food Chemistry, 2000, 68(3): 359 - 367.
- [7] SGROPPO S C, VERGARA L E, TENEV M D. Effects of sodium metabisulphite and citric acid on the shelf life of fresh cut sweet potatoes. [J]. Spanish Journal of Agricultural Research, 2010, 8(3): 686 - 693.
- [8] 赵嫚,李华,任飞.几种天然抑制剂对鲜切甘薯酶促褐变的影响[J].食品工业,2018,39(5):30 - 33.
- [9] 刘硕,王礼群,张欣怡,邓丽莉,曾凯芳.抗坏血酸钙和 ϵ -聚赖氨酸对鲜切甘薯保鲜护色效果的影响[J].食品与机械,2018,34(7):132 - 136;142.
- [10] 贾存江,王英燕,赵丽丽.L-半胱氨酸的生产方法及应用进展[J].齐鲁药事,2007(9):553 - 555.
- [11] 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(3):90 - 93.
- [12] 廖春丽,王衡,李亚平,等.L-半胱氨酸及金属离子对马铃薯、苹果、甘薯多酚氧化酶活性的影响[J].江苏农业科学,2015,(11):375 - 377.
- [13] ALI S, KHAN A S, MALIK A U. Postharvest L-cysteine application delayed pericarp browning, suppressed lipid peroxidation and maintained antioxidative activities of litchi fruit [J]. Postharvest Biology and Technology, 2016, 121: 135 - 142.
- [14] 魏洁茹,贺小贤,胡瑾.马铃薯加工过程中褐变抑制剂的研究[J].中国调味品,2017,42(1):57 - 60.
- [15] MONTGOMERY M W. Cysteine as an inhibitor of browning in pear juice concentrate [J]. Journal of Food Science, 2010, 48(3): 951 - 952.
- [16] RICO D, MARTÍN-DIANA A B, BARAT J M. Extending and measuring the quality of fresh-cut fruit and vegetables: A review [J]. Trends in Food Science & Technology, 2007, 18(7): 373 - 386.
- [17] JYOTHING K, PADMAJA G, MOORTHY S N, et al. Effect of pre-soaking treatments on the nutritional profile and browning index of sweet potato and yam flours [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2010, 11(2): 387 - 393.
- [18] 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: 154 - 155.
- [19] 吴晓敏,韩利文,王希敏,等.不同产地新鲜紫色马铃薯中花色苷及总酚的含量测定 [J]. 中国食物与营养, 2014, 20(5): 24 - 26.
- [20] KOMTHONG P, KATON T, IGURA N, et al. Changes in odours of apple juice during enzymatic browning [J]. Food Quality and Reference, 2006, 17: 497 - 504.
- [21] JIANG Y. Advances in understanding of enzymatic browning in harvested litchi fruit [J]. Food Chemistry, 2004, 88: 443 - 446.

- [22] MONTGOMERY M W. Cysteine as an inhibitor of browning in pear juice concentrate [J]. Journal of Food Science, 2010, 48(3): 951–952.
- [23] 程双. 鲜切果蔬酶促褐变发生机理及其调控的研究[D]. 大连: 大连工业大学, 2010.
- [24] MOHAN R, VIJAYAN P, KOLATTUKUDY P E. Developmental and tissue-specific expression of a tomato anionic peroxidase (*tap1*) gene by a minimal promoter, with wound and pathogen induction by an additional 5'-flanking region[J]. Plant Molecular Biology, 1993, 22(3): 475–490.
- [25] 李忠光, 龚明. 植物多酚氧化酶活性测定方法的改进[J]. 云南师范大学学报, 2005, 25(1): 44–45.
- [26] 高路, 李新华. 紫甘薯贮藏期间多酚氧化酶活性及褐变强度变化的研究[J]. 食品科学, 2008, 29(6): 424–427.
- [27] BALDWIN E A, NISPEROSCARRIEDO M O, BAKER R A. Use of edible coatings to preserve quality of lightly (and slightly) processed products [J]. Critical Reviews in Food Technology and Nutrition, 1995, 35(6): 509–524.
- [28] 孔维宝, 陆健, 赵海峰, 等. *L*-半胱氨酸抑制多酚氧化酶的机制研究[J]. 食品科学, 2007, 28(11): 66–70.
- [29] 向洋. 鲜切山药保鲜技术研究[D]. 重庆: 西南大学, 2009: 28.
- [30] 张冉, 王艳颖, 胡丽莎, 等. 茉莉酸甲酯对鲜切马铃薯生理生化品质的影响[J]. 现代园艺, 2018(19): 21–23.
- [31] 宋慕波, 帅良, 陈振林, 等. 热处理对抑制鲜切马蹄褐变效果的研究[J]. 食品科技, 2017, 42(5): 36–40.
- [32] 杨洋, 韦小英, 阮征. 国内外天然食品抗氧化剂的研究进展[J]. 食品科学, 2002, 23(10): 137–140.
- [33] 米聪. 紫薯中花色苷的提取纯化及稳定性研究[D]. 厦门: 集美大学, 2014.
- [34] CIPRIANO D P A, EKICI L, BARNES R C, et al. Pre-heating and polyphenol oxidase inhibition impact on extraction of purple sweet potato anthocyanins [J]. Food Chemistry, 2015, 180: 227–234.
- [35] TEOH C C, TRUONG V D, MCFEETERS R F, et al. Antioxidant activities, phenolic and β -carotene contents of sweet potato genotypes with varying flesh colours [J]. Food Chemistry, 2007, 103(3): 829–838.
- [36] 潘艳芳, 陈晓彤, 杨维巧, 等. 超声处理控制鲜切甘薯褐变的生理机制[J]. 包装工程, 2019, 40(9): 1–5.
- [37] 叶梅. 植物组织褐变的研究进展[J]. 重庆工商大学学报(自然科学版), 2005, 22(4): 326–329.

Study on the preservation of fresh-cut purple sweet potato by *L*-cysteine

FENG Chengcheng, YU Jun, WANG Chunling*

(College of Food Engineering and Biotechnology, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300457, China)

ABSTRACT To study the regulation of *L*-cysteine (*L*-cys) on the browning control and color preservation of fresh-cut purple sweet potato, purple sweet potato was cut and soaked with different concentrations of *L*-cys solution (0.5, 1, 2, 3, 4 g/L) for 15 min. The physical and chemical indicators as well as the nutrients content of fresh-cut purple sweet potato were determined. The results showed that *L*-cys treatment maintained the original color and the anthocyanin content, and delayed the decline of nutrients content of fresh-cut purple sweet potato. Besides, the browning of fresh-cut purple sweet potato was effectively alleviated by *L*-cys through inhibiting the formation of malondialdehyde (MDA) and the activities of peroxidase (POD) and polyphenol oxidase (PPO). Among them, the browning inhibition rate of fresh-cut purple sweet potato reached 62.5% at the concentration of 2 g/L *L*-cysteine after 12 d of storage. Therefore, the *L*-cysteine solution can be used as a simple and reasonable fresh-cut purple sweet potato preservation method to extend its shelf life and provide support for the development of fresh-cut purple sweet potato products.

Key words purple sweet potato; *L*-cysteine (*L*-cys); fresh cut; browning; color protection