

真空浸渍辅助L-半胱氨酸处理对贮藏期鲜切马铃薯的护色作用

额日赫木,王梦茹,张芳,宋小青,崔娜
(山西师范大学 食品科学学院,山西 临汾 041004)

摘要:为研究 L-半胱氨酸(L-cysteine, L-cys)对鲜切马铃薯的抗褐变机制,以鲜切马铃薯为研究对象,采用真空浸渍技术辅助 0.7 g/L 的 L-cys 溶液处理鲜切马铃薯,分析贮藏期鲜切马铃薯褐变指数(browning index, BI)、多酚氧化酶活性(polyphenol oxidase, PPO)、过氧化物酶活性(peroxidase, POD)、苯丙氨酸解氨酶活性(phenylalanineammonialyase, PAL)、总酚含量及抗氧化活性的变化。结果表明,在贮藏期,试验组鲜切马铃薯 BI 值、PPO 活性、POD 活性、PAL 活性均显著低于对照组($p < 0.05$)。试验组总酚含量在贮藏 0~6 d,显著低于对照组($p < 0.05$),但贮藏后期则显著上升($p < 0.05$)。另外,两组鲜切马铃薯抗氧化活性在贮藏期,均呈先上升后下降趋势。因此,结果表明, L-cys 处理可以抑制鲜切马铃薯酶活性,从而延缓鲜切马铃薯在贮藏期间的褐变。

关键词:鲜切马铃薯;真空浸渍;L-半胱氨酸;贮藏;褐变



开放科学(资源服务)标识码(OSID)

Anti-Browning Effect of Vacuum Impregnation Assisted-L-cysteine Treatment on Fresh-Cut Potatoes during Storage

Erihemu, WANG Meng-ru, ZHANG Fang, SONG Xiao-qing, CUI Na

(College of Food Science, Shanxi Normal University, Linfen 041004, Shanxi, China)

Abstract: The purpose of this study was to investigate the anti-browning mechanism of L-cysteine (L-cys) on fresh-cut potatoes. The fresh-cut potatoes were treated by vacuum impregnation assisted with 0.7 g/L L-cys solution. The effect of L-cys treatment on browning index (BI), the activities of polyphenol oxidase (PPO), peroxidase (POD) and phenylalanineammonialyase (PAL), the polyphenol contents and antioxidant capacities of fresh-cut potatoes was evaluated. The results showed that the BI value, PPO activity, POD activity and PAL of fresh-cut potatoes in the experimental group were significantly lower than those of control group ($p < 0.05$). The polyphenol content of the experimental group was significantly lower than those of the control group ($p < 0.05$) during 0-6 days of storage, but significantly increased in the later period of storage ($p < 0.05$). In addition, the antioxidant activity of fresh-cut potatoes in both groups increased first and then decreased during storage. Therefore, these results indicated that L-cys treatment could inhibit the enzymes activity in fresh-cut potatoes, thus delaying the browning of fresh-cut potatoes during storage.

Key words: fresh-cut potato; vacuum impregnation; L-cysteine; storage; browning

引文格式:

额日赫木,王梦茹,张芳,等.真空浸渍辅助L-半胱氨酸处理对贮藏期鲜切马铃薯的护色作用[J].食品研究与开发,2020,41(14):28-33

Erihemu, WANG Mengru, ZHANG Fang, et al. Anti-Browning Effect of Vacuum Impregnation Assisted-L-cysteine Treatment on Fresh-Cut Potatoes during Storage[J]. Food Research and Development, 2020, 41(14): 28-33

马铃薯作为世界四大主粮之一,是碳水化合物、膳食纤维、维生素及矿物质等营养物质的良好来源。全球有 100 多个国家种植马铃薯,总产量超过 3.0×10^8 t,并呈逐年上升趋势^[1-2]。马铃薯除鲜食之外,还可制作成薯片、薯条、薯泥等多种加工产品,但马铃薯在切分、削皮等加工过程中,由于机械性损伤而导致酶促褐变的产生,对其感官品质和营养价值产生不利影响^[3-5]。酶促褐变是由于多酚氧化酶(polyphenol oxidase, PPO)氧化酚类化合物形成邻醌,邻醌再聚合产生黑褐色物质。在完整的植物细胞中,氧化酶类和多酚存在于不同的细胞器中,因而不会发生氧化反应,但细胞组织破坏时,这种隔离被打破,从而引发酶促褐变^[6]。

化学方法是控制鲜切果蔬酶促褐变的主要手段之一,如采用柠檬酸^[7]、抗坏血酸及其衍生物^[7-9]、EDTA^[9]、曲酸^[10]处理,或采用多种护色剂组合方式处理^[8,11]。L-半胱氨酸(L-cysteine, L-cys)是一种生物体内常见的含硫氨基酸,广泛用于医药、食品、化妆品的加工制造。诸多研究表明,L-cys 是酶促褐变最有效的抑制剂之一,通过与醌中间体重新作用形成稳定无色化合物,防止酶促褐变的形成^[12]。但也有研究表明,L-cys 可直接作用于 PPO,降低其活性而抑制酶促褐变的发生^[13-14]。陈晨等^[14]研究了 L-cys 对鲜切苹果褐变控制的生理机制,结果表明,与蒸馏水处理(对照组)相比,在贮藏初期 L-cys 处理降低了鲜切苹果的 PPO 活性,显著抑制了鲜切苹果的褐变。廖春雨等^[15]研究了 L-cys 对马铃薯中 PPO 活性的影响,结果表明,L-cys 对马铃薯活性抑制作用明显,随着 L-cys 浓度增大,酶活性降低幅度越大。可见 L-cys 能够有效控制鲜切果蔬酶促褐变,但 L-cys 对控制贮藏过程中鲜切马铃薯酶促褐变的生理机制仍缺乏系统研究。

真空浸渍(vacuum impregnation, VI)作为食品加工中常用的非热物理辅助方法,广泛用于食品加工中^[16-17]。本研究拟采用 VI 辅助 L-cys,在一定的 VI 条件下,将 L-cys 溶液浸透到鲜切马铃薯细胞间隙内,以期达到抗褐变效果。通过分析鲜切马铃薯在 4 ℃、15 d 贮藏过程中,褐变指数(browning index, BI)、PPO、过氧化物酶(peroxidase, POD)、苯丙氨酸解氨酶(phenylalanine ammonia-lyase, PAL)活性、总酚含量及抗氧化活性等的变化,系统评价 L-cys 对鲜切马铃薯的护色效果,以为鲜切果蔬护色研究提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

马铃薯(晋薯 16 号):山西临汾尧丰市场;L-半胱

氨酸(食品级):广东味多美食品配料有限公司;邻苯二酚(分析纯):南京化学试剂股份有限公司;福林酚(分析纯):上海源叶有限公司;聚乙烯吡咯烷酮(polyvinyl pyrrolidone, PVPP):天津市科密欧有限公司;硼酸、硼砂(分析纯):天津市致远化学试剂有限公司;愈创木酚、水杨酸、磷酸氢二钠、磷酸二氢钠、碳酸钠等:均为分析纯,天津市光复科技发展有限公司。

1.2 仪器与设备

2XZ-1 型真空泵:上海万经泵业制造有限公司;NR110 型精密色差仪:深圳市三恩时科技有限公司;H1805R 型台式高速冷冻离心机:湖南湘仪实验室仪器开发有限公司;752 型紫外可见分光光度计:上海菁华科技仪器有限公司;LC-Q01 型切片机:佛山市顺德区韩泰电器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 鲜切马铃薯的 VI 处理

马铃薯经去皮、切片(0.3 cm),浸泡于 300 mL L-cys (0.7 g/L)溶液中,再置于真空浸渍装置内,在真空度 15.11×10^{-3} MPa 条件下处理 10 min,恢复大气压状态后再浸渍处理 10 min。将 VI 处理后的样品拭干后,均匀放入托盘中并用聚乙烯保鲜膜包好,置于 4 ℃冷库中贮藏 15 d。定期取样用于测定分析生理生化变化。

1.3.2 鲜切马铃薯 BI 值的测定

利用色差仪测定鲜切马铃薯 L^* 、 a^* 、 b^* 值,它是代表物体颜色的色度值,也就是颜色空间坐标,其中 L^* 值表示样品的明亮程度,即明度差, a^* 值样品的:红绿色调差, b^* 值代表样黄蓝色调差。根据陈晨等^[14]的研究计算鲜切马铃薯 BI 值。

1.3.3 相关酶活性的测定

PPO 活性是参照程丽林等^[18]的方法测定。酶活性的定义:以单位酶液每分钟内吸光度值每增加 0.01 为一个活力单位(U/g)。

POD 活性是参照 Terefe 等^[19]的方法测定,并稍作改动。称取 5 g 鲜切马铃薯,加入 20 mL 磷酸盐缓冲溶液(磷酸氢二钠、磷酸二氢钠,0.1 mol/L, pH 6.8)研磨,离心 15 min (12 000 r/min, 4 ℃),上清液即为粗酶液。分别取 1 mL 的磷酸缓冲溶液、1 mL 的愈创木酚溶液(0.02 mol/L)、2 mL 的过氧化氢溶液(0.02 mol/L)及 1 mL 酶液,加入到试管中。对照组加入 1 mL 超纯水代替酶液。将反应液充分摇匀,在 470 nm 处测定吸光值。每 15 s 记录一次数据,共记录 3 min。以单位酶液每分钟吸光度值每增加 0.01 为一个活力单位(U/g)。

PAL 活性是参照王礼群等^[20]的方法测定,并稍作改动。分别称取 10 g 鲜切马铃薯、0.8 g PVPP,加入

32 mL 硼酸缓冲液(pH 8.8, 含 0.4 $\mu\text{L/mL}$ 的巯基乙醇)冰浴研磨,离心 15 min (10 000 r/min, 4 $^{\circ}\text{C}$),上清液即为粗酶液。试管中分别加入 2 mL 硼酸缓冲液、2 mL L-苯丙氨酸(0.02 mol/L)及 0.5 mL 酶液,空白组以 0.5 mL 缓冲液替代酶液,在 290 nm 处测定吸光值。再将反应液水浴(37 $^{\circ}\text{C}$)30 min,加入 0.5 mL 盐酸(0.6 mol/L)终止反应,冷却后于 290 nm 处测定吸光值。以 1 h 内 A_{290} 增加 0.01 为 PAL 的一个活性单位。

1.3.4 总酚含量的测定

称取 10 g 鲜切马铃薯,加入 15 mL、80% 的乙醇冰浴研磨,离心 15 min (10 000 r/min, 4 $^{\circ}\text{C}$),再将上清液通过 0.45 μm 过滤器得到提取液备用。参照 Piccolella 等^[20]的方法测定总酚含量。

1.3.5 抗氧化能力的测定

以鲜切马铃薯对羟基自由基的清除能力,作为抗氧化能力的指标,并参照齐美娜^[21]的方法测定羟基自由基的清除能力。

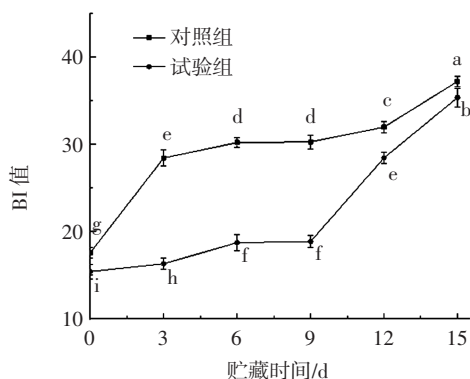
1.3.6 数据处理与统计分析

采用 IBM SPSS Statistics 20.0 软件对试验数据进行统计学处理,结果以平均值 $\pm$ 标准偏差表示。采用 Duncan 多重比较法进行差异显著性分析,显著性以 $p < 0.05$ 为显著。采用 Origin 2018 软件绘图。

2 结果与讨论

2.1 L-cys 处理对鲜切马铃薯 BI 值的影响

通过 BI 值可以反映出鲜切马铃薯的褐变程度,并能直观判断出其外观品质。L-cys 处理对贮藏期鲜切马铃薯 BI 值的影响见图 1。



a~i 表示采用 Duncan 多重比较法进行了差异显著性分析,分析贮藏期内同组或非同组之间的统计学上的差异,达到横向或纵向对比的效果,并用字母标注差异。

图 1 L-cys 处理对贮藏期鲜切马铃薯 BI 值的影响

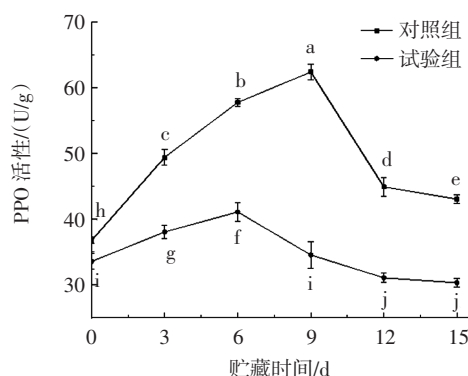
Fig.1 Effect of L-cys treatment on BI value of fresh-cut potatoes during storage

如图 1 所示,在贮藏期间,试验组与对照组鲜马铃

薯 BI 值总体呈上升趋势,但试验组 BI 值显著低于对照组 BI 值($p < 0.05$),表明在贮藏期内 L-cys 处理延缓了鲜切马铃薯褐变程度。在贮藏前 3 d,对照组鲜切马铃薯 BI 值显著上升,随后呈平缓上升趋势。试验组在前 9 d 的贮藏期内,鲜切马铃薯 BI 值呈缓慢上升趋势,但贮藏后期呈急促上升趋势,证明在 0~9 d 内,L-cys 处理对鲜切马铃薯酶促褐变的控制作用最明显。

2.2 L-cys 处理对鲜切马铃薯相关酶活性的影响

鲜切马铃薯酶促褐变程度与 PPO 活性强弱密切相关,L-cys 对鲜切马铃薯 PPO 活性的影响如图 2 所示。



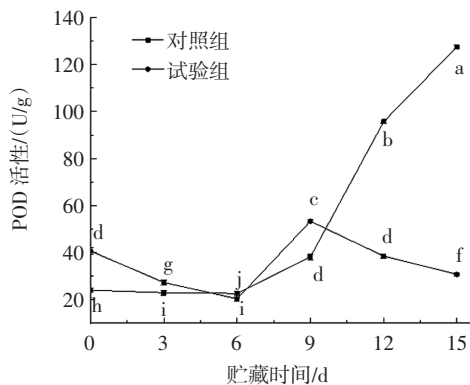
a~i 表示采用 Duncan 多重比较法进行了差异显著性分析,分析贮藏期内同组或非同组之间的统计学上的差异,达到横向或纵向对比的效果,并用字母标注差异。

图 2 L-cys 处理对贮藏期鲜切马铃薯 PPO 活性的影响

Fig.2 Effect of L-cys treatment on PPO activity of fresh-cut potatoes during storage

试验组和对照组鲜切马铃薯 PPO 活性,随贮藏时间的延长均呈先上升后下降趋势,但试验组 PPO 活性显著低于对照组($p < 0.05$)活性。在整个贮藏期,对照组的 PPO 活性变化趋势与陈晨等^[14]的研究结果相似,在贮藏第 9 天时达到最大值(62.41 U/g)。试验组 PPO 活性在贮藏前期呈平缓上升趋势,在第 4 天时达到最高(41.11 U/g),随后呈平缓下降趋势。目前 L-cys 对鲜切果蔬褐变的抑制机理尚有争论,但 Ali 等^[17]研究认为 L-cys 是一种高效的 PPO 抑制剂,它对膜 PPO 活性具有较强的抑制作用。L-cys 的-SH 基团对 PPO 活性中心铜离子具有亲和力,通过对 PPO 活性中心的结构性修饰而改变其活性。在本研究中,贮藏期内 L-cys 处理延迟了鲜切马铃薯 PPO 活性的上升,进而可降低酶促褐变的程度。

POD 是一种存在于植物体中活性较高的酶,与呼吸作用、光合作用及氧化作用密切相关。在鲜切果蔬中,POD 可以利用 H_2O_2 释放出的 O_2 氧化酚类物质,引发酶促褐变反应。曲酸处理对贮藏期鲜切马铃薯 POD 活性的影响见图 3。



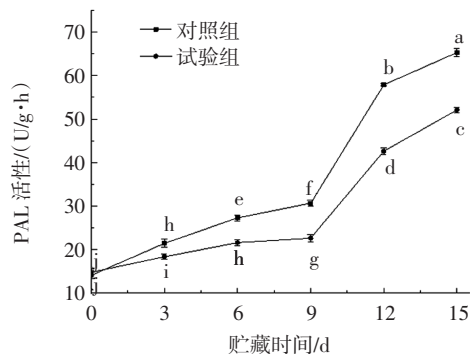
a~i 表示采用 Duncan 多重比较法进行了差异显著性分析,分析贮藏期内同组或非同组之间的统计学上的差异,达到横向或纵向对比的效果,并用字母标注差异。

图3 L-cys 处理对贮藏期鲜切马铃薯 POD 活性的影响

Fig.3 Effect of L-cys treatment on POD activity of fresh-cut potatoes during storage

由图3可知,在贮藏0~9 d,试验组鲜切马铃薯 POD 活性呈先下降后上升趋势,除第6天外,试验组 POD 活性显著低于对照组($p < 0.05$)。但随着贮藏时间延长,对照组 POD 活性呈急促上升趋势,试验组则呈下降趋势,这可能与贮藏期的微生物侵染有关,贮藏后期微生物侵染程度加大,从而诱导对照组鲜切马铃薯 POD 活性升高,也可能是贮藏过程中产生了新的 POD 同工酶^[23]。一般许多果蔬组织中 POD 活性都伴随机械性损伤而升高,但在贮藏期内,试验组 POD 活性并没出现大幅上升现象,说明 L-cys 处理有效抑制了鲜切马铃薯 POD 活性升高。

PAL 主要存在于高等植物、酵母、菌类等生物体内,为多种酚类化合物及类黄酮终产物提供前体,可催化 L-cys 脱去氨而促进酚类化合物的合成。曲酸处理对贮藏期鲜切马铃薯 PAL 活性的影响见图4。



a~i 表示采用 Duncan 多重比较法进行了差异显著性分析,分析贮藏期内同组或非同组之间的统计学上的差异,达到横向或纵向对比的效果,并用字母标注差异。

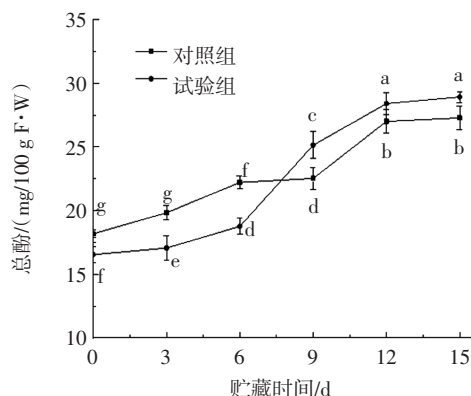
图4 L-cys 处理对贮藏期鲜切马铃薯 PAL 活性的影响

Fig.4 Effect of L-cys treatment on PAL activity of fresh-cut potatoes during storage

由图4可知,在贮藏期内试验组和对照组鲜切马铃薯 PAL 活性均呈先上升趋势,这可能是切割伤害诱导了贮藏过程中鲜切马铃薯 PAL 活性升高^[24],但在整个贮藏期内试验组 PAL 活性均显著低于对照组($p < 0.05$),说明 L-cys 处理(试验组)可以延缓鲜切马铃薯 PAL 活性的上升,有利于控制鲜切马铃薯酚类化合物的合成。

2.3 L-cys 处理对鲜切马铃薯总酚含量的影响

多酚化合物是果蔬中重要的抗氧化物质之一,同时也是 PPO、POD 的底物,参与果蔬的酶促褐变反应^[25]。L-cys 处理对贮藏期鲜切马铃薯多酚含量的影响见图5。



a~i 表示采用 Duncan 多重比较法进行了差异显著性分析,分析贮藏期内同组或非同组之间的统计学上的差异,达到横向或纵向对比的效果,并用字母标注差异。

图5 L-cys 处理对贮藏期鲜切马铃薯多酚含量的影响

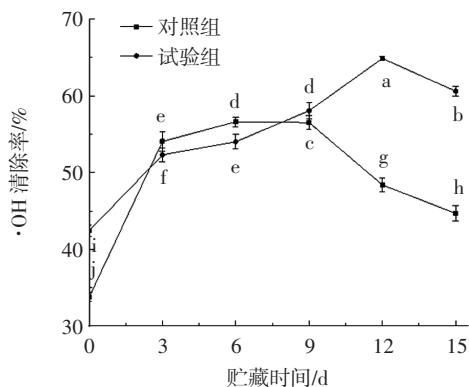
Fig.5 Effect of L-cys treatment on polyphenol content of fresh-cut potatoes during storage

如图5所示,试验组和对照组鲜切马铃薯总酚含量都呈上升趋势。在贮藏前6 d,试验组总酚含量显著低于对照组($p < 0.05$),但随着贮藏时间的延长则相反。贮藏期间的鲜切马铃薯 PAL 活性逐渐升高,促进了酚类化合物的合成,因而两组的总酚含量都呈上升趋势。但随贮藏时间延长(9 d~15 d),由于试验组鲜切马铃薯 PPO 活性显著低于对照组($p < 0.05$),这可能是造成试验组总酚含量高于对照组的原因($p < 0.05$)。

2.4 L-cys 处理对鲜切马铃薯抗氧化能力的影响

羟基自由基是自然界中仅次于氟的强氧化剂,具有极强的氧化能力。L-cys 处理对贮藏过程中鲜切马铃薯羟基自由基清除能力的影响见图6。

如图6所示,在贮藏期间,试验组鲜切马铃薯对羟基自由基清除能力呈上升趋势,对照组则呈先上升后下降趋势。在贮藏后期(12 d~15 d),试验组对羟基自由基清除能力显著高于对照组($p < 0.05$),这可能与试



a~i 表示采用 Duncan 多重比较法进行了差异显著性分析,分析贮藏期内同组或非同组之间的统计学上的差异,达到横向或纵向对比的效果,并用字母标注差异。

图 6 L-cys 处理对贮藏过程中鲜切马铃薯羟基自由基清除能力的影响

Fig.6 Effect of L-cys treatment on hydroxyl radical scavenging activity of fresh-cut potatoes during storage

验组总酚含量在贮藏后期的合成和积累有关^[26]。总体来说,贮藏期间 L-cys 处理诱导了鲜切马铃薯中总抗氧化物质的合成和积累,其清除羟基自由基能力得到了提高,在一定程度上可减轻活性氧对马铃薯细胞组织产生的氧化损伤。

3 结论

目前诸多国内外学者认为,L-cys 处理对果蔬酶促褐变控制机理有两种可能的形式。一种是硫醇类化合物可以结合 PPO 分子活性中心的铜离子从而改变其活性。另一种是硫醇类化合物可在酶促反应过程中与产生的醌类发生非酶催化反应,而形成一种化学性质稳定的无色化合物^[7,14,23,27]。在本研究中,与对照组比较,L-cys 处理对贮藏期鲜切马铃薯 PPO 和 POD 活性均有显著抑制作用。说明 L-cys 可能与马铃薯酶蛋白不可逆地结合,从而抑制其酶促褐变反应^[13]。但也有研究认为 L-cys 能与酶促褐变产物醌类化合物反应生成稳定的无色化合物,而防止醌类氧化形成有色物质^[28]。根据本研究结果,认为贮藏期鲜切马铃薯 BI 的变化由以上两种机制共同作用的结果。另外,切割损伤诱导了贮藏期鲜切马铃薯 PAL 活性的升高,随之总酚含量也呈升高趋势,但与对照组相比,L-cys 处理显著抑制了贮藏期鲜切马铃薯 PAL 活性 ($p<0.05$)。由此可见,通过 L-cys 处理可延缓鲜切马铃薯贮藏期间的酶促褐变,进而可保护其贮藏品质。

参考文献:

[1] CAMIRE M E, KUBOW S, Donnelly D J. Potatoes and human

- health[J]. Critical Reviews in Food Science & Nutrition, 2009, 49(10): 823-840
- [2] Potato Facts and Figures. International Potato Center (CIP) [EB/OL]. [2019-7-20]. <https://cipotato.org/crops/potato/>
- [3] SABEENA K H, FARVIN H D, GREJSEN H D, et al. Potato peel extract as a natural antioxidant in chilled storage of minced horse mackerel (*Trachurus trachurus*): Effect on lipid and protein oxidation[J]. Food Chemistry, 2012, 131(3): 843-851
- [4] TIERNO R, LÓPEZ A, RIGA P, et al. Phytochemicals determination and classification in purple and red fleshed potato tubers by analytical methods and near infrared spectroscopy[J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 2015, 96(6): 1888-1899
- [5] BUßLER S, EHLBECK J, SCHLÜTER O K. Pre-drying treatment of plant related tissues using plasma processed air: Impact on enzyme activity and quality attributes of cut apple and potato[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2017, 40: 78-86
- [6] YILDIZ G. Control of enzymatic browning in potato with calcium chloride and ascorbic acid coatings[J]. Food Health, 2019, 5: 121-127
- [7] ALI H M, EL-GIZAWY A M, EL-BASSIOUNY R E I, et al. Browning inhibition mechanisms by cysteine, ascorbic acid and citric acid, and identifying PPO-catechol-cysteine reaction products[J]. Journal of Food Science & Technology, 2015, 52(6): 3651-3659
- [8] 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
- [9] GUAMBA I R, SVANBERG U. Effects of blanching, acidification, or addition of EDTA on vitamin C and β -carotene stability during mango purée preparation[J]. Food Science & Nutrition, 2016, 4: 706-715
- [10] SUN B B, QI L, MU X Y, et al. A chiral ligand exchange CE system for monitoring inhibitory effect of kojic acid on tyrosinase[J]. Talanta, 2013, 116: 1121-1125
- [11] 周文萍,陈经聪,罗兴武.复合护色液对鲜切马铃薯防褐变研究[J].食品研究与开发, 2013, 34(21): 6-9
- [12] İYİDOĞAN N F, BAYINDIRLI A. Effect of L-cysteine, kojic acid and 4-hexylresorcinol combination on inhibition of enzymatic browning in Amasya apple juice[J]. Journal of Food Engineering, 2004, 62(3): 299-304
- [13] 邱龙新,黄浩,陈清西.半胱氨酸对马铃薯多酚氧化酶的抑制作用[J].食品科学,2006, 27(4): 37-40
- [14] 陈晨,胡文忠,姜爱丽,等.半胱氨酸控制鲜切苹果褐变的生理机制[J].食品科学, 2018, 39(3): 282-288
- [15] 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, 43(11): 375-377
- [16] KANG J W, KANG D H. Antimicrobial efficacy of vacuum impregnation washing with malic acid applied to whole paprika, carrots, king oyster mushrooms and muskmelons[J]. Food Control, 2017, 82: 126-135

- [17] YILMAZ F M, BILEK S E. Ultrasound-assisted vacuum impregnation on the fortification of fresh-cut apple with calcium and black-carrot phenolics[J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2018, 48: 509-516
- [18] 程丽林,张长峰,王庆国.鲜切马铃薯褐变抑制技术的研究进展[J].食品研究与开发, 2016, 37(5): 177-182
- [19] TEREFE N S, TEPPER P, ULLMAN A, et al. High pressure thermal processing of pears: Effect on endogenous enzyme activity and related quality attributes[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2016, 33: 56-66
- [20] 王礼群,刘硕,杨春贤,等.鲜切甘薯不同部位褐变机理差异[J].食品科学, 2018, 39(1): 285-290
- [21] PICCOLELLA S, FIORENTINO A, PACIFICO S, et al. Antioxidant properties of sour cherries (*Prunus cerasus* L.): Role of colorless phytochemicals from the methanolic extract of ripe fruits[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2008, 56(6): 1928-1935
- [22] 齐美娜.紫色马铃薯中花色苷的提取、产品研制及其抗氧化活性的研究[D].哈尔滨:东北农业大学, 2013
- [23] 程双,胡文忠,马跃,等.鲜切果蔬酶促褐变发生机理的研究[J].食品工业科技, 2010, 31(1): 74-77, 80
- [24] COUTURE R, CANTWELL M I, KE D, et al. Physiological attributes related to quality attributes and storage life of minimally processed lettuce[J]. Hort Science, 1993, 28(7): 723-725
- [25] SUKHONTHARA S, KAEWKA K, THEERAKULKAIT C. Inhibitory effect of rice bran extracts and its phenolic compounds on polyphenol oxidase activity and browning in potato and apple puree[J]. Food Chemistry, 2016, 190: 922-927
- [26] CHEN C, HU W Z, HE Y B, et al. Effect of citric acid combined with UV-C on the quality of fresh-cut apples[J]. Postharvest Biology & Technology, 2016, 111: 126-131
- [27] CHRISTINE R, FLORENCE R, CLAUDE R, et al. A kinetic study of the inhibition of palmito polyphenol oxidase by L-Cysteine[J]. International Journal of Biochemistry & Cell Biology, 1996, 28(4): 457-463
- [28] 高愿军,南海娟,郝亚勤.鲜切苹果品质保持研究[J].食品科学, 2006, 27(8): 254-258

收稿日期:2019-07-30

欢迎订阅 2021 年《食品研究与开发》

《食品研究与开发》是由天津市食品研究所有限公司和天津市食品工业生产力促进中心主办,国内外公开发行的食品专业科技期刊,1980年创刊,半月刊,采用国际流行开本大16开。其专业突出,内容丰富,印刷精美,是一本既有基础理论研究,又包括实用技术的刊物。本刊已被“万方数据库”、“中文科技期刊数据库”、《乌利希期刊指南》、美国《化学文摘》、英国国际农业与生物科学研究中心(CABI)、英国《食品科技文摘》(FSTA)等知名媒体收录,并被列入“中文核心期刊”、“中国科技核心期刊”、RCCSE中国核心学术期刊(A)。主要栏目有:基础研究、应用技术、检测分析、生物工程、专题论述、食品机械等。

本刊国内统一刊号 CN 12-1231/TS;国际刊号 ISSN 1005-6521;邮发代号:6-197。全国各地邮局及本编辑部均可订阅。从本编辑部订阅全年刊物享八折优惠。2020年定价:30元/册,全年720元。

本编辑部常年办理邮购,订阅办法如下:

(1)邮局汇款。地址:天津市静海区静海经济开发区南区科技路9号;收款人:《食品研究与开发》编辑部;邮政编码:301600。

(2)银行汇款。开户银行:工商银行静海支行,行号:102110000863。

账号:0302095119300204171;单位:天津市食品研究所有限公司。

《食品研究与开发》编辑部

www.tjfrad.com.cn

E-mail: tjfood@vip.163.com

电话(传真): 022-59525671