

乙醇熏蒸处理对鲜切莲藕片褐变和活性氧代谢的影响

徐雨晗¹, 包垠秋¹, 易阳¹, 艾有伟¹, 王宏勋², 闵婷^{1*}

(¹ 武汉轻工大学食品科学与工程学院 武汉 430023

² 武汉轻工大学生命科学与技术学院 武汉 430023)

摘要 褐变是导致鲜切莲藕品质劣变的重要因素,本文选用 150 $\mu\text{L/L}$ 乙醇熏蒸处理鲜切莲藕 2 h,研究乙醇对其酶促褐变和活性氧代谢的影响。结果表明,经过 10 $^{\circ}\text{C}$ 下贮藏 12 d 后,与对照组相比,乙醇处理后的鲜切藕片褐变度降低了 6.49%, L^* 值提高了 21.44%。乙醇处理也能通过抑制苯丙氨酸解氨酶和多酚氧化酶活力来抑制鲜切莲藕酚类物质的合成及氧化。在贮藏末期,对照组的可溶性鞣含量是乙醇处理组的 1.15 倍。此外,乙醇处理可有效维持过氧化氢酶和过氧化物酶活性和抗坏血酸含量。经过 12 d 的贮藏后,乙醇处理后的鲜切莲藕的 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 生成速率和 H_2O_2 积累分别是对照组的 87.69% 和 79.17%。综上,乙醇熏蒸处理可能通过抑制酚类物质代谢,提高抗氧化能力,从而延缓鲜切莲藕褐变的发生。

关键词 鲜切莲藕; 乙醇熏蒸; 褐变; 酚类物质代谢; 活性氧代谢

文章编号 1009-7848(2023)01-0259-08 DOI: 10.16429/j.1009-7848.2023.01.025

莲藕是营养丰富的水生蔬菜,且具有一定药用价值。近些年来,鲜切莲藕逐步走向市场,受到广大消费者的喜爱。有研究表明,酶促褐变是导致鲜切莲藕片货架期质量下降的主要因素,其主要反应是多酚向醌类物质的转化^[1]。也有研究表明,活性氧代谢与褐变密切相关,提高鲜切莲藕的抗氧化能力,能延缓褐变的发生^[2]。目前化学处理在鲜切莲藕保鲜中的应用最为广泛,如 H_2S ^[3]、草酸^[3]、 ClO_2 ^[4] 及表油菜素内酯^[5] 处理均能有效延缓鲜切莲藕的褐变,然而,化学试剂的安全性问题须引起足够的重视。

乙醇处理作为一种安全无毒、化学污染小的保鲜技术,可以调节果蔬生理代谢速度^[6],减少果蔬微生物的生长和营养物质消耗,保持高质量的果蔬品质。同时,乙醇处理能够抑制果蔬的褐变,包括莴苣^[7]、鲜切甘蔗^[8]、鲜切山药^[9]、双孢蘑菇^[10] 等。此外,乙醇处理能够提高果蔬的抗氧化能力,在木薯^[11]、樱桃番茄^[12]、杨梅^[13]、西兰花^[14] 的研究中都得到证实。目前,关于乙醇处理鲜切莲藕的报道较少。Gao 等^[15] 研究表明鲜切莲藕采用乙醇和抗坏血酸溶液单独处理或联合处理,能够保持鲜切莲藕的品质,延缓褐变,抑制微生物生长。然而,目前

缺乏乙醇处理抑制鲜切莲藕褐变的机制研究。本试验以莲藕为材料,研究 10 $^{\circ}\text{C}$ 贮藏条件下 150 $\mu\text{L/L}$ 乙醇熏蒸处理 2 h 对鲜切莲藕褐变的影响,并以酚类代谢和活性氧代谢为切入点,探讨外源乙醇处理延缓鲜切莲藕褐变的作用机理,以期为鲜切莲藕的货架保鲜提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

供试‘鄂莲 5 号’莲藕,武汉市汉口北四季青农贸城。

乙醇(分析纯级)、福林酚、无水碳酸钠、 NaH_2PO_4 、 Na_2HPO_4 、没食子酸、邻苯二酚、愈创木酚、 H_2O_2 、PEG 6000、PVPP、95% 乙醇、 NaCl 、2-巯代巴比妥酸、氯化羟胺、抗坏血酸、草酸,国药集团化学试剂有限公司;三氯乙酸,上海凇恩科技发展有限公司;2,6-二氯酚钠盐,源叶生物科技有限公司;Triton X-100,白鲨生物科技有限公司;苯丙氨酸解氨酶(PAL)试剂盒、过氧化氢含量测定试剂盒、过氧化氢酶(CAT)活性测定试剂盒、超氧化物歧化酶(SOD)活性测定试剂盒、羟基自由基产生速率测定试剂盒,南京建成生物工程研究所;其它所用试剂均为分析纯级。

1.2 设备与仪器

JZ-300 通用色差计,深圳市金准仪器设备有限公司;MIR-154 型低温贮藏箱,日本三洋电机株

收稿日期: 2022-01-03

基金项目: 国家自然科学基金项目(32001764)

第一作者: 徐雨晗,女,硕士生

通信作者: 闵婷 E-mail: minting1323@163.com

式会社;EOS 550D 相机,佳能(中国)有限公司;塑料薄膜封口机,温州市兴业机械设备有限公司;切菜机 CHD-40, 济南宏泰食品机械有限公司;XZ-10DTD 超声波清洗机, 宁波新芝生物科技股份有限公司;V-1100D 型可见分光光度计,上海美谱达仪器有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 乙醇熏蒸最佳时间和浓度的筛选试验 将‘鄂莲5号’莲藕在4℃的冰箱中预冷24h,剔除有病虫害和机械损伤严重的莲藕;选择短、粗、大小均一,色泽一致的莲藕作为试验材料。用清水洗去莲藕表面污泥,去皮后,将其切成约4mm厚度的藕片。将切好的藕片置于清水中,在水中通臭氧5min,以进行减菌处理。将减菌处理后的莲藕片分成乙醇熏蒸组和对照组(CK)。乙醇熏蒸组:将藕片从清水中捞出,甩干表面水分,平铺在塑料货架(370mm×350mm×60mm)上,将铺好藕片的货架放入熏蒸装置上层(装置体积为56L)。在装置下层放置一块滴有一定浓度酒精的纱布,打开装置内的电风扇后,在装置表面覆上3层保鲜膜,将盖好盖子的熏蒸装置在10℃冰箱放置2h。熏蒸完成后,将鲜切莲藕用PE包装袋包装,于10℃冰箱中贮藏14d。对照组:熏蒸装置中不滴入酒精,不开启电扇,其它操作与乙醇熏蒸组相同。

在乙醇熏蒸浓度筛选预试验中,分别选用了100,150,200,250,300 μL/L的乙醇熏蒸处理鲜切莲藕片2h,发现150 μL/L的乙醇熏蒸处理,莲藕的褐变程度最轻, L^* 值最高,因此150 μL/L为最佳熏蒸浓度。在乙醇熏蒸时间筛选的预试验中,使150 μL/L乙醇熏蒸处理藕片的时间分别为0.5,1,2,3,4h,根据外观品质和 L^* 值的变化,150 μL/L乙醇熏蒸处理2h的鲜切莲藕片有最佳的外观和最高的 L^* 值,因此选用150 μL/L乙醇熏蒸处理鲜切莲藕2h进行后续试验,对照组和乙醇熏蒸处理组各项指标分别在0,2,4,6,8,10,12d测定。

1.3.2 乙醇熏蒸处理对鲜切莲藕褐变的影响试验

感官品质采用佳能EOS 550D相机在小型摄影棚中拍摄。表面色差的变化采用JZ-300通用色差计测量,记录 L^* 值,每个样品重复3次。褐变度测定方法参照Min等^[1]方法。取3.0g莲藕组织样品于30mL蒸馏水中,在冰浴条件下匀浆,在4℃下

以10000 r/min离心10min,取上清液在25℃下保温5min,在410nm波长下测定吸光度,褐变度表示为 $OD_{410nm} \times 10$,每个样品重复3次。

1.3.3 乙醇熏蒸处理对鲜切莲藕酚类代谢的影响试验 总酚含量根据Folin-Ciocalteu方法测定^[1],结果表示为没食子酸当量mg/kg FW。每个样品重复3次。总醌含量测定参考Yan等^[7]的方法,将5.0g鲜切莲藕组织于50mL离心管中,加入20mL甲醇,以10000 r/min匀浆1.2min,匀浆完毕后以10000 r/min在4℃离心10min,取上清液在437nm波长处测定其吸光度,可溶性醌表示为 OD_{437nm} 。每个样品重复3次。

使用苯丙氨酸解氨酶(Phenylalanine enzyme, PAL)测试盒测定鲜切莲藕中PAL活力。一个PAL活力单位定义为每g组织在每mL反应体系中使290nm波长处吸光度值变化0.1所需的酶量。每个样品重复3次。使用Min等^[1]的方法测定多酚氧化酶(Polyphenol oxidase, PPO)活性。一个PPO酶活力单位定义为每min引起吸光度改变0.001所需酶量。每个样品重复3次。

1.3.4 乙醇熏蒸处理对鲜切莲藕ROS代谢的影响试验 超氧阴离子自由基产生速率使用盐酸羟胺法^[6]测定。超氧阴离子自由基产生速率定义为每min每g果蔬组织产生的超氧阴离子的物质的量,表示为nmol/(min·g),每个样品重复3次。羟自由基生成速率和过氧化氢含量分别使用羟基自由基测定试剂盒和过氧化氢含量测定试剂盒测定,每个样品重复3次。

分别使用总超氧化物歧化酶(Superoxide dismutase, SOD)测定试剂盒和过氧化氢酶(Catalase, CAT)测定试剂盒测定鲜切莲藕中SOD和CAT酶活力。一个SOD活力单位定义为在1mL反应溶液中每g组织的SOD抑制率达到50%,一个CAT活力单位定义为每g组织每s分解1 μmol过氧化氢。每个样品重复3次。使用Min等^[1]方法测定过氧化物酶(Peroxidase, POD)活性。一个POD酶活力单位定义为每min引起吸光度变化0.01所需的酶量。每个样品重复3次。

抗坏血酸含量的测定采用2,6-二氯酚靛酚滴定法^[6],每个样品重复3次。1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-Diphenyl-2-trinitrophenylhy-

drazine, DPPH) 自由基清除率的测定参考 Yi 等^[17]的方法, 每个样品重复 3 次。

1.4 数据统计分析

所有试验结果进行 3 次重复, 试验结果用“ $\bar{x} \pm s$ ”表示。利用 SPSS 23.0 进行方差分析, 运用 Duncan's 检验法对数据显著性差异进行多重比较, 同一字母表示显著性相同 ($\alpha=0.05$), 并采用 Origin 2018 作图。

2 结果与分析

2.1 乙醇熏蒸处理对鲜切莲藕褐变的影响

鲜切果蔬的褐变程度会影响消费者的购买欲望, 乙醇熏蒸处理后鲜切莲藕的褐变程度变轻。由图 1a 可知, 在贮藏处理前期, 鲜切莲藕的外表颜色为亮白色, 经过 12 d 贮藏, 对照组的鲜切莲藕表面呈棕褐色, 处理组的鲜切莲藕呈浅棕色。如图 1b~1c 所示, 在贮藏过程中, 鲜切莲藕的褐变度不断上升, L^* 值不断下降, 乙醇处理显著延缓了鲜切莲藕褐变度的上升和 L^* 值的下降 ($P<0.05$)。经过 12 d 贮藏, 处理组的褐变度比对照组低 6%, L^* 值比对照组高 19%。

2.2 乙醇熏蒸处理对鲜切莲藕酚类代谢的影响

2.2.1 对总酚和总醌含量的影响 酚类物质向醌类物质的转换是果蔬酶促褐变的重要反应, 总酚含量的降低有利于延缓褐变的发生^[18]。如图 2a~2b 所示, 鲜切莲藕在贮藏 12 d 内, 乙醇处理显著抑制了鲜切莲藕中总酚和总醌含量的上升 ($P<0.05$), 贮藏至第 12 天时, 对照组的总酚和总醌含量分别是对照的 1.24 和 1.18 倍。

2.2.2 对 PAL 和 PPO 活力的影响 PAL 酶是酚类物质合成途径——苯丙烷代谢的限速酶^[7], 在有氧环境下 PPO 能促进多酚向醌的转化。如图 3a~3b 所示, 在整个贮藏期间, 乙醇熏蒸处理显著抑制了鲜切莲藕 PAL 和 PPO 活力的上升 ($P<0.05$), 第 12 天时, 处理组 PAL 和 PPO 酶活力分别比对照组低约 10% 和 30%。

2.3 乙醇熏蒸处理对鲜切莲藕活性氧代谢的影响

2.3.1 对 ROS 生成的影响 通过呼吸作用进入生物体内的氧分子, 接受 1 个电子后变成 $O_2^{\cdot-}$, $O_2^{\cdot-}$ 能衍生成 H_2O_2 、 $\cdot OH$ 和 1O_2 等自由基; $\cdot OH$ 和

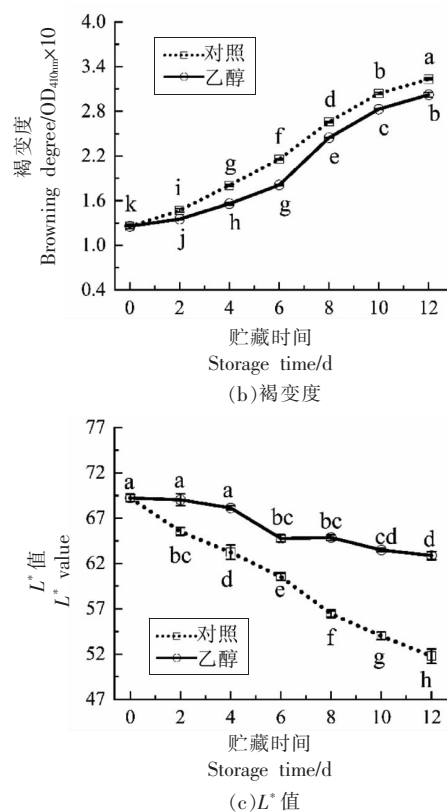
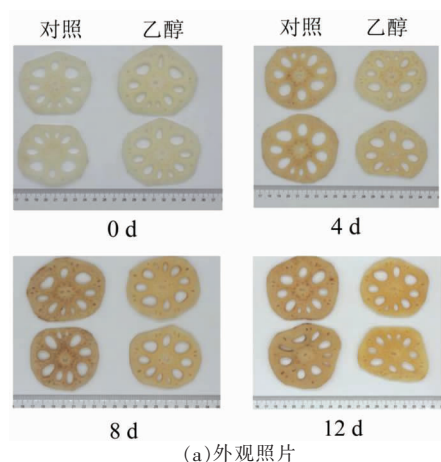


图 1 乙醇熏蒸处理对鲜切莲藕片褐变的影响

Fig.1 Effects of ethanol vapor treatment on browning of fresh-cut lotus root slices

H_2O_2 的积累可引发细胞质膜上不饱和脂肪酸的脂质过氧化反应, 产生活性氧自由基, 对机体产生伤害, 从而导致果蔬品质下降^[16]。由图 4a 可知, 贮藏期间鲜切莲藕的 $O_2^{\cdot-}$ 生成速率先略下降, 然后在第 4 天上升至峰值, 最后持续降低, 乙醇处理显著抑制了低温贮藏期间鲜切莲藕的 $O_2^{\cdot-}$ 生成速率 ($P<0.05$)。由图 4b~4c 可知, 贮藏期间鲜切莲藕

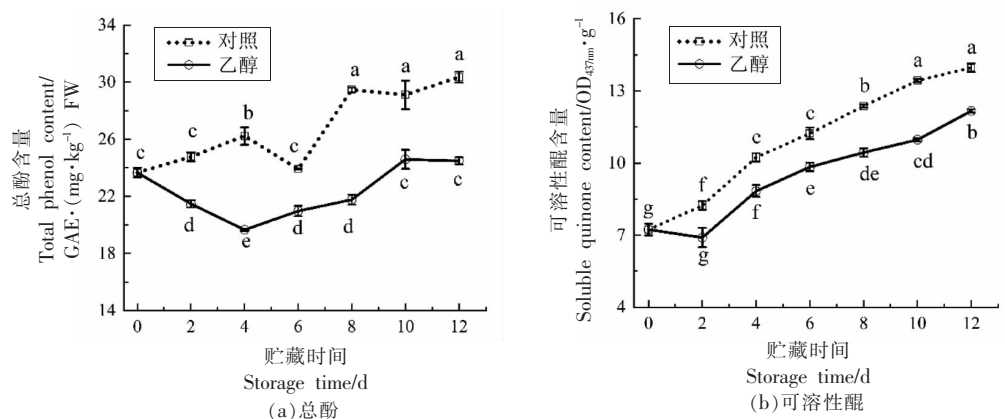


图2 乙醇熏蒸处理对鲜切莲藕片总酚和可溶性醌含量的影响

Fig.2 Effects of ethanol vapor treatment on the contents of total phenol (a) and soluble quinone (b) of fresh-cut lotus root slices

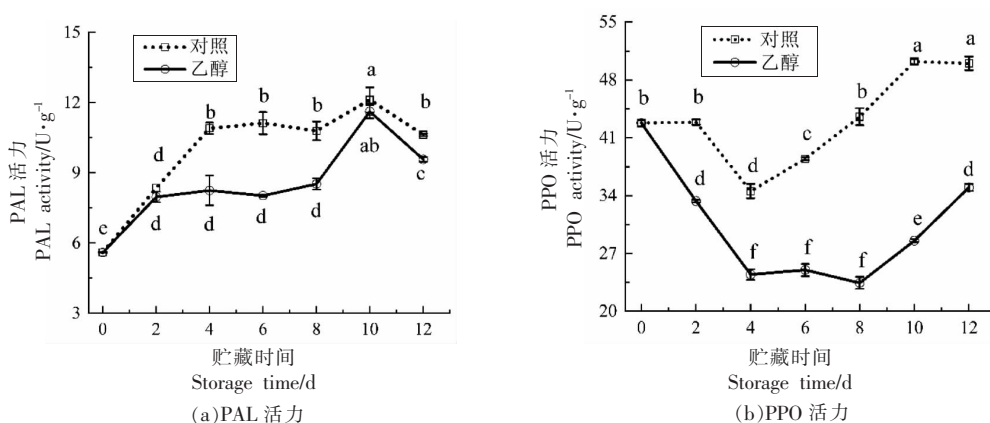


图3 乙醇熏蒸处理对鲜切莲藕片 PAL 和 PPO 活力的影响

Fig.3 Effects of ethanol vapor treatment on the activities of PAL (a) and PPO (b) of fresh-cut lotus root slices

的·OH产生速率和H₂O₂均呈先上升后下降的趋势,乙醇处理显著抑制了H₂O₂的积累($P<0.05$),同时降低了·OH产生速率,然而与对照之间差异不显著($P>0.05$)。

2.3.2 对抗氧化酶活力的影响 SOD能通过歧化反应清除生物细胞中的超氧自由基(O₂^{·-}),并与CAT、POD等酶共同抵御活性氧或其它过氧化物自由基对细胞膜系统的伤害^[16]。如图5a所示,在贮藏期间,处理组和对照组的SOD活力较第0天都有所提高,且处理组的SOD活力高于对照组,在贮藏12d时,处理组的SOD活力是对照组的1.02倍。由图5b可知,在贮藏过程中,CAT活力呈先上升后降低的趋势,处理组的CAT活力显著高于对照组($P<0.05$)。如图5c所示,在2~8d,处理组的POD活力显著高于对照组($P<0.05$)。在贮藏

末期,乙醇熏蒸对POD酶活力的提高作用消失,甚至对照组酶活力高于处理组。

2.3.3 对非酶促抗氧化能力的影响 抗坏血酸含量和DPPH自由基清除能力是评价果蔬贮藏品质非酶促抗氧化能力的重要指标^[18],由图6a可知,在整个贮藏过程中,鲜切莲藕的抗坏血酸含量持续下降,乙醇熏蒸处理显著抑制了抗坏血酸的损失($P<0.05$),贮藏至12d,CK组的抗坏血酸含量下降约41%,乙醇熏蒸组下降约34%。由图6b可知,DPPH自由基清除率先上升后下降,贮藏期间处理组中DPPH自由基清除率较对照组有所提高,而两者之间差异不显著($P>0.05$)。两组鲜切莲藕片的DPPH自由基清除率均在第4天左右出现峰值,在该天处理组的DPPH自由基清除率是对照组的1.08倍。

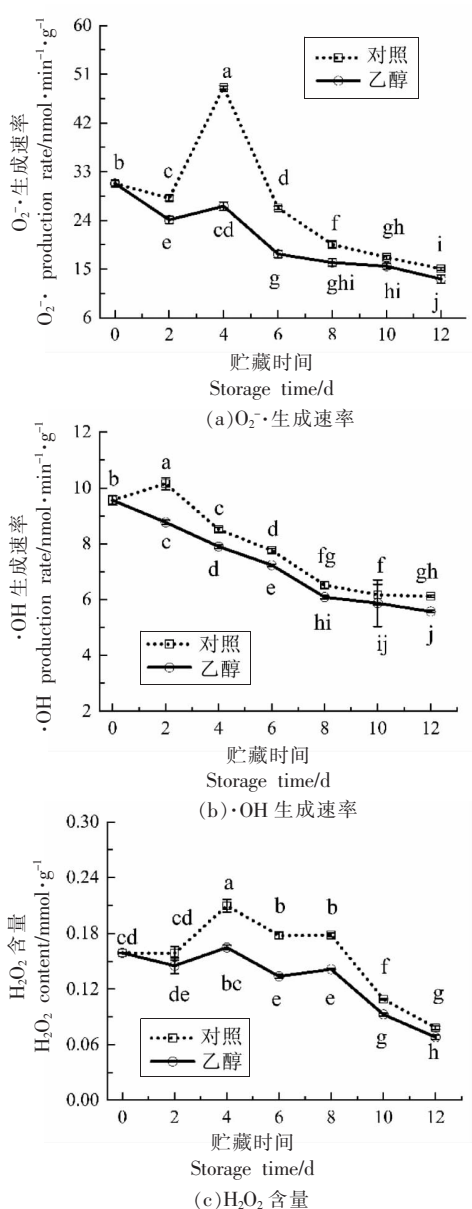


图4 乙醇熏蒸处理对鲜切莲藕片 ROS 积累的影响
Fig.4 Effects of ethanol vapor treatment on the ROS accumulation of fresh-cut lotus root slices

3 结论与讨论

鲜切莲藕加工过程中要经过去皮、切分和包装等一系列加工程序, 这些工序加快了鲜切莲藕的褐变。本研究采用乙醇熏蒸处理鲜切莲藕, 发现 150 $\mu L/L$ 乙醇熏蒸处理能有效维持鲜切莲藕的外观品质和 L^* 值, 显著降低表面褐变程度。在其它果蔬中也有类似的发现, 200 $\mu L/L$ 乙醇熏蒸处理鲜切山药^[9], 400 $\mu L/L$ 乙醇熏蒸处理双孢蘑菇^[10]和

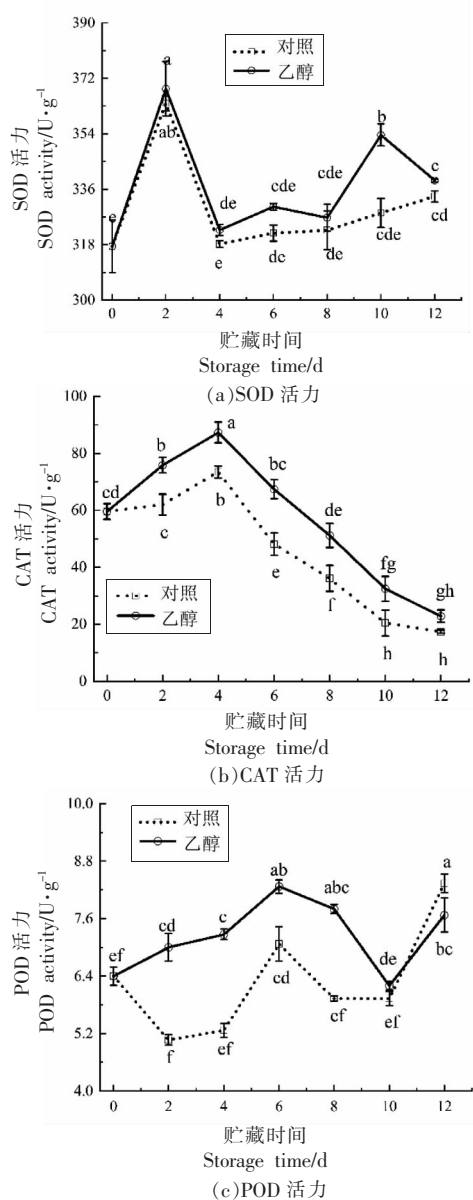


图5 乙醇熏蒸处理对鲜切莲藕片 SOD、CAT 和 POD 活力的影响

Fig.5 Effects of ethanol vapor treatment on the activities of SOD (a), CAT (b), and POD activity (c) of fresh-cut lotus root slices

200 mL/L 乙醇浸泡处理鲜切茼蒿^[7]能降低果蔬表面褐变程度, 然而不同品种的果蔬乙醇处理浓度和处理方式存在差异。

大量研究证实, 鲜切莲藕褐变主要是由酶促褐变引起, 酚类代谢是酶促褐变的重要途径。PAL 酶是酚类物质形成的关键酶, 乙醇熏蒸处理显著抑制了鲜切莲藕 PAL 酶活力。PAL 酶活力的降低

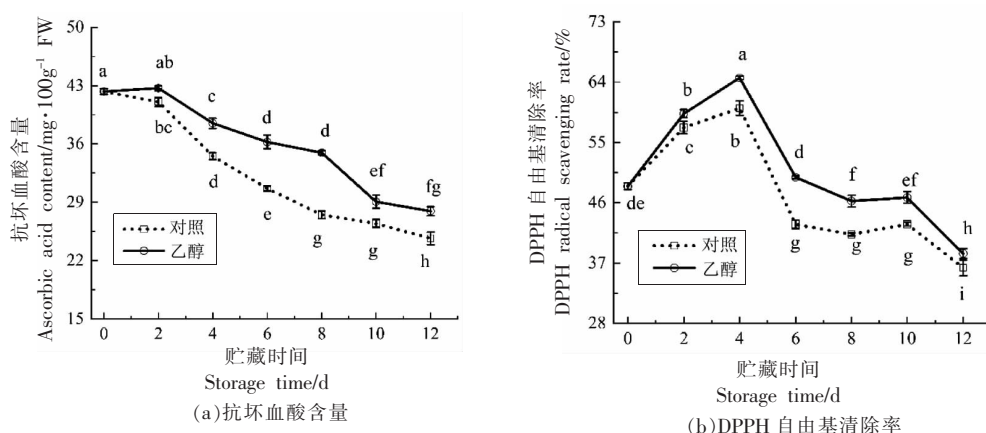


图6 乙醇熏蒸处理对鲜切莲藕片抗坏血酸含量和DPPH自由基清除率的影响

Fig.6 Effects of ethanol vapor treatment on the ascorbic acid contents and DPPH free radical scavenging capacity of fresh-cut lotus root slices

有助于延缓褐变^[19], Yan等^[7]在鲜切生菜的研究中也有类似发现,且该研究认为乙醇处理对PAL酶活力的抑制作用与PAL相关酶基因的表达下调相关。与PAL酶活力降低相对应,乙醇熏蒸处理后鲜切莲藕中总酚含量显著降低,与前人在鲜切莴苣^[7]和双孢蘑菇^[20]中的报道结果一致。PPO能够催化酚类物质氧化形成醌类物质,乙醇处理显著降低了鲜切莲藕中的PPO活力。彭益强等^[21]提出,乙醇分子中羟基和邻苯二酚等酚类化合物化学性质较为相似,其可通过与PPO的底物竞争酶活性中心基团的方式抑制PPO酶活力。鲜切莲藕贮藏过程中,醌类物质的大量积累导致黑色素的形成,乙醇熏蒸能够抑制醌类物质的积累,从而减轻褐变。这不仅与外观上深褐色变浅相对应,还与总酚含量降低和PAL和PPO酶活力的降低相对应。因此,乙醇处理能够通过抑制鲜切莲藕在贮藏过程中的酚类代谢,从而减轻褐变。

ROS有多种形式,超氧阴离子自由基($O_2^{\cdot-}$)、羟基自由基($\cdot OH$)和过氧化氢(H_2O_2)等均为常见的ROS^[22]。本研究中,乙醇处理能够减少细胞内 H_2O_2 含量的积累,降低 $O_2^{\cdot-}$ 产生速率及 $\cdot OH$ 生成能力,通过降低活性氧代谢产物的生成速率,减轻活性氧对细胞造成的伤害。Liu等^[11]研究发现,乙醇处理可有效降低木薯的 H_2O_2 含量及 $O_2^{\cdot-}$ 生成速率,与本研究结果一致。抗氧化酶在褐变抑制中起着关键作用,SOD、CAT和POD等作为酶促防御系统中主要的代谢酶,能清除自由基,减轻膜的

过氧化,维持膜的稳定性^[23]。在本研究中,乙醇熏蒸处理后的鲜切莲藕片中有SOD、CAT和POD同步激活的现象,这与乙醇处理后鲜切莲藕具有更好的外观相一致。这些结果表明,乙醇诱导的抗氧化酶活力提升可能是莲藕片褐变抑制的关键条件。在乙醇熏蒸处理鲜切西兰花^[24]和鲜切草莓^[25]中也发现了乙醇处理对植物酶促抗氧化系统的促进作用。Han等^[24]研究发现乙醇熏蒸能提高鲜切西兰花的SOD、CAT和POD酶活力以延缓其衰老,Li等^[25]的研究表明乙醇熏蒸通过上调抗氧化酶基因来诱导酶活力的提升。此外,乙醇熏蒸也能提高鲜切莲藕的非酶促抗氧化能力,主要体现在显著抑制抗坏血酸含量的损失和显著提升DPPH自由基清除能力两个方面,与前人在樱桃番茄^[12]、杨梅^[13]和西兰花^[14]中获得的结果相似。

综上所述,150 $\mu L/L$ 乙醇熏蒸处理鲜切莲藕2h能有效延缓贮藏期间鲜切莲藕褐变的发生,其不仅能够维持鲜切莲藕的感官品质,还能显著延缓鲜切莲藕的褐变度的上升和 L^* 值的下降。进一步研究表明,乙醇熏蒸处理抑制了鲜切莲藕的酚类代谢,表现为显著降低总酚和可溶性醌含量,显著抑制PAL和PPO酶活力。同时,乙醇熏蒸处理提高了鲜切莲藕的抗氧化水平,其不仅显著降低了 $O_2^{\cdot-}$ 生成速率和 H_2O_2 含量,还能显著提高CAT、POD活力和抗坏血酸含量。此外,乙醇处理对抑制 $\cdot OH$ 的生成速率,提高SOD活力和DPPH自由基清除率有一定积极作用,然而与对照之间

差异不显著。以上结果表明,乙醇熏蒸处理能够通过抑制鲜切莲藕的酚类代谢,提高抗氧化水平,有效减轻鲜切莲藕褐变。

参 考 文 献

- [1] MIN T, XIE J, ZHENG M, 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(1): 69-76.
- [2] SUN Y, ZHANG W, ZENG T, et al. Hydrogen sulfide inhibits enzymatic browning of fresh-cut lotus root slices by regulating phenolic metabolism[J]. *Food Chemistry*, 2015, 177(12): 376-381.
- [3] ALI S, KHAN A S, ANJUM M A, et al. Effect of postharvest oxalic acid application on enzymatic browning and quality of lotus (*Nelumbo nucifera* Gaertn.) root slices[J]. *Food Chemistry*, 2020, 312(11): 126051.
- [4] DU J, FU Y, WANG N. Effects of aqueous chlorine dioxide treatment on browning of fresh-cut lotus root[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2009, 42(2): 654-659.
- [5] GAO H, CHAI H, CHENG N, et al. Effects of 24-epibrassinolide on enzymatic browning and antioxidant activity of fresh-cut lotus root slices[J]. *Food Chemistry*, 2017, 217(4): 45-51.
- [6] MORI T, TERAH H, YAMAUCHI N, et al. Effects of postharvest ethanol vapor treatment on the ascorbate-glutathione cycle in broccoli florets[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2009, 52(1): 134-136.
- [7] YAN S, YANG T, LUO Y. The mechanism of ethanol treatment on inhibiting lettuce enzymatic browning and microbial growth[J]. *LWT - Food Science and Technology*, 2015, 63(1): 383-390.
- [8] HOMAIDA M A, YAN S, YANG H. Effects of ethanol treatment on inhibiting fresh-cut sugarcane enzymatic browning and microbial growth[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2017, 77(3): 8-14.
- [9] FAN W, CAO Y, REN H, et al. Effects of ethanol fumigation on inhibiting fresh-cut yam enzymatic browning and microbial growth[J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2018, 42(2): 13434.
- [10] 靳苗苗, 李云云, 张洪翠, 等. 乙醇熏蒸对双孢蘑菇的护色作用[J]. *食品与发酵工业*, 2018, 44(9): 196-203.
- [11] JIN M M, LI Y Y, ZHANG H C, et al. Effects of ethanol fumigation on color-protecting of *Agaricus bisporus*[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2018, 44(9): 196-203.
- [12] LIU G, LI B, WANG Y, et al. Novel role of ethanol in delaying postharvest physiological deterioration and keeping quality in cassava[J]. *Food and Bioprocess Technology*, 2019, 12(10): 1756-1765.
- [13] LIU H, MENG F, CHEN S, et al. Ethanol treatment improves the sensory quality of cherry tomatoes stored at room temperature[J]. *Food Chemistry*, 2019, 298(29): 125069.
- [14] WANG K, JIN P, TANG S, et al. Improved control of postharvest decay in Chinese bayberries by a combination treatment of ethanol vapor with hot air[J]. *Food Control*, 2011, 22(1): 82-87.
- [15] XU F, CHEN X, JIN P, et al. Effect of ethanol treatment on quality and antioxidant activity in postharvest broccoli florets[J]. *European Food Research and Technology*, 2012, 235(5): 793-800.
- [16] GAO J, LUO Y, TURNER E, et al. Mild concentration of ethanol in combination with ascorbic acid inhibits browning and maintains quality of fresh-cut lotus root [J]. *Postharvest Biology & Technology*, 2017, 128(6): 169-177.
- [17] 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: 34-40.
- [18] CAO J K, JIANG W B, ZHAO Y M. Instruction of fruit and vegetable postharvest physiological and biochemical experiments [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007: 34-40.
- [19] YI Y, HAN M, HUANG F, et al. Effects of a lysine-involved Maillard reaction on the structure and *in vitro* activities of polysaccharides from Longan pulp[J]. *Molecules*, 2019, 24(5): 1-14.
- [20] 冯晓汀. 鲜切西兰花保鲜及机理研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2016.
- [21] FENG X D. Studies on preservation and mechanism of fresh-cut broccoli[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2016.
- [22] HUANG S J, LIN S Y, WANG T T, et al. Combining acetic acid and ethanol as an anti-browning treatment for lettuce butt discoloration through repression of the activity and expression of phenylala-

- nine ammonia lyase[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2020, 164(6): 111151.
- [20] 刘锦, 李云云, 程圣, 等. 双孢菇贮藏不同时期乙醇处理对其保鲜作用研究[J]. *食品与发酵工业*, 2020, 46(4): 227-233.
- LIU J, LI Y Y, CHENG S, et al. Effect of ethanol treatment on the preservation of *Agaricus bisporus* storage in different periods[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2020, 46(4): 227-233.
- [21] 彭益强, 邓峰, 刘宇, 等. 富士苹果中多酚氧化酶活性的中心必需基团与抑制动力学[J]. *华侨大学学报(自然版)*, 2012, 33(1): 51-54.
- PENG Y Q, DENG F, LIU Y, et al. Researches on essential groups of enzyme active site and inhibition kinetics of polyphenol oxidase from Fuji apple [J]. *Journal of Huaqiao University (Natural Science)*, 2012, 33(1): 51-54.
- [22] TRIPATHY B C, OELMÜLLER R. Reactive oxygen species generation and signaling in plants[J]. *Plant Signal Behavior*, 2012, 7(12): 1621-1633.
- [23] MITTLER R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance[J]. *Trends Plant Science*, 2002(7): 405-410.
- [24] HAN J, TAO W, HAO H, et al. Physiology and quality responses of fresh-cut broccoli florets pretreated with ethanol vapor[J]. *Journal of Food Science*, 2006, 71(5): S385-S389.
- [25] LI M, LI X, JING L, et al. Responses of fresh-cut strawberries to ethanol vapor pretreatment: Improved quality maintenance and associated antioxidant metabolism in gene expression and enzyme activity levels[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2018, 66(31): 8382-8390.

Effects of Ethanol Vapor Treatment on Browning and Reactive Oxygen Species Metabolism of Fresh-cut Lotus Root Slices

Xu Yuhan¹, Bao Yinqiu¹, Yi Yang¹, Ai Youwei¹, Wang Hongxun², Min Ting^{1*}
¹College of Food Science & Engineering, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023
²College of Life Science & Technology, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023

Abstract Browning is an important factor contributing to the quality deterioration of fresh-cut lotus roots. In this study, 150 $\mu\text{L/L}$ ethanol fumigation for 2 h was employed to investigate the effects of ethanol on the enzymatic browning and reactive oxygen metabolism of fresh-cut lotus root slices. The results showed that after storage at 10 $^{\circ}\text{C}$ for 12 d, the browning degree and L^* value of fresh-cut lotus root slices decreased by 6.49% and increased by 21.44%, respectively, after ethanol treatment, compared with the control group. Ethanol treatment also could suppress the synthesis and oxidation of phenols in fresh-cut lotus roots by inhibiting phenylalanine deaminase and polyphenol oxidase activities. By the end of storage, the soluble quinone content of the control group was 1.15 folds as that of the ethanol-treated group. In addition, ethanol treatment could effectively maintain catalase and peroxidase activities and ascorbic acid content. After 12 d of storage, the $\text{O}_2^{\cdot-}$ production rate and H_2O_2 level in fresh-cut lotus roots after ethanol treatment were 87.69% and 79.17% of those in the control group, respectively. In conclusion, ethanol fumigation treatment may delay the occurrence of browning in fresh-cut lotus roots by inhibiting phenolic metabolism and increasing antioxidant ability.

Keywords fresh-cut lotus; ethanol vapor; browning; phenolic compounds metabolism; reactive oxygen species metabolism