

DOI:10.11937/bfyy.201711040

果蔬采后酶促褐变机理及控制方法研究进展

齐笑笑

(安徽广播电视大学 农业与医疗卫生学院,安徽 合肥 230022)

摘 要:酶促褐变是导致果蔬贮藏、加工过程中外观品质、营养价值降低和货架期缩短的重要原因之一。该研究综述了果蔬采后酶促褐变机理、酶促褐变的物质条件以及控制酶促褐变的化学和物理方法,以期果蔬采后贮藏保鲜提供参考依据。

关键词:果蔬;采后;酶促褐变;控制方法

中图分类号:S 609.9 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)11-0190-05

褐变现象是果蔬采后贮藏过程中普遍存在的问题,褐变不仅影响产品的外观品质和风味,而且还降低果蔬的营养价值。果蔬褐变从本质上可以分为两大类,即酶促褐变和非酶促褐变,通常以酶促褐变为

主^[1]。关于酶促褐变机理及其控制技术,国内外众多学者进行了大量研究,现就这一方面做归纳综述,以期以后相关研究提供参考与借鉴。

1 果蔬采后酶促褐变机理

关于酶促褐变机理研究者曾先后提出了乙醛乙醇毒害学说、抗坏血酸保护假说、氧自由基假说、酚-酚酶区域化分布学说等多种理论学说,其中酚-酚酶区域化分布学说得到大家的普遍认同。MAYER等^[2]研究发现,果蔬中的酚类物质与多酚氧化酶呈

作者简介:齐笑笑(1984-),女,安徽无为,人,博士,讲师,现主要从事果蔬采后生理等研究工作。E-mail:qxaxou@163.com.

基金项目:安徽省高校自然科学研究资助项目(KJ2015A443);安徽广播电视大学博士人才科研启动基金资助项目。

收稿日期:2016-12-20

[4] 孔海燕. 洛阳市发展农业品牌战略的措施建议[J]. 河南农业, 2014(3):29.

[5] 谢群斌. 福建省实施农业品牌战略的制约因素和路径选择[J]. 中国市场, 2013(36):83-84.

[6] 沈晓玲. 四川农业品牌建设成效与思考[J]. 农产品质量与安全, 2012(4):72-73.

[7] 农业部新闻办公室. 我国农业品牌建设硕果盈枝[J]. 休闲农业

与美丽乡村, 2016(1):90.

[8] 时元宁. 国内外农村合作经济组织在农业品牌建设中的作用分析[J]. 世界农业, 2015(9):167-169.

[9] 邓须军. 对海南热带农业产业集群发展的思考[J]. 中国热带农业, 2009(2):14-16.

[10] 钟利文. 海南的农业资源特点和热带农业发展道路选择[J]. 农业现代化研究, 2009(3):306-309.

Present Situation of Brand of Hainan Province Agriculture, Difficulties and Countermeasures

YAN Xianfeng

(School of Management, Taizhou Vocational and Technical College/Taizhou Taiwan Institute, Taizhou, Zhejiang 318000)

Abstract: Developing brand agriculture is the transformation of the mode of agricultural development, deepening reform of the agricultural side structure, realization of farmers' income and agricultural efficiency. The basic way for poverty alleviation out of poverty. In this study, the present situation of brand agriculture development of Hainan Province is researched, on the basis of analyzing the brand agriculture development bottlenecks, and put forward suggestions to promote the development of brand agriculture.

Keywords: Hainan Province; brand agriculture; agriculture development bottlenecks; brand building strategy

区域性分布,当果蔬受到机械损伤或处于冻害、冷害、热胁迫等不良环境时,果蔬组织中酚类物质与多酚氧化酶的区域化分布状态遭到破坏,组织中的酚类化合物被氧化成醌类物质(初级代谢产物),醌类物质之间经相互聚合反应形成褐色产物,从而导致组织褐变。

2 果蔬酶促的物质条件

2.1 与果蔬酶促褐变相关的酶

酶促褐变过程相关的酶类主要有多酚氧化酶(PPO)、过氧化物酶(POD)、苯丙氨酸解氨酶(PAL)等,其中导致果蔬发生酶促褐变的主要酶类是多酚氧化酶^[3]。

多酚氧化酶(PPO)是一种含多个铜离子的膜蛋白酶,其活性因不同果蔬、不同成熟度及不同部位而存在较大差异。PPO在细胞内以2种形式存在:一种以游离态(FPPO)存在于细胞质中,具有催化活性;一种以结合态(BPPO)形式存在于细胞膜上,当细胞膜结构遭到破坏时,BPPO便游离出来转化为FPPO^[4]。霍君生等^[5]研究发现在新鲜的莱阳茡梨和雪花梨果实中,PPO主要以BPPO形式存在,随着褐变程度的提高,FPPO活性则相对提高,FPPO/BPPO的比值明显提高。荔枝采后衰老过程中,因膜系统的破坏而导致与膜结合的BPPO转化为FPPO^[6]。多酚氧化酶催化两类不同的反应:一类是酚类化合物氧化酶在有氧条件下催化一元酚羟基化生成相应的邻-二羟基化合物,另一类反应是氧化邻苯二酚,脱氢生成邻-醌。果蔬采后酶促褐变常伴随着多酚氧化酶活性的提高,如红枣在贮藏过程中,其褐变度与多酚氧化酶活性呈正相关,相关系数为0.999 3^[7]。张佳俊等^[8]研究表明桃优系‘保佳俊’果实在贮藏期间表现出显著不易褐化特征,直接原因是多酚氧化酶活性较低。

许多研究报道指出,过氧化物酶(POD)也同样参与了果蔬采后酶促褐变反应。POD在H₂O₂存在下,通过催化果蔬中的类黄酮及酚类的聚合和氧化,导致组织褐变^[9-10]。张芳^[11]研究认为POD是引起双孢菇采后褐变的最主要的原因之一。韩艳文等^[12]利用半定量RT-PCR技术研究了鸭梨中过氧化物酶基因的表达与鸭梨褐变的关系,结果发现鸭梨果心中POD基因表达量与褐变指数变化相一致,说明POD与鸭梨酶促褐变密切相关。

苯丙氨酸解氨酶(PAL)并不直接参与褐变反应,而是作为苯丙烷类代谢途径的关键酶,催化苯丙氨酸脱氨形成肉桂酸,再经过一系列的转变生成各

类酚类物质^[13]。因此,PAL的存在影响褐变底物酚类物质的含量,其活性常可作为褐变反应的指标^[14]。研究发现,热激处理牛蒡,抑制其PAL活性并降低活性高峰,使褐变程度减轻^[15]。脐橙褐变过程中,褐变较严重的果实中,PAL活性也较强,同时,PAL2、PAL6基因表达量则明显上升^[16]。闫洪波等^[17]研究发现鸭梨组织褐变过程中编码PAL基因的PbPAL1和PbPAL2表达量亦显著上调。

2.2 酶促褐变底物

果蔬中的酚类物质是作为酶促褐变的主要底物,但不同果蔬组织中酚类物质种类存在较大差异。目前,已有较多关于酚类物质作为酶促褐变反应底物的研究报道。袁江等^[18]通过高效液相色谱检测到梨果实中绿原酸是最主要的褐变底物。荔枝、龙眼果皮褐变底物为酚类物质且种类较多,如儿茶素类、原花色素类和邻苯二酚类化合物等^[19]。

2.3 氧气

氧是果蔬酶促褐变的必要条件。果蔬加工及贮藏过程中,由于机械损伤、热害、冷害等刺激时,果蔬膜系统的完整性遭到破坏,打破了酚类物质和多酚氧化酶的区域化分布,使酚类物质、多酚氧化酶和氧气充分接触,酚类物质被多酚氧化酶催化氧化为醌,然后进行一系列的氧化聚合反应,进而形成黑色或褐色物质,导致果蔬酶促褐变的发生^[20]。

3 果蔬酶促褐变的控制方法

3.1 化学方法

3.1.1 酶蛋白抑制剂 酶蛋白抑制剂包括蛋白酶、间苯二酚衍生物、半胱氨酸、氯化物等常为PPO的直接抑制剂。詹嘉红^[21]研究发现使用L-半胱氨酸处理枇杷果实,果实中多酚氧化酶的活性明显受到抑制,大大延缓了枇杷果实在贮藏加工过程中的酶促褐变的发生。4-乙基间苯二酚(4-HR)为芳香族化合物,大量试验发现4-HR对PPO催化氧化多酚物质有阻碍作用,是一种很有潜力的酶促褐变抑制剂^[22]。黄永峰等^[23]使用100 mg·L⁻¹ ClO₂处理鲜切藕片,抑制了PPO活性,可以较长时间保持鲜切藕片最佳感官品质及减轻褐变程度。蛋白酶同样可以有效抑制果蔬褐变,菠萝蛋白酶^[24]和木瓜蛋白酶^[25]等含有巯基的蛋白酶已被证实抑制酶促褐变效果明显,这可能是由于蛋白酶催化酶促褐变的酶水解所致。

3.1.2 还原剂 还原剂主要包括抗坏血酸及其衍生物。抗坏血酸将醌类物质还原为酚类化合物,并与褐变过程中形成的黑褐色物质生成无色加成产

物。此外,维生素 C 还可以钝化 PPO 活性,减缓果蔬酶促褐变^[26]。李粉玲等^[27]研究发现使用浓度为 0.1% 的抗坏血酸对番石榴果肉中的多酚氧化酶活性抑制效果最明显,有效防止酶促褐变。同样使用 2.5 mmol · L⁻¹ 抗坏血酸处理槟榔芋,其 PPO 相对酶活力仅为对照的 6.1%,直接抑制了 PPO 活性^[28]。

3.1.3 酸化剂 许多有机酸是天然的褐变抑制剂,如柠檬酸、水杨酸、苹果酸等能够降低体系的 pH,络合金属离子,钝化 PPO 活性,能够在一定程度上有效抑制果蔬的褐变。研究发现水杨酸处理对香蕉^[29]、板栗^[30]等果蔬酶促褐变有显著的抑制作用。GACCHE 等^[31]研究了肉桂酸能够作为 PPO 的竞争性抑制剂,显著降低其催化能力,使得褐变反应得到较大程度地延迟。魏敏^[32]研究鲜切苹果酶促褐变的控制方法中发现,单一使用 0.3% 柠檬酸、0.5% 草酸均有效抑制褐变,保持鲜切苹果品质。

3.1.4 螯合剂和络合剂 螯合剂中的 EDTA、植酸,络合剂中的环状糊精等因素具有食用安全等优点,已被广泛应用于抑制果蔬褐变^[33]。郝亚勤^[34]以鲜切莲藕为研究材料,发现 2.0 g · L⁻¹ EDTA-2Na 对于莲藕的 PPO 活性抑制率较高。植酸具有很强的抗氧化能力,并能够螯合 PPO 中的铜辅基,从而抑制酶促褐变。季月月等^[35]研究选用复合护色剂(植酸 0.02%、维生素 C 0.01%、柠檬酸 0.4%)浸泡处理宣木瓜,可有效防止酶促褐变。环状糊精可以很好地包接 β-胡萝卜素、黄酮类色素、核黄素等醌类色素、叶绿素等色素,形成复合物,保持稳定^[36]。使用 0.3% β-环状糊精+0.2% 葡萄糖酸锌复合液浸泡杏片,热烫 2 min,钝化了 PPO 活性,经此处理的杏片仍保持良好的感官品质^[37]。

3.2 物理方法

3.2.1 热处理 热处理作为一种安全、无毒的果蔬保鲜方法,已经在多种果蔬保鲜中得到应用。热处理方式主要包括热水浸泡、热蒸汽及热空气熏蒸等,关于热处理抑制果蔬酶促褐变已有广泛研究报道^[38-40]。热处理可以使 PPO、POD 失活,从而抑制果蔬酶促褐变^[41]。袁明芬等^[42]研究发现 35、45、55 °C 热处理鲜切香蕉,均降低其 PPO、POD 活性,控制丙二醛(MDA)和总酚的含量,说明热处理可以有效抑制鲜切香蕉贮藏期间褐变的发生,较好地维持鲜切香蕉的亮度。

3.2.2 气调贮藏 气调贮藏是通过调节贮藏环境中气体成分的保鲜方法,主要有自发气调、充氮气调、高 CO₂ 气调及固定气体比例气调等。气调贮藏

主要通过减少 O₂ 含量、提高 CO₂ 浓度、大幅度抑制果蔬的呼吸强度和自我消耗,从而起到抑制果蔬酶促褐变的作用。目前利用气调法以抑制鲜切果蔬酶促褐变的研究报道较多^[43-45]。胡晓霞等^[46]研究发现, O₂ 低于 1 kPa 时能显著抑制由 PPO 所诱导的果蔬酶促褐变的发生。孙志栋等^[47]应用简易气调(抽气、充 N₂ 和常压)对芋进行处理,明显抑制了芋的氧化褐变,降低褐变指数。

3.2.3 低温贮藏 低温贮藏能有效抑制果实呼吸作用和降低酶的活性,减少乙烯释放,延长货架期,是控制鲜切果蔬最有效、最常用的措施^[48]。在 2 °C 和 8 °C 低温下贮藏鲜切莴笋,有效抑制多酚氧化酶的活性,降低呼吸速率,减轻褐变程度^[49]。低温贮藏鲜切胡萝卜,可以显著抑制鲜切胡萝卜的失重率和呼吸强度,并降低丙二醛的含量和维生素 C 的损失率,减缓了鲜切胡萝卜的褐变^[50]。

3.2.4 其它物理方法 超声、高压、辐照等处理也对果蔬采后酶促褐变有一定的抑制作用。超声处理作为一种非加热手段,利用其振动能量来改变物质的组织结构、状态和功能^[51]。以鲜切马铃薯为试材,超声功率 600 W 处理 90 min,通过抑制多酚氧化酶活性,从而达到抑制酶促褐变的作用^[52]。高压处理是近年来在食品加工领域中采用的灭菌措施,通过降低相关酶的活性,以达到控制果蔬褐变的目的^[53]。用 600 MPa 高压处理钝化苹果、葡萄和鳄梨中提取出来的 PPO 活性,在 900 MPa 时其活性则完全丧失^[54],类似的处理在胡萝卜上也有报道^[55]。近年来,辐照处理也可用于推迟果蔬成熟和防止部分果蔬发生酶促褐变。如哈密瓜^[56]、胡萝卜^[57]、芹菜^[58]使用辐照处理后明显抑制了相关酶活性,从而延缓组织褐变。

4 其它防褐变技术

除了采用物理方法、化学方法等,还有基因工程改良技术。利用基因工程改良法,如用反义 RNA 技术阻止 PPO 基因的表达,培育出抗褐变果蔬品种^[59]。BACHEM 等^[60]利用转基因技术抑制了 PPO 基因的表达,并获得了 PPO 活性较低的马铃薯品种;GOETZER 等^[61]在马铃薯中转入了番茄的 PPO 正义和反义基因,可延缓其褐变。随着分子生物学技术日臻成熟,控制果蔬酶促褐变的基因不断被分离出来,有望从分子水平来控制果蔬酶促褐变。

另外,导致果蔬酶促褐变往往是多种因素所致,因此在实际操作中需要物理方法和化学方法结合应

用,防止果蔬采后酶促褐变。例如采用 0.3%抗坏血酸溶液在 90℃热烫 3 min 以上可以使荔枝中的 PPO 失活,较好维持荔枝在常温贮藏条件下的色泽^[62]。用 D-异抗坏血酸钠处理鲜切苹果在 4℃条件下贮藏 8 d,能够维持苹果较好的外观品质,延迟果肉褐化进程^[63]。

5 展望

控制果蔬采后酶促褐变,保持果蔬贮藏期间品质和延长货架期是人们长期关注的问题。关于果蔬酶促褐变的研究主要包括酶促褐变机制和褐变控制方法的探究。褐变控制方法主要集中在物理、化学等方面,但都存在一定的局限性。随着分子生物学的不断发展,在分子水平上揭示果蔬采后酶促褐变发生机制并通过基因工程技术进行基因改良控制酶促褐变关键基因,将是今后果蔬采后酶促褐变领域的研究重点。

参考文献

- [1] 王静. 果蔬采后酶促褐变控制的研究进展[J]. 保鲜与加工, 2014(4): 49-52.
- [2] MAYER A M, HAREL E. Polyphenol oxidases in plants[J]. Phytochemistry, 1979, 18: 193-215.
- [3] MISHRA B B, GAUTAM S, SHARMA A. Free phenolics and polyphenol oxidase (PPO): The factors affecting post-cut browning in eggplant (*Solanum melongena*) [J]. Food Chemistry, 2013, 139(1-4): 105-114.
- [4] 弓志青, 王文亮. 果蔬采后酶促褐变机理及影响褐变的因素研究进展[J]. 中国食物与营养, 2012, 18(2): 30-33.
- [5] 霍君生, 佟代言, 刘彩莉, 等. 鸭梨果心褐变过程中膜质过氧化及细胞内膜微粘度的变化[J]. 园艺学报, 1995, 22(3): 221-224.
- [6] 李济权. 荔枝保鲜过程中多酚氧化酶活性的抑制研究[J]. 广西民族大学学报(自然科学版), 2003, 9(4): 29-33.
- [7] 张百刚. 红枣多酚氧化酶(PPO)特性及抑制其酶促褐变的研究[D]. 西安: 陕西师范大学, 2006.
- [8] 张佳俊, 陈海江, 曹洪波, 等. 桃优系‘保佳俊’采后褐变特征与相关机理研究[J]. 果树学报, 2014(5): 946-952.
- [9] VENKATACHALAM K, MEENUNE M. Changes in physio-chemical quality and browning related enzyme activity of longkong fruit during four different weeks of on-tree maturation[J]. Food Chemistry, 2012, 131(4): 1437-1442.
- [10] JIANG J, JIANG L, LOU H, et al. Establishment of a statistical model for browning of fresh-cut lotus root during storage[J]. Postharvest Biology & Technology, 2014, 92(3): 164-171.
- [11] 张芳. 影响双孢菇褐变代谢机制研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2012.
- [12] 韩艳文, 廉双秋, 韩云云, 等. 鸭梨 POD 基因的原核表达及成熟度和降温方法对其表达量的影响[EB/OL]. 食品科学, <http://auth.njau.edu.cn:2072/kcms/detail/11.2206.TS.20160828.1854.054.html>.
- [13] 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.
- [14] 吴友根, 陈金印. 翠冠梨酶促褐变及其生化机制研究[J]. 中国农学通报, 2003, 19(4): 135-137.
- [15] 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.
- [16] 李正国, 高雪, 樊晶, 等. 奉节脐橙果实苯丙氨酸解氨酶活性及其基因表达与果皮褐变的关系[J]. 植物生理与分子生物学学报, 2006, 32(3): 381-386.
- [17] 闫洪波, 程玉豆, 何近刚, 等. 鸭梨 PAL 克隆及其在果实发育和机械伤害过程中的表达[J]. 中国农业科学, 2014(21): 4341-4348.
- [18] 袁江, 张绍铃, 曹玉芬, 等. 梨果实酚类物质与酶促褐变底物的研究[J]. 园艺学报, 2011, 38(1): 7-14.
- [19] 孙健, 李丽, 游向荣. 荔枝、龙眼采后酶促褐变反应化学机理研究进展[J]. 南方农业学报, 2012, 43(10): 1561-1568.
- [20] 鞠志国, 原永兵, 刘成连, 等. 急降温对活性氧和梨果心褐变的影响[J]. 中国农业科学, 1994, 27(5): 77-81.
- [21] 詹嘉红. 枇杷果实酶促褐变控制研究[J]. 现代食品科技, 2004, 20(4): 49-50.
- [22] MCEVILY A J, IYENGAR R, GROSS A. Compositions and methods for inhibiting browning in foods using resorcinol derivatives[J]. U. S. Patent, 1991(5): 59, 438.
- [23] 黄永峰, 宋俊梅. 二氧化氯对鲜切莲藕多酚氧化酶的影响研究[J]. 现代食品科技, 2008, 24(10): 995-998.
- [24] 吴茂玉, 马超, 乔旭光, 等. 菠萝蛋白酶的研究及应用进展[J]. 食品科技, 2008(8): 17-20.
- [25] 沈金玉, 李晓莉, 黄家音. 木瓜蛋白酶抑制芦荟褐变的研究[C]. 中国酶工程学术研讨会, 2005.
- [26] 戴雪群, 冯桂萍. 抗坏血酸的抗氧化性能与使用分析[J]. 中外食品工业月刊, 2014(2): 70-71.
- [27] 李粉玲, 蔡汉权, 江海涛, 等. 番石榴果肉的酶促褐变及其抑制措施[J]. 食品工业科技, 2008(2): 149-152.
- [28] 王玺, 孙明元, 蒋珍菊. 槟榔芋多酚氧化酶的酶学特性研究[J]. 食品工业, 2015(6): 158-162.
- [29] 曲留柱. 香蕉多酚氧化酶特性及其催化褐变防控研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2014.
- [30] ZHOU D, LI L, WU Y, et al. Salicylic acid inhibits enzymatic browning of fresh-cut Chinese chestnut (*Castanea mollissima*) by competitively inhibiting polyphenol oxidase[J]. Food Chemistry, 2015, 171: 19-25.
- [31] GACCHE R N, WARANGKAR S C, GHOLE V S. Glutathione and cinnamic acid: Natural dietary components used in preventing the process of browning by inhibition of polyphenol oxidase in apple juice[J]. Journal of Enzyme Inhibition & Medicinal Chemistry, 2004, 19(2): 175-179.
- [32] 魏敏. 鲜切苹果酶促褐变及品质控制技术研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2011.
- [33] 陈健, 姚延梅. 果蔬贮藏与加工时酶促褐变的研究进展[J]. 山西林业科技, 2009, 38(1): 37-39.
- [34] 郝亚勤. 鲜切莲藕酶促褐变控制的研究[J]. 湖北农业科学, 2014, 53(11): 2620-2623.
- [35] 季月月, 董明, 费莉娟, 等. 宣木瓜罐头生产过程中的护色工艺[J]. 食品工业科技, 2014, 35(19): 204-207.
- [36] 姚艾东, 龚院生, 卢燕杰, 等. β -环状糊精的性质及应用[J]. 食品科技, 1996(4): 26.

- [37] 赵桂玲. 杏的无硫护色工艺研究[J]. 食品研究与开发, 2008, 29(10): 77-79.
- [38] 邹礼根, 邱静, 赵芸, 等. 蜜梨果实多酚氧化酶酶学特性的研究[J]. 保鲜与加工, 2014, 14(1): 19-22.
- [39] 李利华, 刘军海. 山楂多酚氧化酶的酶学特性研究[J]. 现代食品科技, 2015, 31(9): 112-116.
- [40] CHUANG H J, CHO A, LIM S T. Utilization of germinated and heat-moisture treated browning rice in sugar-snap cookies[J]. LWT-Food Science and Technology, 2014, 57: 260-266.
- [41] 田密霞, 胡文忠, 姜爱丽, 等. 不同温度热水处理对鲜切黄冠梨生理生化的影响[J]. 食品工业科技, 2008, 29(8): 261-263, 267.
- [42] 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.
- [43] SAXENA A, SAXENA T M, RAJU P S, et al. Effect of controlled atmosphere storage and chitosan coating on quality of fresh-cut jackfruit bulbs[J]. Food Bioprocess Technology, 2013, 6(8): 2182-2189.
- [44] JAYATHUNGE K G L R, GUNAWARDHANA D K S N, ILLEPERUMA D C K, et al. Physico-chemical and sensory quality of fresh cut papaya (*Carica papaya*) packaged in micro-perforated polyvinyl chloride containers[J]. Journal Food Science Technology, 2014, 51(12): 3918-3925.
- [45] 李江明, 章超华, 秦小明, 等. 短期厌氧处理对鲜切菠萝蜜在冷藏期间品质的影响[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(8): 2460-2463.
- [46] 胡晓霞, 缪丽华. 鲜切果蔬酶促褐变控制研究进展[J]. 食品科技, 2012(2): 36-39.
- [47] 孙志栋, 田方, 张仁杰, 等. 1-MCP 和简易气调处理对采后子芋贮藏品质的影响[J]. 热带作物学报, 2016, 37(7): 1424-1429.
- [48] 魏敏, 周会玲, 陈小利, 等. 低温贮藏对鲜切富士苹果褐变的影响[J]. 西北林学院学报, 2011, 26(5): 131-134.
- [49] 杨霞, 舒晓斌, 吴广辉, 等. 贮藏温度对鲜切莴笋品质的影响[J]. 食品与机械, 2011, 27(5): 156-158.
- [50] 任丽芳, 李军. 贮藏温度对鲜切胡萝卜品质的影响[J]. 食品科技, 2014(5): 30-33.
- [51] SORIA A C, VILLAMIEL M. Effect of ultrasound on the technological properties and bioactivity of food: A review[J]. Trends in Food Science & Technology, 2010, 21(7): 323-331.
- [52] 杨明冠, 朱传合. 超声处理抑制鲜切马铃薯酶促褐变的机理研究[J]. 农产品加工, 2016(3): 1-5.
- [53] HENDRICK M, LUDIKHUYZE L, BROECK I, et al. Kinetic study of antibrowning agents and pressure inactivation of avocado polyphenoloxidase[J]. Trend food Science Technology, 1998, 9(5): 197-203.
- [54] WEEMASE C, LUDIKHUYZE L, BROECK I V D, et al. High pressure inactivation of polyphenoloxidases[J]. Journal of Food Science, 1998, 63(5): 873-877.
- [55] ANESE M, MICOLI M C, DALL-AGLIO G, et al. Effect of high pressure treatment on peroxidase and polyphenoloxidase activities[J]. Journal of Food Biochemistry, 1995, 18(4): 285-293.
- [56] 周任佳, 乔勇进, 王海宏, 等. 高能电子束辐照处理对鲜切哈密瓜品质及微生物控制效果的影响[J]. 保鲜与加工, 2011, 11(6): 27-30.
- [57] ALEGRI C, PINHEIRO J, DUTHOIT M, et al. Fresh-cut carrot (*cv. Nantes*) quality as affected by abiotic stress (heat shock and UV-C irradiation) pre-treatments[J]. LWT-Food Science and Technology, 2012, 48(2): 197-203.
- [58] ZHAN L J, HU J Q, LIM L T, et al. Light exposure inhibiting tissue browning and improving antioxidant capacity of fresh-cut celery (*Apium graveolens* var. *dulce*) [J]. Food Chemistry, 2013, 141: 2473-2478.
- [59] 闵婷, 谢君, 郑梦林, 等. 果蔬采后酶促褐变的机制及控制技术研究进展[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(1): 273-276.
- [60] BACHEM C W B, SPECKMANNG J, LINDE P C G V D, et al. Antisense expression of polyphenol oxidase genes inhibits enzymatic browning in potato tubers[J]. Nature Biotechnology, 1994, 12(11): 1101-1105.
- [61] GOETZER C, CORSINI D, LOVE S, et al. Control of enzymatic browning in potato (*Solanum tuberosum* L.) by sense and antisense RNA from tomato polyphenol oxidase[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2001, 49(2): 652-657.
- [62] 黄略略, 乔方, 方长发, 等. 冻干荔枝前处理的酶促褐变控制研究[J]. 食品工业科技, 2013, 34(3): 70-73.
- [63] 范林林, 赵宏侠, 冯叙桥, 等. D-SE 处理对鲜切寒富苹果的保鲜效果[J]. 食品工业科技, 2015, 36(2): 323-327.

Research Advance in Enzymatic Browning and Inhibition Method of Postharvest of Fruits and Vegetables

QI Xiaoxiao

(College of Agriculture, Medicine and Health, Anhui Radio and Television University, Hefei, Anhui 230022)

Abstract: Enzymatic browning is one of the important reasons of resulting in a decline in exterior quality, lower nutritional value and shorter shelf life of fruit and vegetable. The study summarized that enzymatic browning mechanism, material conditions and chemical methods and physical methods control of post-harvest fruits and vegetables. It could provide a theoretical reference for further studying enzymatic browning mechanism and preservation of postharvest fruits and vegetables.

Keywords: fruits and vegetables; postharvest; enzymatic browning; control methods