

热处理对鲜切马铃薯褐变及挥发性物质的影响

代羽可欣^{1,2}, 王宇滨¹, 赵文婷¹, 徐雨佳¹, 王盼¹, 赵晓燕¹, 谢宏², 郑鄢燕^{1*}

(1.北京市农林科学院农产品加工与食品营养研究所, 果蔬农产品保鲜与加工北京市重点实验室, 农业农村部蔬菜采后处理重点实验室, 北京 100097) (2.沈阳农业大学食品学院, 辽宁沈阳 110866)

摘要: 褐变是影响鲜切马铃薯贮藏品质的重要因素之一。该研究探讨 45、50 °C 热处理 1~4 min 对鲜切马铃薯褐变和挥发性风味物质的影响, 以期为鲜切马铃薯品质保持提供调控技术和理论依据。45、50 °C 热处理 4 min 鲜切马铃薯在室温下 2 h 就观察到轻微的褐变, L^* 值下降 10.51%、14.96%; a^* 值上升 2.74、3.84, 而 45、50 °C 热处理 1~3 min 组鲜切马铃薯 6 h 内均未观察到褐变现象。与对照组相比, 45 °C 热处理 1~3 min 组鲜切马铃薯硬度无显著变化, 而其余热处理组硬度显著降低; 两种温度 1~3 min 热处理组鲜切马铃薯苯丙氨酸解氨酶 (PAL)、过氧化物酶 (POD) 酶活性和总酚含量分别降低了 27.81%~33.68%、18.33%~50.37%、6.22%~28.92%。45 °C 热处理 1~3 min 和 50 °C 热处理 1~2 min 热处理组较好的维持鲜切马铃薯原有的挥发性风味物质。总的来说, 45、50 °C 热处理 1~3 min 可有效的抑制鲜切马铃薯褐变; 其中, 45 °C 热处理 3 min 抑制马铃薯褐变的同时较好维持了硬度、色泽、抗坏血酸含量和挥发性风味物质。

关键词: 热处理; 鲜切马铃薯; 褐变; 挥发性物质

文章编号: 1673-9078(2023)04-289-296

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2023.4.0470

Effect of Heat Treatment on the Browning and Volatile Compounds of Fresh-cut Potatoes

DAI Yukexin^{1,2}, WANG Yubin¹, ZHAO Wenting¹, XU Yujia¹, WANG Pan¹, ZHAO Xiaoyan¹, XIE Hong², ZHENG Yanyan^{1*}

(1. Institute of Agricultural Food Processing and Nutrition, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing Key Laboratory of Agricultural Products of Fruits and Vegetables Preservation and Processing, Key Laboratory of Vegetable Postharvest Processing, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100097, China)

(2. College of Food Science, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China)

Abstract: Browning is one of the important factors that affect the storage quality of fresh-cut potatoes. This study aimed to reveal the effect of 1 to 4 min of heat treatment at 45 °C and 50 °C on the browning and volatile flavor compounds of fresh-cut potatoes to potentially provide a regulation technology and theoretical basis for the quality maintenance of fresh-cut potatoes. Slight browning of fresh-cut potatoes was observed after 4 min of heat treatment at 45 °C and 50 °C when the samples were left at room temperature for 2 h. In particular, the L^* value decreased by 10.51% and 14.96% while the a^* value increased by 2.74 and 3.84, respectively. The browning phenomenon was not observed on fresh-cut potatoes within 6 h of heat treatment at 45 °C and 50 °C for 1 to 3 min. Compared with the control group, there was no significant change in the firmness of fresh-cut potatoes in the group subjected to heat treatment at 45 °C for 1 min to 3 min; however, the firmness of fresh-cut potatoes in other heat treatment groups decreased significantly. The enzyme activities of phenylalanine ammonia-lyase (PAL) and

引文格式:

代羽可欣, 王宇滨, 赵文婷, 等. 热处理对鲜切马铃薯褐变及挥发性物质的影响[J]. 现代食品科技, 2023, 39(4): 289-296.

DAI Yukexin, WANG Yubin, ZHAO Wenting, et al. Effect of heat treatment on the browning and volatile compounds of fresh-cut potatoes [J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(4): 289-296.

收稿日期: 2022-04-17

基金项目: 北京市农林科学院协同创新中心 (KJCX201915); 北京市农林科学院杰出科学家专项项目 (JKZX201908); 现代农业产业技术体系建设专项资金项目 (CARS-23)

作者简介: 代羽可欣 (1996-), 女, 硕士, 研究方向: 食品加工与安全, E-mail: 290708744@qq.com

通讯作者: 郑鄢燕 (1987-), 女, 博士, 研究方向: 农产品加工与贮藏, E-mail: zhengyanyan@nervc.org

peroxidase (POD), and the total phenolic content of fresh-cut potatoes were effectively altered by heat treatment for 1 to 3 min at the two temperatures, with the activities/content decreasing by 27.81% to 33.68%, 18.33% to 50.37%, and 6.22% to 28.92%, respectively. Heat treatment at 45 °C for 1 to 3 min and 50 °C for 1 to 2 min could better maintain the original volatile flavor compounds of fresh-cut potatoes. Overall, the browning of fresh-cut potatoes was effectively inhibited by 1 to 3 min of heat treatment at 45 °C and 50 °C. Heat treatment at 45 °C for 3 min inhibited the browning of potatoes but maintained their firmness, color, ascorbic acid content, and volatile flavor compounds.

Key words: heat treatment; fresh-cut potatoes; browning; volatile compounds

鲜切果蔬又名最少加工果蔬,起源于20世纪50年代初的美国,通常指采后经过清洗、去皮、切分、修整、包装、烹饪等一系列的加工工艺后,直接食用的产品。因其新鲜、营养、方便等特点受到广大消费者的喜爱^[1,2]。马铃薯作为全球第四大粮食作物,具有低热量,高营养,高膳食纤维等特点^[3,4]。然而,其在去皮和切分的过程中,由于细胞组织破坏会引起一系列生理代谢变化,诱导褐变现象的发生,不仅影响了马铃薯外观、色泽、风味还会降低其营养价值^[5]。因此,针对鲜切马铃薯产品的防褐变技术的开发和应用极为重要。

热处理指采用40~60 °C的热水或热空气处理果蔬,通过抑制活性氧的积累,钝化相关酶的活性来延缓褐变、冷害等现象的发生,从而维持果蔬良好的贮藏品质的一种物理保鲜方法,具有安全、无毒、成本低廉、可操作性强、无化学残留等优点,是许多鲜切企业常用的保鲜方法^[6]。刘战丽等^[7]对鲜切马铃薯进行35 °C热水处理10 min,可有效的抑制鲜切马铃薯的呼吸速率,较好的维持马铃薯表面的色泽和pH值,抑制多酚氧化酶、过氧化物酶的活性,从而延长马铃薯货架期。Aguayo等^[8]采用6%抗坏血酸钙浸泡结合55 °C热水处理鲜切苹果2 min,可通过提高其体内抗氧化系统,抑制褐变发生,且保持较好的感官和香气品质,鲜切苹果的货架期可达21 d。袁明芬等^[9]采用35、45、55 °C热水处理鲜切香蕉30 min,均抑制了褐变酶和总酚含量的增长,延缓了香蕉失重率的上升,维持香蕉原有的色泽,其中45 °C热处理对香蕉褐变的抑制效果最佳。热处理在甘薯^[10]、马蹄^[11]、生菜^[12]、莲藕^[13]等鲜切果蔬上应用已有报道,然而在鲜切马铃薯上研究很少,因此该研究十分有必要。

荷兰15号马铃薯是我国主摘品种之一,其产量高,平均每667 m²产量3 000~4 000 kg,薯块较大且匀称,果实脆嫩爽口,商品性极高,是加工和餐饮企业常用的品种,但其鲜切后易褐变^[14,15]。因此,本文选用荷兰15号马铃薯为实验研究材料,探究其在45 °C和50 °C热处理后色泽、硬度、褐变相关酶、总酚、抗坏血酸和挥发性风味的变化,确定鲜切马铃薯的最佳热处理条件,以期鲜切马铃薯品质保持提供

技术支持和理论指导。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

荷兰15号马铃薯,大小、形状一致,无机械损伤,购于山东滕州农贸市场;甲醇、盐酸、三氯乙酸、磷酸、无水乙醇、三氯化铁、抗坏血酸等试剂均为分析纯,购于北京国药集团化学试剂有限公司;苯丙氨酸解氨酶(PAL)、多酚氧化酶(POD)、过氧化物酶(PPO)试剂盒,购于北京索莱宝公司。

电子天平,梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司;DZKW-4电子恒温水浴锅,北京中兴伟业仪器有限公司;低温冷冻研磨机,德国IKA有限公司;EOS80D照相机,日本佳能公司;CM-3700分光测色仪,日本柯尼卡-美能达公司;TA-XT Plus质构仪,英国SMS公司;PEN3电子鼻,德国AIRSENSE公司;UV-1800紫外-可见分光光度仪,日本岛津公司;SpectraMax iD5多功能酶标 Molecular Devices,美谷分子仪器(上海)有限公司;3-18K高速冷冻离心机,德国Sigma公司;YZ-600果蔬离心脱水机,亿尊环保科技有限公司;SC-316海尔冰箱,青岛海尔股份有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 原材料的处理

马铃薯清洗3次、去皮后将其切分成5 mm的薄片,再次清洗2次,备用。

1.2.2 热处理

马铃薯片于45、50 °C的恒温水浴锅中分别热处理1、2、3、4 min,对照组为水泡相应时间的马铃薯片,采用果蔬离心机3 000 r/min离心脱水,正转30 s,反转30 s,以去除马铃薯表面水分。鲜样于当天进行褐变观察、硬度、风味的测定。样品经液氮冷冻存放于-80 °C冰箱中,用于酶活、总酚和抗坏血酸的测定。

1.2.3 褐变情况观察和色泽的测定

褐变情况观察参考赵文婷等^[15]的方法,稍作更改。每个处理组观察12片马铃薯片褐变情况,随机选取4片于摄影箱中,室温下(25 °C)于0、2、4、6 h

拍照观察不同热处理组对鲜切马铃薯褐变情况的影响。相机曝光参数(光圈值 f/100, 曝光时间 1/100 s, ISO-400, 焦距 50 mm)。

色泽的测定采用色差仪对室温(25 °C)下不同贮藏时间(0、2、4、6 h)的鲜切马铃薯色泽进行测定, 每个处理组选取 5 片马铃薯, 每片马铃薯测 2 个点, 其中: L^* 值表示亮暗, a^* 表示红绿。

1.2.4 硬度的测定

参考黄欢等^[16]测定方法略有修改。采用质构仪质地多面分析(Texture Profile Analysis, TPA)模式测定; 探头: P5; 测前速度 1.0 mm/s, 测试速度 1.0 mm/s, 测后速度 10.0 mm/s, 距离 5 mm。平行测定 3 次取平均值。

1.2.5 挥发性风味物质的测定

挥发性风味物质的测定采用包含 10 根传感器的 PEN3 电子鼻进行测定。测试方法参考郑鄢燕等^[17]略有修改。称取鲜切马铃薯 7 g, 切块置于顶空瓶中, 25 °C 静置 5 min 使样品挥发性成分达到平衡状态, 然后进行测定。检测条件: 25 °C 室温条件下测定, 以洁净干燥的空气为载气, 传感器清洗时间为 70 s, 自动调零 5 s, 待测样品准备时间 5 s, 测定时载气流速为 300 mL/min, 测定间隔时间为 1 s, 检测 180 s。利用 Winmuster 软件对测定数据进行主成分分析(Principal Component Analysis, PCA), 每组样品重复测定 3 次, 选取较平稳的 157~159 s 的数据点进行分析。

表 1 PEN3 型电子鼻传感器性能描述

Table 1 Performance descriptions of PEN3 electronic nose sensors

陈列序号	传感器名称	性能描述
1	W1C	对芳香型化学物灵敏
2	W5S	对氮氧化物较为灵敏
2	W3C	主要对氨水灵敏
4	W6S	主要对氢气有选择性
5	W5C	检测烷烃、芳香型化合物
6	W1S	对甲烷灵敏
7	W1W	对硫化物、萜烯类化合物灵敏
8	W2S	对乙醇、和部分芳香型化合物灵敏
9	W2W	对芳香成分灵敏
10	W3S	检测烷烃型化合物

1.2.6 苯丙氨酸解氨酶(PAL)酶活的测定

参考 PAL 试剂盒说明书进行测定。取 4 g 样品加入 4 mL 提取液, 290 nm 酶标仪测定。每个处理组重复测定 3 次。实验结果以 (U/g FW) 表示。

1.2.7 过氧化物酶(POD)酶活的测定

参考 POD 试剂盒说明书进行测定。取 2 g 样品加

入 2 mL 提取液, 于 470 nm 分光光度法进行测定。记录 30 s 的吸光度值 A_1 和 90 s 下的吸光度值 A_2 , $\Delta A=A_2-A_1$, 每个处理组重复测定 3 次。实验结果以 (U/g, 以湿质量计) 表示。

1.2.8 多酚氧化酶(PPO)酶活的测定

参考 PPO 试剂盒说明书进行测定。取 1 g 样品加入 4 mL 提取液, 于 410 nm 分光光度法进行测定。每个处理组重复测定 3 次。实验结果以 (U/g, 以湿质量计) 表示。

1.2.9 总酚的测定

参考曹建康^[18]的方法进行测定, 取 2 g 样品加入 4 mL 的 1% 盐酸-甲醇溶液进行提取, 4 °C 下避光提取 20 min, 10 000 r/min, 4 °C 离心 7 min, 以 1% 盐酸-甲醇溶液作为参比, 取滤液于 280 nm 处酶标仪进行测定, 每个处理组重复测定 3 次。实验结果以 (OD₂₈₀/g, 以湿质量计) 表示。

1.2.10 抗坏血酸含量的测定

参考曹建康^[18]的方法进行测定, 称取 2 g 样品于试管中加入 2 mL 的 50 g/L 三氯乙酸溶液, 10 000 r/min, 4 °C 下离心 7 min。取上清液 1 mL 加 1 mL 的 50 g/L 三氯乙酸溶液, 酶标仪于 534 nm 处测定, 每个处理组重复测定 3 次。实验结果以 (mg/100 g, 以湿质量计) 表示。

1.3 数据分析

采用 Microsoft Office Excel 2016 进行数据处理, Origin 2018 进行作图。IBM SPSS Statistics 26 邓肯检验进行差异显著性分析 ($P<0.05$)。Winstat 软件进行电子鼻主成分 PCA 分析。

2 结果与分析

2.1 热处理对鲜切马铃薯褐变情况和色泽的影响

褐变是影响消费者购买马铃薯的关键因素^[19]。为了模仿生活消费中鲜切马铃薯室温放置情景, 将鲜切马铃薯室温下进行观察 6 h。如图 1 所示, 对照组、45 °C 和 50 °C 热处理 4 min 组鲜切马铃薯 2 h 发生褐变, 且随着贮藏时间的延长, 褐变由边缘向中心扩散, 这可能与长时间热处理损伤了鲜切马铃薯组织细胞有关。45、50 °C 热处理 1~3 min 均可保持鲜切马铃薯 6 h 内不褐变。结果表明热处理存在温度和时间临界, 当温度和时间超过临界有可能诱发褐变现象。Abreu 等^[20]和 Kabelitz 等^[21]也发现, 当热处理温度大于 45、60 °C, 热处理时间超过 4 min 会诱导梨和苹果表皮褐变现象。

色泽是判断鲜切马铃薯品质的重要指标,褐变的发生常伴随着 L^* 值的降低和 a^* 的上升^[22]。由表 2 可以看出,同一处理组鲜切马铃薯 L^* 值随着放置时间的延长呈下降趋势。对照组、45 °C 热处理 4 min、50 °C 热处理 4 min 组鲜切马铃薯 L^* 值下降最为显著 ($P < 0.05$), 2 h 分别下降了 10.42%、10.51% 和 14.96%; 4 h 分别下降了 14.67%、12.60% 和 19.61%; 6 h 分别下降了 17.37%、20.89% 和 24.68%; 两种温度下热处理 1 min~3 min 组鲜切马铃薯 L^* 值下降较为平缓, 45 °C 热处理 3 min L^* 下降最为缓慢, 亮度为维持最好, 6 h 时仅下降 8.42%。同一处理组鲜切马铃薯 a^* 随着放置时间的延长呈上升的趋势。与 0 h 相比, 45、50 °C 热处理 4 min 组鲜切马铃薯 a^* 值 2、4、6 h 显著上升, 分别上升 2.74、

2.82、3.99 和 3.84、4.19、4.79; 而两种温度下热处理 1~3 min 组鲜切马铃薯 a^* 值均低于同一观察时间对照组鲜切马铃薯 a^* 值, 其中 45 °C 热处理 3 min 鲜切马铃薯在整个贮藏期间内的 a^* 最低。综上所述, 45 °C 和 50 °C 热处理 1~3 min 可维持鲜切马铃薯室温下放置 6 h 不褐变。其中, 45 °C 热处理 3 min 组 L^* 和 a^* 值变化最小, 表明色泽维持最好。Zhang 等^[23] 研究不同热处理时间 (1~5 min) 和温度 (25~50 °C) 下蘑菇色泽的影响, 结果发现: 40 °C 热处理 1~5 min 维持蘑菇色泽效果最佳; Chang 等^[24] 发现, 芋头采用 55 °C 热处理 45 s 联合真空包装, 12 d 内 L^* 值最高, 且总色差值最低, 感官品质最好, 表明合适条件的热处理有助于维持鲜切果蔬的色泽。

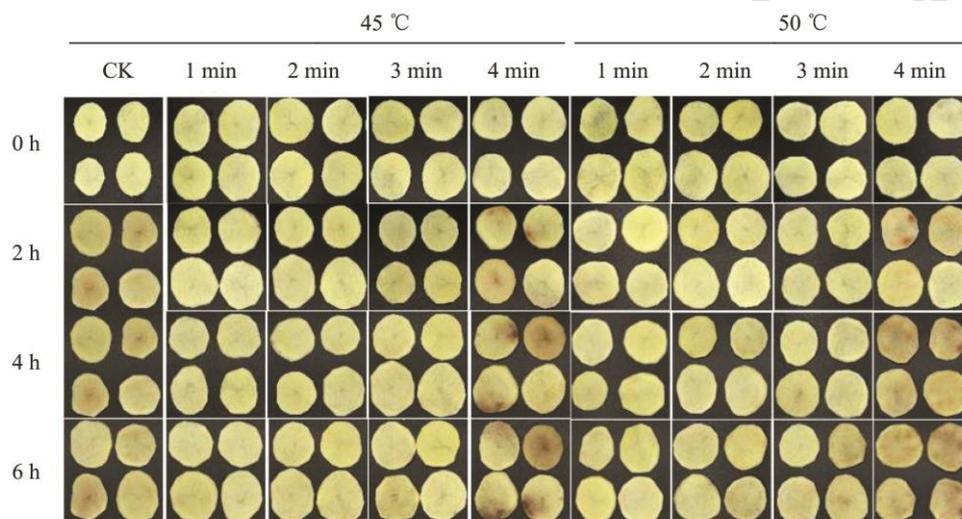


图 1 不同处理组鲜切马铃薯室温下放置 0、2、4、6 h 的褐变情况

Fig.1 Browning of fresh-cut potatoes in different treatment groups was observed at room temperature for 0, 2, 4, 6 h

表 2 热处理对鲜切马铃薯色泽影响

Table 2 Effects of heat treatment on the color of fresh-cut potatoes

处理组	L^*				a^*			
	0 h	2 h	4 h	6 h	0 h	2 h	4 h	6 h
CK	62.85±0.69 ^c	56.30±1.02 ^c	53.63±0.81 ^c	51.93±0.63 ^c	-0.23±0.01 ^a	2.30±0.17 ^c	2.82±0.22 ^c	3.33±0.21 ^c
45-1	62.18±1.37 ^c	57.97±0.77 ^b	55.04±1.09 ^b	54.03±0.93 ^b	-0.36±0.02 ^b	0.86±0.06 ^d	0.89±0.04 ^d	1.19±0.15 ^d
45-2	63.60±1.28 ^b	58.24±0.99 ^b	54.99±1.45 ^b	53.97±1.32 ^b	-0.27±0.03 ^c	0.90±0.07 ^d	0.95±0.06 ^d	1.27±0.09 ^d
45-3	64.50±1.37 ^a	63.09±1.15 ^a	60.24±1.18 ^a	59.07±1.05 ^a	-0.30±0.02 ^e	0.20±0.01 ^e	0.36±0.02 ^e	0.55±0.04 ^e
45-4	63.58±1.17 ^b	56.90±0.95 ^c	55.57±1.02 ^d	50.30±0.86 ^d	-0.24±0.01 ^a	2.50±0.02 ^b	2.58±0.01 ^b	3.75±0.28 ^b
50-1	61.08±0.69 ^d	57.71±0.66 ^b	54.37±1.31 ^b	54.12±0.09 ^b	-0.25±0.01 ^b	0.81±0.05 ^d	0.92±0.08 ^d	1.10±0.05 ^d
50-2	63.35±0.35 ^b	58.06±1.28 ^b	54.02±0.63 ^b	54.47±1.36 ^b	-0.28±0.02 ^e	0.77±0.04 ^d	0.96±0.07 ^d	1.13±0.11 ^d
50-3	59.63±0.66 ^e	57.96±0.63 ^b	55.32±1.56 ^b	53.82±1.98 ^b	-0.31±0.02 ^f	0.80±0.05 ^d	0.98±0.08 ^d	1.29±0.07 ^d
50-4	63.22±0.56 ^b	53.76±1.52 ^d	50.82±0.78 ^e	47.62±2.52 ^e	-0.29±0.01 ^d	3.55±0.21 ^a	3.90±0.14 ^a	4.50±0.39 ^a

注: 最终值用平均值±标准偏差表示, 同一时间点下, 不同小写字母表示具有显著差异 ($P < 0.05$)。

2.2 热处理对鲜切马铃薯硬度的影响

硬度是评价果蔬质地的重要指标, 硬度降低表明

鲜切马铃薯出现软化现象, 大大的降低了鲜切马铃薯的可接受度^[25]。如图 2 所示, 与对照组相比, 45 °C 热处理 1~3 min 未对鲜切鲜切马铃薯硬度造成显著影

响,仍保持较高的硬度;而 45 °C 热处理 4 min 和 50 °C 热处理 1~4 min 组马铃薯片的硬度均显著低于对照组 ($P<0.05$), 硬度降低了 11.65%~19.67%, 表明长时间和较高温度的热处理会造成硬度下降。Rodriguez 等^[26]研究也发现 50 °C 热处理对苹果质地造成较为严重的损失, 同对照组相比降低了 32.05%。

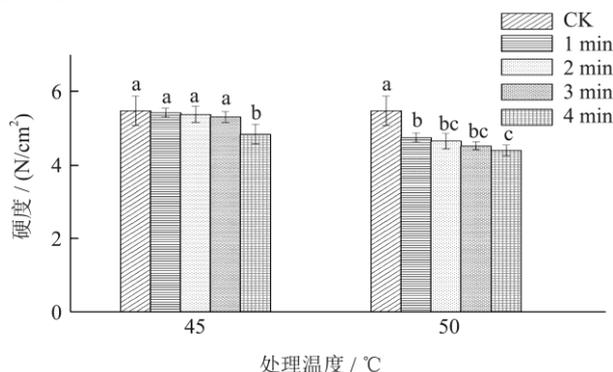


图 2 热处理对鲜切马铃薯硬度的影响

Fig.2 Effects of heat treatment on the hardness of fresh-cut potatoes

注: 同种温度下不同小写字母表示具有显著差异 ($P<0.05$)。下同。

2.3 热处理对鲜切马铃薯褐变相关酶的影响

苯丙氨酸解氨酶 (Phenylalanine Ammonia-Lyase, PAL) 是合成褐变底物酚和类黄酮的催化酶, 与酶促褐变息息相关。如图 3a 所示, 45 °C 和 50 °C 热处理组马铃薯 PAL 酶活性均低于对照组, 比对照组降低了 27.28%~33.68%。表明两种温度下 1~4 min 热处理均能钝化 PAL 酶活性, 其中 45 °C 热处理 3 min 钝化 PAL 酶活性效果最佳。Luo 等^[27]采用 45 °C 热空气处理鲜切甘蔗 3 h, 抑制了 PAL 酶活性, 进而抑制甘薯褐变, 与本文研究结果一致。

过氧化物酶 (Peroxidase, POD) 是果蔬中常见的氧化还原酶, 能催化酚类化合物的氧化, 促使褐变现象的发生^[28]。如图 3b 所示, 随着热处理时间的延长, 不同处理组间 POD 酶活性呈先下降后上升的趋势; 热处理组鲜切马铃薯 POD 酶活性均显著低于对照组 ($P<0.05$), 比对照组低 18.33%~50.31%; 45 °C 热处理 3 min 组 POD 酶活性最低, 仅为对照组的 0.49 倍, 表明热处理可能通过抑制鲜切马铃薯 POD 酶活性, 从而抑制酶促褐变。Yang 等^[29]采用 50 °C 热处理冬枣 4 min, 抑制了 POD 酶的活性, 延缓冬枣褐变, 与本研究结果一致。此外, 李顺峰等^[30]研究发现 40 °C 热处理 5 min 结合真空包装, 显著抑制鲜切双孢蘑菇中 POD 酶活性 ($P<0.05$), 减缓 L^* 下降和 a^* 上升的速率, 进而抑制酶促褐变, 与本文热处理抑制 POD 酶活性,

减缓 L^* 下降和 a^* 上升的速率, 抑制褐变结论一致。

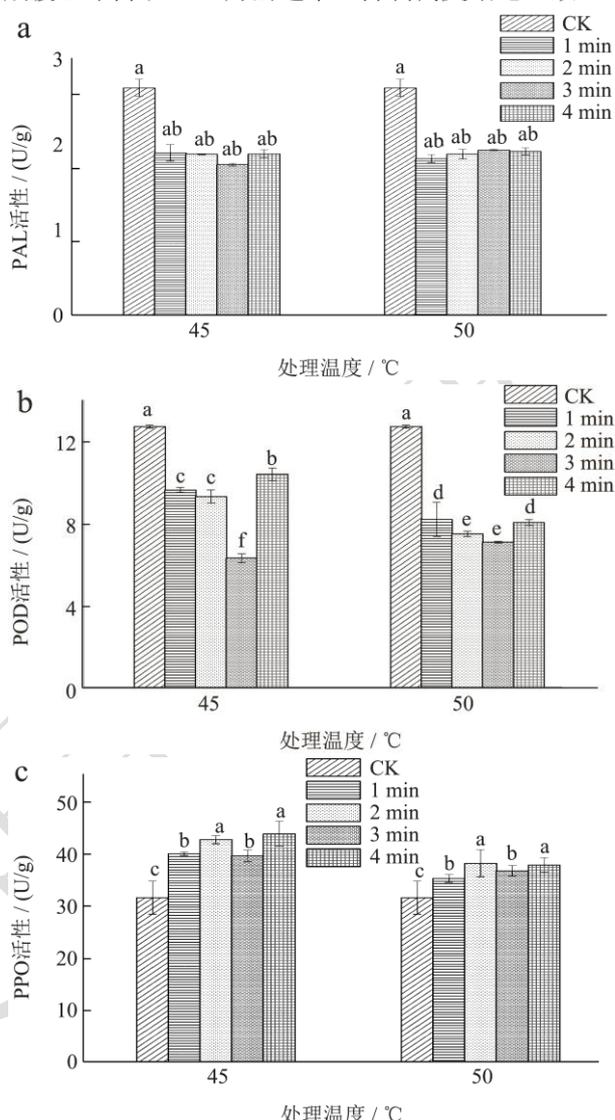


图 3 热处理对鲜切马铃薯酶活性的影响

Fig.3 Effects of heat treatment on the enzyme activity of fresh-cut potatoes

多酚氧化酶 (Polyphenol Oxidase, PPO) 在氧气参与下催化酚类物质形成醌, 醌进一步反应形成褐变的最终产物类黑素^[31]。如图 3c 所示, 与对照组相比, 热处理诱导了马铃薯 PPO 酶活性的增加, 可能该酶在热处理抑制鲜切马铃薯褐变中不起关键作用。热处理组 PPO 酶活性较对照组增长了 11.76%~38.79%; 50 °C 热处理组 PPO 酶活性低于同一热处理时间下 45 °C 热处理组。Abeele 等^[32]采用 30 °C、50 °C 热激鲜切莴苣 60 s, 结果发现: 热处理组 PPO 酶活性高于对照组; 两组热处理组相比, 50 °C 热处理组 PPO 酶活低于 30 °C 热处理组, 与本文 50 °C 热处理组 PPO 酶活性低于 45 °C 热处理组结果一致, 表明热处理诱导了 PPO 酶活性的增加, 但高温相对于低温能一定程度的抑制 PPO 酶活性增长。冯岩岩^[33]研究发现: 50 °C 热处理鲜

切牛蒡 6 min PPO 酶活性显著高于对照组 ($P < 0.05$), PPO 不是鲜切牛蒡褐变抑制的关键酶, 热处理可能是通过抑制苯丙烷代谢途径保持鲜切牛蒡 12 d 不褐变。

2.4 热处理对鲜切马铃薯总酚含量的影响

酚类化合物作为马铃薯重要次生代谢产物, 是果蔬组织褐变发生的基础物质和酶促褐变的反应底物^[34]。如图 4 所示, 热处理组鲜切马铃薯总酚含量均显著低于对照组 ($P < 0.05$), 比对照组低 6.22%~28.92%。45 °C 热处理 1、2 和 4 min 之间, 总酚含量无显著差异, 45 °C 热处理 3 min 总酚含量最低 ($P < 0.05$); 50 °C 热处理组之间总酚含量无显著差异。这说明, 45 °C 热处理 3 min 可以通过抑制鲜切马铃薯酚类化合物含量, 减少黑色物质的产生进而抑制褐变。袁明芬等^[9]采用 45 °C 热处理鲜切香蕉中也有同样的发现。此外, 王庆国等^[33]研究发现: 酚类化合物的合成与苯丙烷代谢途径有关, 而热处理可以通过降低 PAL 酶的活性, 抑制总酚含量的增加, 使褐变减轻。

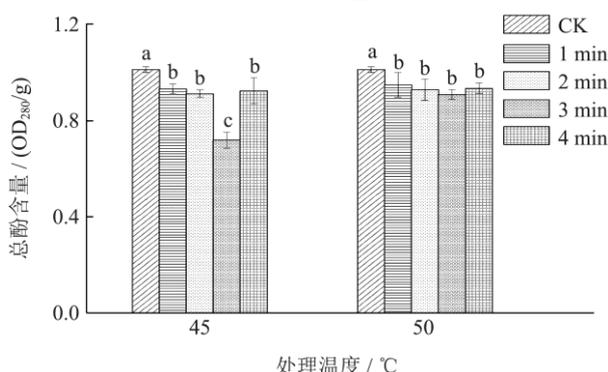


图 4 热处理对鲜切马铃薯总酚含量的影响

Fig.4 Effects of heat treatment on the total phenol content of fresh-cut potatoes

2.5 热处理对鲜切马铃薯抗坏血酸含量的影响

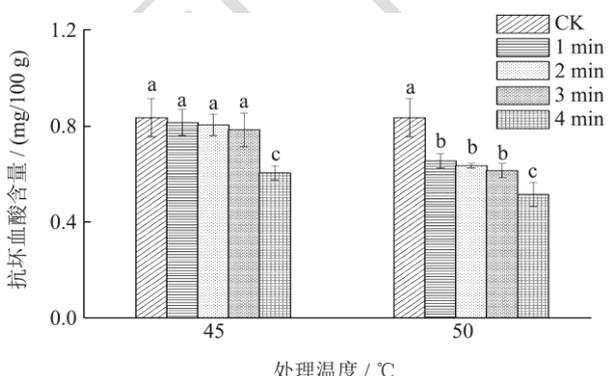


图 5 热处理对鲜切马铃薯抗坏血酸含量的影响

Fig.5 Effects of heat treatment on the ascorbic acid content of fresh-cut potatoes

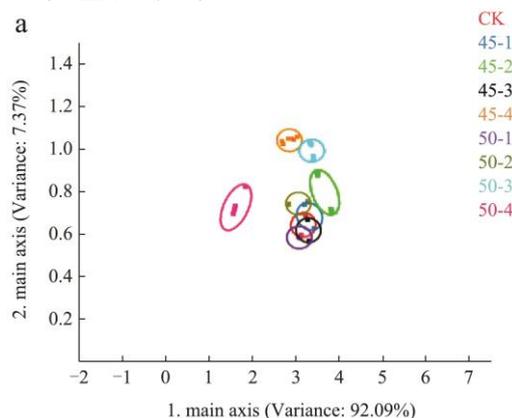
抗坏血酸 (Ascorbic Acid, AsA) 具有较强的抗氧化

化性, 在鲜切果蔬保鲜中作为护色剂被广泛应用^[35]。如图 5 所示, 与对照组相比, 45 °C 热处理 1~3 min 鲜切马铃薯 AsA 含量无明显差异, 这说明适当的热处理对 AsA 含量的维持有良好的效果。Xu 等^[36]研究发现: 0.2% AsA 浸泡处理可以通过维持色泽, 缓解褐变, 降低脂质过氧化速率, 来维持鲜切马铃薯的贮藏品质。45 °C 热处理 4 min 以及 50 °C 热处理 1~4 min AsA 含量显著下降 ($P < 0.05$), 比对照组降低了 19.05%~38.10%。这可能与 AsA 自身的水溶热敏感性和稳定性有关^[37]。

2.6 热处理对鲜切马铃薯挥发性物质的影响

挥发性风味物质是评定鲜切果蔬新鲜度和消费认可度的重要指标, 电子鼻可以判别测试样品整体的气味信息, 已成功应用到鲜切青椒、鲜切西兰花和鲜切紫甘蓝^[38-40]。图 6a 为不同热处理组鲜切马铃薯挥发性风味物质的 PCA 分析图, 主成分一的贡献率达到 92.09%, 主成分二的贡献率为 7.37%, 总贡献率达到 99.46%, 说明两大主成分可以代表马铃薯绝大部分的挥发性风味物质信息。其中 45 °C 热处理 1~3 min 和 50 °C 热处理 1~2 min 热处理组和新鲜马铃薯 (CK) 挥发性风味物质采集数据相交, 说明这些热处理组较好的维持了鲜切马铃薯的挥发性风味物质, 并未破坏风味。45 °C 下热处理 4 min 以及 50 °C 下热处理 3~4 min 组离鲜样收集的气味数据较远, 说明这三个热处理组挥发性风味物质发生了较大变化。由图 6b 可知 50 °C 热处理 3 min 以及两种温度下热处理 4 min 鲜切马铃薯甲烷 (W1W)、硫化物和萜烯类化合物气味 (W1S) 变化大, 说明长时间和较高温度的热处理对马铃薯挥发性风味物质产生不良影响。

综上所述, 45 °C 热处理 1~3 min 以及 50 °C 热处理 1~2 min 热处理组较好的维持鲜切马铃薯挥发性风味物质。当 45 °C 热处理超过 4 min, 50 °C 热处理超过 3 min 会导致马铃薯甲烷、硫化物等挥发性风味物质增加, 产生不良风味。



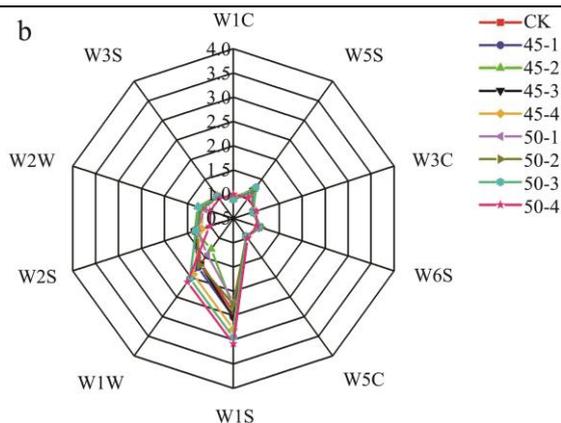


图6 热处理对鲜切马铃薯挥发性风味物质含量的影响

Fig.6 Effects of heat treatment on volatile flavor matter content of fresh-cut potatoes

注: a 为 PCA 分析图, b 为雷达图。

3 结论

45、50 °C 热处理 1~3 min 均可有效抑制鲜切马铃薯褐变现象的发生,抑制褐变的机理与 PAL、POD 酶活性以及总酚含量的降低有关。其中 45 °C 热处理 3 min 处理组 PAL、POD 酶活性以及总酚含量最低 ($P<0.05$),且色泽、硬度和抗坏血酸维持最好,挥发性风味物质和新鲜马铃薯样品相似。综合考虑,45 °C 热处理 3 min 对马铃薯贮藏品质维持以及褐变的抑制效果最佳。

参考文献

- [1] Dong T T, Cao Y, Jiang C Z, et al. Cysteine protease inhibitors reduce enzymatic browning of potato by lowering the accumulation of free amino acids [J]. *Agricultural and Food Chemistry*, 2020, 68(8): 2467-2476.
- [2] Condurso C, Cincotta F, Tripodi G et al. A new approach for the shelf-life definition of minimally processed carrots [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2020, 163: 111-138.
- [3] Zhang K, Tian Y, Liu C L, et al. Effects of temperature and shear on the structural, thermal and pasting properties of different potato flour [J]. *BMC Chemistry*, 2020, 14(1): 1-8.
- [4] Ma Y R, Wang H Y, Yan H, et al. Pre-cut NaCl solution treatment effectively inhibited the browning of fresh-cut potato by influencing polyphenol oxidase activity and several free amino acids contents [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2021, 178: 111-543.
- [5] Liu X, Wang T, Lu Y Z, et al. Effect of high oxygen pretreatment of whole tuber on anti-browning of fresh-cut potato slices during storage [J]. *Food Chemistry*, 2019, 301: 125-287.
- [6] 张丽华,李顺峰,李珍珠,等.热处理对鲜切果蔬品质影响的研究进展[J].*食品工业科技*,2019,40(7):290-295.
- [7] 刘占丽,张龙,王相友,等.热水处理对鲜切马铃薯生理和品质的影响[J].*食品工业*,2012,33(8):52-55.
- [8] Aguayo E, Requeio J C, Stanley R, et al. Hot water treatment in combination with calcium ascorbate dips increases bioactive compounds and helps to maintain fresh-cut apple quality [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2015, 110: 158-165.
- [9] 袁明芬,刘程惠,胡文忠,等.热处理对抑制鲜切香蕉褐变的效果的研究[J].*食品工业科技*,2015,36(7):332-335.
- [10] 闫凯亚,张洪翠,蔡佳昂,等.间歇热处理对鲜切甘薯贮藏品质的影响[J].*食品与发酵工业*,2017,43(9):226-231.
- [11] 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.
- [12] Mikal S. Pinking of lettuce [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2018, 145: 41-52.
- [13] Li S Y, Li X J, Xu H, et al. Effect of mild heat treatment on shelf life of fresh lotus root [J]. *LWT - Food Science and Technology*, 2018, 90: 83-89.
- [14] 张宝瑞,荷兰 15 号马铃薯栽培技术[J].*长江蔬菜*,2022,1:27-28.
- [15] 赵文婷,马越,王瑞琪,等.不同品种马铃薯的鲜切加工适宜性评价[J].*食品科技*,2021,46(12):55-62.
- [16] 黄欢,王绍帆,韩育梅.超高压处理对鲜切马铃薯质地及细胞壁多糖含量的影响[J].*食品工业科技*,2020,41(2):258-266.
- [17] 郑鄯燕,魏亚博,王宇滨,等.气调贮藏对腐败菌引起的鲜切黄瓜品质、滋味和挥发性物质变化的影响[J].*食品科学*, 2021,42(5):252-261.
- [18] 曹建康.果蔬采后生理生化实验指导[M].中国轻工业出版社,2007.
- [19] Valdivia N G C, Martin B O, Solova F R. Kinetics of the changes in the antioxidant potential of fresh-cut tomatoes as affected by pulsed light treatments and storage time [J]. *Food Engineering*, 2018, 237: 146-153.
- [20] Abreu M, Beiro D C S, Goncalve M E, et al. Use of mild heat pretreatments for quality retention of fresh-cut 'Rocha' pear [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2003, 30(2): 153e160.
- [21] Kabelitz T, Hassenberg K. Control of apple surface microflora for fresh-cut produce by post-harvest hot-water treatment [J]. *LWT - Food Science and Technology*, 2018, 98: 492-499.
- [22] Liu X, Yang Q, Lu Y Z, et al. Effect of purslane (*Portulaca oleracea* L.) extract on anti-browning of fresh-cut potato

- slices during storage [J]. Food Chemistry, 2019b, 283: 445-453.
- [23] Zhang L J, Li S F, Wang A J, et al. Mild heat treatment inhibits the browning of fresh-cut *Agaricus bisporus* during cold storage [J]. LWT - Food Science and Technology, 2017, 82: 104-112.
- [24] Chang M S, Kim G H. Combined effect of hot water dipping and vacuum packaging for maintaining the postharvest quality of peeled taro [J]. Horticulture Environment and Biotechnology, 2015, 56(5): 662-668.
- [25] Chen Y P, Zhang X C, Luo Z S, et al. Effects of inside-out heat-shock via microwave on the fruit softening and quality of persimmon during postharvest storage [J]. Food Chemistry, 2021, 349(3): 129161.
- [26] Rodriguz A M, Rios G, Piagentini A M, et al. Mild heat treatments before minimal processing reduce browning susceptibility and increase total phenolic content of low-chill apple cultivars [J]. Food Processing and Preservation, 2019, 42(11): e14209.
- [27] Luo Z S, Li D D, Xie J W, et al. Effects of heat treatment on quality and browning of fresh-cut sugarcane [J]. Food Processing and Preservation, 2015, 39(6): 1745-4549.
- [28] Kim A N, Lee K Y, Kim H J, et al. Effect of grinding at modified atmosphere or vacuum on browning, antioxidant capacities, and oxidative enzyme activities of apple [J]. Food Science, 2018, 83(1): 84-92.
- [29] Yang L Z, Wang X Y, He S, et al. Heat shock treatment maintains the quality attributes of postharvest jujube fruits and delays their senescence process during cold storage [J]. Food Biology Chemistry, 2021, 45(10): 13937.
- [30] 李顺峰,李静,王安建,等.真空充氮热处理对鲜切双孢蘑菇贮藏中褐变的影响[J].食品科学技术学报,2016,34(5):64-69.
- [31] Tinello F, Lante A. Recent advances in controlling polyphenol oxidase activity of fruit and vegetable products [J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2018, 50: 73-83.
- [32] Abeele C A, Reas K, Sampers I. Effect of mild heat treatment on browning-related parameters in fresh-cut iceberg lettuce [J]. Food Biology Chemistry, 2019, 43(7): e12906.
- [33] 冯岩岩,王庆国.热激处理抑制牛蒡鲜切片褐变的研究[J].园艺学报,2012,39(11):2258-2264.
- [34] Min T, Xie J, Zheng M L, et al. The effect of different temperatures on browning incidence and phenol compound metabolism in fresh-cut lotus (*Nelumbo nucifera* G.) root [J]. Postharvest Biology and Technology, 2017, 123: 69-76.
- [35] Derardja A, Pretzler M, Kampatsikas I, et al. Inhibition of apricot polyphenol oxidase by combinations of plant proteases and ascorbic acid [J]. Food Chemistry, 2019, 4: 100053.
- [36] Xu Y J, Wang D, Zhao W T, et al. Low frequency ultrasound treatment enhances antibrowning effect of ascorbic acid in fresh-cut potato slices [J]. Food Chemistry, 2022, 380: 132190.
- [37] Zhang M, Liu W, Li C H, et al. Postharvest hot water dipping and hot water forced convection treatments alleviate chilling injury for zucchini fruit during cold storage [J]. Scientia Horticulturae, 2019, 249(30): 219-227.
- [38] Chen H Z, Zhang M, Bhandari B, et al. Evaluation of the freshness of fresh-cut green bell pepper (*Capsicum annuum* var. *grossum*) using electronic nose [J]. LWT - Food Science and Technology, 2017, 87: 77-87.
- [39] Chen H Z, Zhang M, Guo Z M. Discrimination of fresh-cut broccoli freshness by volatiles using electronic nose and gaschromatography-mass spectrometry [J]. Postharvest Biology and Technology, 2019, 148: 168-175.
- [40] 王丹,鲁榕榕,马越,等.切分方式对鲜切紫甘蓝营养品质和挥发性风味物质的影响[J].食品科学技术学报,2020,38(4): 27-36.