

冯向阳, 谢 君, 王宏勋, 等. 真空包装通过调节酶活性抑制鲜切莲藕酶促褐变[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(7): 210–214.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.07.050

真空包装通过调节酶活性抑制鲜切莲藕酶促褐变

冯向阳¹, 谢 君², 王宏勋^{1,2}, 易 阳^{1,2}, 侯温甫^{1,2}, 艾有伟¹, 闵 婷^{1,2}

(1. 武汉轻工大学食品科学与工程学院, 湖北武汉 430023; 2. 湖北省生鲜食品工程技术研究中心, 湖北武汉 430023)

摘要:鲜切莲藕因失去外层组织保护而易发生褐变, 而酶促褐变是主要原因。真空包装对鲜切莲藕的褐变有较好的延缓作用, 其中多酚氧化酶 (polyphenol oxidase, 简称 PPO) 和过氧化物酶 (peroxidase, 简称 POD) 的编码基因是参与果蔬褐变的主要基因。但目前关于真空包装对鲜切莲藕片相关酶活性及其编码基因表达的影响研究甚少。分析在 4 ℃ 下真空包装对鲜切莲藕贮藏过程中褐变度和 PPO、POD 活性及其编码基因表达的影响。结果表明, 真空包装对延缓鲜切莲藕褐变有较好效果, 且在贮藏期内真空包装鲜切莲藕 PPO、POD 活性变化与其褐变度大体一致。与此同时, 基因 *NnPPOC* 和 *NnPOD4* 的表达量变化对 PPO、POD 活性的影响与最终莲藕的褐变度变化一致, 且真空包装对基因 *NnPPOA*、*NnPOD1/2/3* 的表达呈现出不同程度的抑制效果, 说明真空包装对鲜切莲藕的 *NnPPOA/C* 和 *NnPOD1/2/3/4* 基因表达量有降低作用, 进而起到延缓褐变的目的。

关键词:鲜切莲藕; 褐变; 酶活性; 基因表达

中图分类号: TS255.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)07-0210-04

莲藕 (*Nelumbo nucifera* Gaertn.) 属睡莲科 (Nelumbonaceae) 多年生宿根性草本植物, 是我国特色的水生蔬菜和出口创汇蔬菜, 并逐渐成为最受欢迎的蔬菜之一^[1-3]。近年来, 随着消费水平的提高和生活方式的变化, 鲜切果蔬越来越受关注, 而莲藕因其具有营养丰富、组织脆嫩等特点逐渐成为鲜切果蔬商品化中重要的一部分^[4-5]。然而, 鲜切莲藕在加工贮藏过程中极易发生酶促褐变, 对其品质产生不可逆的影响, 降低食用价值和缩短货架期^[6-7], 因此, 抑制酶促褐变是保持鲜切莲藕品质和延长货架期的重要途径。

目前控制鲜切果蔬褐变的方法可以分为保鲜剂 (如 L-半胱氨酸^[8]、二氧化氯^[9]、亚硫酸盐^[10]、过氧化氢^[11]、抗坏血酸及其衍生物^[12]、有机酸^[13-14]、螯合剂中的乙二胺四乙酸、植酸^[15-16]) 处理, 以及不同包装方式 (如热处理^[17]、气调贮藏^[18]、低温贮藏^[19]) 处理, 其中真空包装作为保鲜技术的一种重要方式, 通过抽真空来降低空气压力, 减少包装中的氧气含量, 从而降低果蔬的呼吸强度并抑制多酚氧化酶的活性, 进而延缓鲜切果蔬的褐变进程, 现有研究发现, 真空包装结合低温贮藏能有效保持鲜切菠萝的品质, 使其褐变度明显降低^[20]。

目前研究报道显示, *PPO* 和 *POD* 基因参与了果蔬褐变进程^[21-22], 笔者所在实验室前期研究也发现, *NnPPOA*、*NnPOD1-6* 是高温诱导下鲜切莲藕褐变的候选基因^[19]。但是, 关于真空包装对鲜切莲藕中 *PPO* 和 *POD* 编码基因的影响研究甚少。因此, 本试验采用在 4 ℃ 下真空包装方式对在贮藏期内鲜切莲藕的褐变度和多酚氧化酶 (polyphenol

oxidase, 简称 PPO)、过氧化物酶 (peroxidase, 简称 POD) 活性变化及其编码基因表达的影响进行研究。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

新鲜带泥莲藕 (品种为武植二号), 购于武汉民生金旺果蔬批发市场; NaH₂PO₄、Na₂HPO₄、无水碳酸钠、丙酮、磷酸、聚乙二醇 6000、无水乙醇、聚乙烯吡咯烷酮 (PVP)、邻苯二酚、愈创木酚氯仿、异戊醇、疏基乙醇、十六烷基三甲基溴化铵 (CTAB)、Tris、LiCl、NaOH (分析纯, 国药集团化学试剂有限公司); 30% 过氧化氢 (分析纯, 上海威奥生物科技有限公司)。

cDNA 合成试剂盒、Ssofast 反应试剂盒 (美国 Bio-Rad); Triton X-100 (Biosharp 生物科技有限公司); 50 × TAE (北京百奥莱博科技有限公司); TaKaRa 胶回收试剂盒、E × Tap 酶反应试剂盒、DH5α (TaKaRa 生物有限公司); 去除 DNA 试剂盒 (美国 Thermo); 琼脂糖凝胶 (北京沃比森科技有限公司); DEPC (Biosharp 生物科技有限公司)。

1.2 仪器与设备

AR2140 型电子分析天平 [奥赛斯国际贸易 (上海) 有限公司]; GL-20G-II 离心机 (上海安亭科学仪器厂); IMS-20 雪科制冰机 (常熟市雪科电器有限公司); XHF-D 内切式匀浆机 (宁波新芝生物科技股份有限公司); HH-S₄ 数显恒温水浴锅 (江苏省金坛市医疗仪器厂); 101-3EB 型电热鼓风干燥箱 (北京市永光明医疗仪器有限公司); DRP-9082 型电热恒温培养箱 (上海恒一科学仪器有限公司); HYC-326A 医用冷藏箱 (青岛海尔特种电器有限公司); DF-101S 集热式恒温加热磁力搅拌器 (巩义市予华仪器有限责任公司); A360 型紫外可见分光光度计 [翱艺仪器 (上海) 有限公司]; 气调包装机成套设备 (上海福帝包装机械有限公司); FHW-450 型保鲜膜封接机 (浙江江南实业有限公司); DYCP-31DN 电泳仪 (北京六一仪器厂); T100 TM Thermal Cycler PCR 仪、

收稿日期: 2018-12-10

基金项目: 国家重点研发计划 (编号: 2016YFD0400103-05); 武汉轻工大学杰出项目 (编号: 2018J02)。

作者简介: 冯向阳 (1993—), 男, 安徽六安人, 硕士研究生, 主要研究方向为果蔬采后品质生物学。E-mail: 570115009@qq.com。

通信作者: 闵 婷, 博士, 副教授, 主要研究方向为果蔬采后品质生物学。E-mail: minting1323@163.com。

CFX96 荧光 PCR 仪、凝胶成像系统(美国 Bio-Rad)。

1.3 方法

1.3.1 原料预处理 将购买来的新鲜莲藕运送到实验室对其表面淤泥进行清洗,并挑选尺寸和表面颜色均匀且无损伤的莲藕置于 4℃ 下预冷 24 h 后,使用刀沿着莲藕的横截面切成 5 mm 厚的切片,并将其立即转入清水中浸泡 3 min,然后捞出莲藕切片并用滤纸快速吸干表层水分,分别进行真空包装和常压包装(对照)并转入 4℃ 冰箱中进行为期 35 d 的贮藏试验,每盒放置鲜切莲藕 5 片,每个处理时间点(贮藏 0、7、14、21、28、35 d)设置 3 组平行。

1.3.2 褐变度的测定 通过对张京芳的鲜切莲藕褐变检测方法^[23]进行改进,将存放于 4℃ 冰箱内 2 种包装方式下的莲藕每隔 7 d 各取出 3 盒切碎,并快速称取 3.0 g 置于离心瓶中,加入 30 mL 预冷的双蒸水,以冰浴的方式高速匀浆 20 s 后,在 4℃ 下以 10 000 r/min 的转速离心 10 min,取上清液 3.5 mL 于 10 mL 离心管中并在 25℃ 水浴锅中保温 5 min,于 410 nm 条件下测其吸光度,褐变度表示为 $D_{410\text{ nm}} \times 10$,每个处理 3 组平行。

1.3.3 PPO 和 POD 活性的测定 按照之前的研究方法对 PPO 和 POD 进行提取和活性测定^[19,24]。4℃ 下 2 种包装方式的莲藕切片 15 g 于冰浴的研钵中,倒入 30 mL 保存于 -20℃ 条件下的丙酮进行充分研磨后,置于通风橱中挥发干燥,称取 1.5 g 干燥后的样品于烧杯中,加入 30 mL pH 值为 7.0 的磷酸缓冲液,充分搅拌 10 min 得到总酶的粗提取液,分别吸取 5 mL 粗酶液于 2 组试管中,每组 3 个平行,在第 1 组试管中先后加入 15 mL pH 值为 7.0 的磷酸缓冲液和 5 mL 邻苯二酚,摇匀得到 PPO 提取液,在第 2 组试管中先后加入 5 mL pH 值为 5.0 的醋酸缓冲液和 5 mL 愈创木酚,摇匀后加入 5 mL 0.1% 的过氧化氢溶液得到 POD 提取液,通过分光光度法将 PPO、POD 活性单位(U)分别定义为在 420、470 nm 处 1 min 引起吸光度改变 0.001、0.01 所需的酶量。

1.3.4 RNA 提取和 cDNA 合成 根据现有的文献提取莲藕样品中总 RNA^[25],同时将有污染的基因组 DNA 痕迹从总 RNA 中去除,以确保检测的准确性,并使用 iScript cDNA 合成试剂盒(Bio-Rad)进行相关 cDNA 的合成^[22]。

1.3.5 实时荧光定量 PCR 用于 PCR 分析的寡核苷酸引物在 Min 等的研究中已经得到验证^[25],据此使用 Ssofast EvaGreen Supermix 试剂盒(Bio-Rad)和 CFX96 荧光 PCR 进行实时定量 PCR,以对相关基因的表达情况开展后续研究^[26]。

1.3.6 数据分析 对所得数据进行处理并使用 Origin 8.0 软件进行绘图分析。

2 结果与分析

2.1 褐变度

如图 1 所示,随着贮藏时间的延长,真空包装鲜切莲藕的褐变度(browning degree)仅从初始的 0.260 增加到 0.313,而常压包装鲜切莲藕的褐变度从初始的 0.260 增加到 0.461。且真空包装下鲜切莲藕的褐变度明显低于常压包装。因此,该结果进一步证明真空包装对鲜切莲藕的褐变进程有较好的延缓作用^[27-28]。

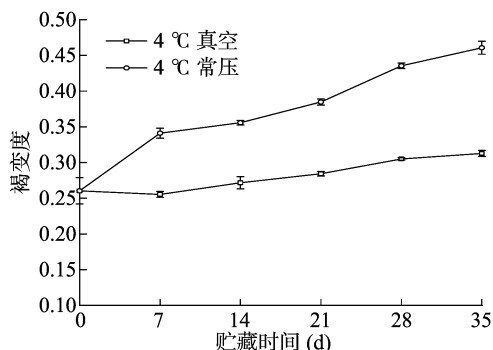


图1 4℃ 贮藏条件下鲜切莲藕褐变度

2.2 真空包装对鲜切莲藕 PPO、POD 活性的影响

PPO 是参与果蔬褐变最重要的酶^[29]。如图 2 所示,在 4℃ 贮藏期内,2 种包装方式下鲜切莲藕的 PPO 活性呈现明显不同的增长趋势,其中真空包装的 PPO 活性从处理当天的 0.452 U/g 增加至贮藏 35 d 的 0.571 U/g,而常压包装的 PPO 活性从处理当天的 0.452 U/g 增加至贮藏 35 d 的 1.311 U/g,由此可见,在贮藏期内,真空包装能有效抑制 PPO 活性的增加。

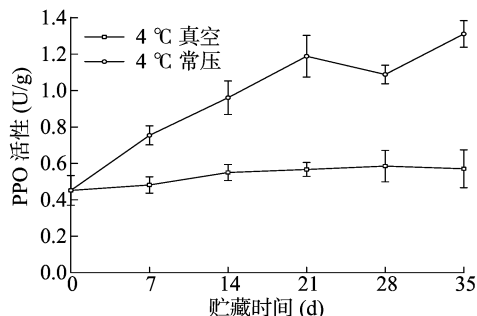


图2 4℃ 贮藏条件下鲜切莲藕 PPO 活性

POD 在 H_2O_2 存在的条件下促进果蔬褐变的发生^[30-31]。如图 3 所示,整个贮藏期内 2 种包装方式下的鲜切莲藕 POD 活性均呈增加趋势,4℃ 真空包装下的 POD 活性从处理当天的 0.061 U/g 增加到贮藏 35 d 的 0.095 U/g,而 4℃ 常压包装下的 POD 活性从处理当 0 天的 0.061 U/g 上升到了贮藏 35 d 的 0.144 U/g。贮藏 14 d 之前,2 种包装方式下 POD 活性未出现明显差别,贮藏 14 d 后真空包装对 POD 活性的升高开始产生抑制效果。

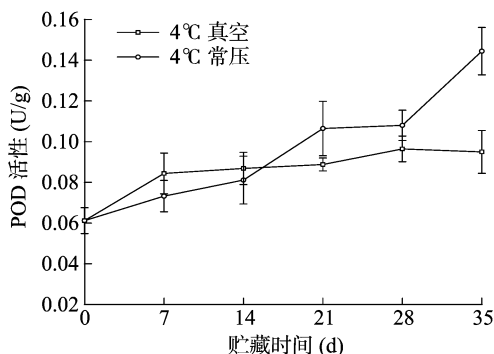


图3 4℃ 贮藏条件下鲜切莲藕 POD 活性

根据相关研究可知,PPO 和 POD 参与了鲜切莲藕的酶促褐变^[32]。通过分析 2 种包装方式对 PPO、POD 活性变化的影响发现,在贮藏期内,4℃ 真空包装对鲜切莲藕的 PPO 活性的

升高产生了明显的抑制效果,贮藏 7 d 后,真空包装对 POD 活性的增加开始产生抑制作用,由此可以发现,真空包装对 PPO、POD 活性的抑制作用有利于延缓莲藕褐变度的增加,进而使品质得到更好的保持,此结果与前人研究报道^[33-34]相一致。

2.3 鲜切莲藕褐变相关基因 *NnPPO*、*NnPOD* 基因表达分析

由图 4 可知,在真空包装环境下,*NnPPOC* 的表达量始终

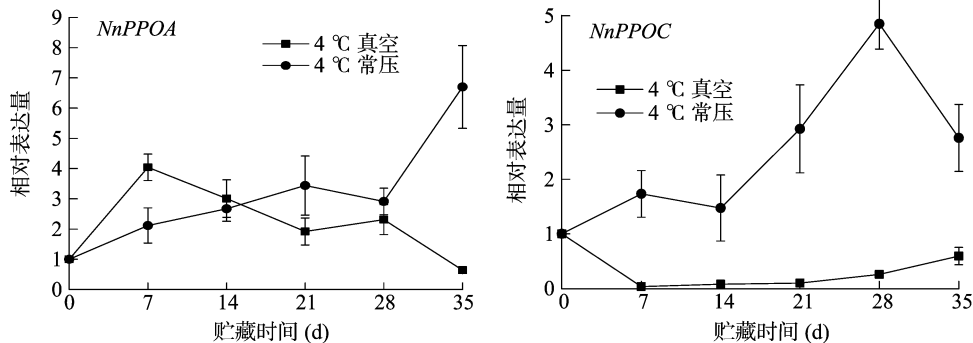


图4 4 °C 贮藏条件下真空包装鲜切莲藕中 *NnPPO* 基因表达分析

由图 5 可知,与对照组相比,真空包装鲜切莲藕的 *NnPOD1*、*NnPOD2*、*NnPOD3* 基因表达量在整个贮藏期内始终处于被抑制的状态,这与酶活性的变化相吻合。在 2 种包装方式的样品中,*NnPOD4* 和 *NnPOD5* 的表达量均呈现不同程

被抑制,而真空包装在贮藏 7 d 后开始抑制基因 *NnPPOA* 的表达,并在贮藏 35 d 时基因 *NnPPOA* 的表达量最低,与常压包装相比,真空包装对基因 *NnPPOA* 的表达在贮藏 28 d 后产生明显的抑制作用,且常压下基因 *NnPPOA*、*NnPPOC* 的表达均被诱导,这与真空包装下 PPO 活性明显低于常压包装相吻合。由此可知,真空包装能通过下调 *NnPPOA* 和 *NnPPOC* 的表达来降低 PPO 活性。

度的增加,这可能参与到其他品质变化的调控中,有待于后期的进一步研究。*NnPOD7* 的表达在 2 种包装状态下整体被抑制,且无明显差异。与之不同的是,基因 *NnPOD6* 的表达被真空明显诱导。

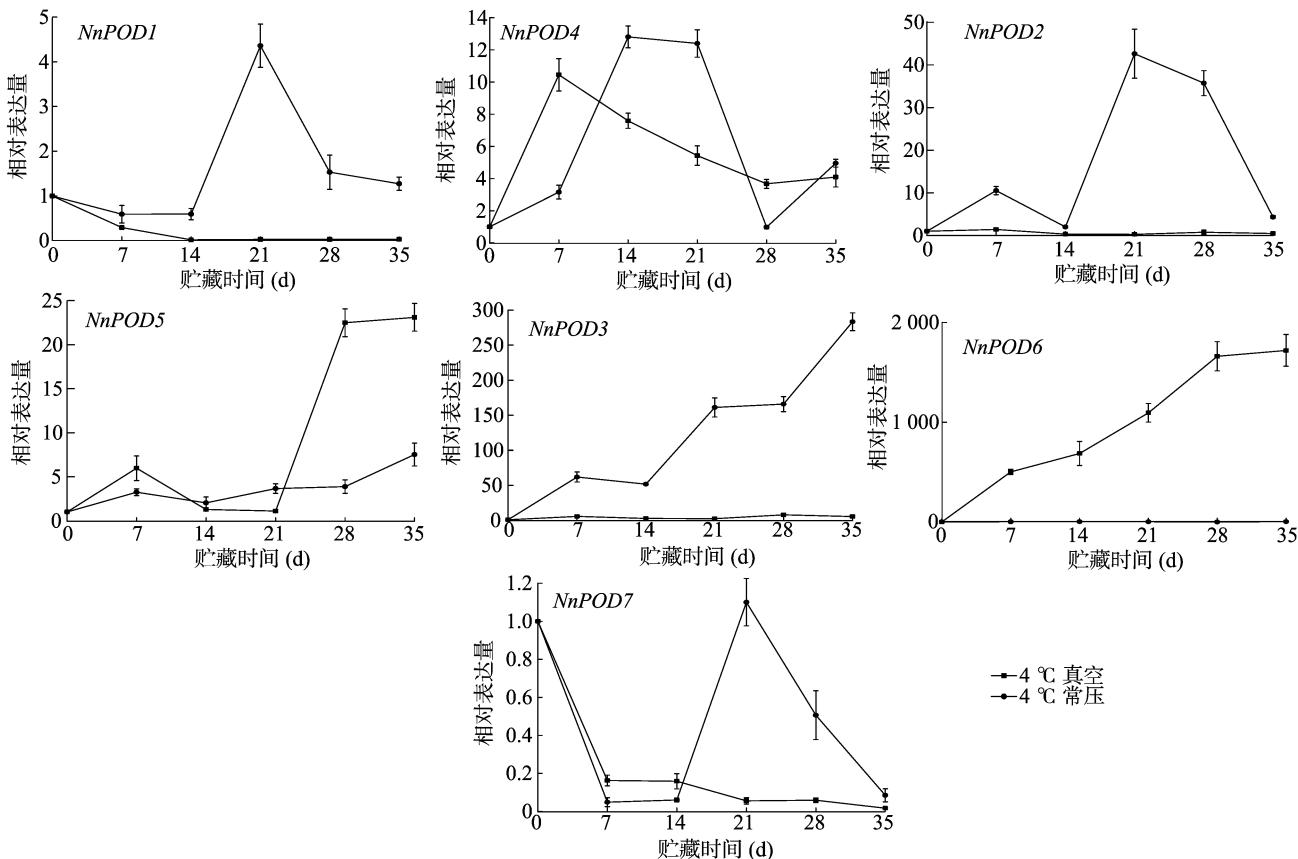


图5 4 °C 贮藏条件下真空包装鲜切莲藕中 *NnPOD* 基因表达分析

真空包装对鲜切莲藕基因 *NnPPOC* 的表达影响与 PPO 活性变化及莲藕褐变程度大体同步,且在贮藏 7 d 后,基因 *NnPPOA* 的表达受到真空抑制作用也参与到降低 PPO 活性和

延缓莲藕褐变进程中;与此同时,在贮藏期内,真空包装对莲藕基因 *NnPOD1/2/3* 的表达始终表现出抑制效果,在贮藏 7 d 后,基因 *NnPOD4* 的表达量开始因受到真空的抑制作用而下

降,这与 POD 活性变化及莲藕褐变程度相一致。常艳等通过研究发现,多酚氧化酶基因(*PbPPO*)是参与砀山酥梨品质变化的关键基因^[35]。韩艳文等通过不同降温方式处理采收后的鸭梨发现,与 POD 活性相关基因的表达与鸭梨的褐变程度和品质变化有直接的联系^[36]。笔者所在实验室在前期研究中发现,高温下新鲜莲藕褐变度的增加与 *NnPPOA*、*NnPOD1-6* 基因表达量的上调有关^[19]。因此,笔者认为, *NnPPOA/C* 和 *NnPOD1/2/3* 可能参与了真空包装下鲜切莲藕褐变延缓进程,是鲜切莲藕褐变的重要候选基因。

3 结论

在 4℃ 贮藏期内,真空包装相对于常压包装能明显降低鲜切莲藕的褐变度,同时发现,真空包装鲜切莲藕的 PPO 活性均始终低于常压包装,POD 活性在贮藏 7 d 后被抑制并逐步低于常压包装,这与 2 种包装方式下莲藕褐变度变化情况大体一致。此外,*NnPPOA/C* 和 *NnPOD1/2/3/4* 受真空包装影响均参与了 PPO、POD 活性变化的调控过程,且基因 *NnPPOC*、*NnPOD4* 的表达情况分别对 PPO、POD 活性的影响与最终莲藕的褐变度变化相吻合。说明真空包装可能通过下调 *NnPPOA/C* 和 *NnPOD1/2/3* 的表达量来延缓鲜切莲藕褐变进程。

参考文献:

- [1] Gao H, Chai H K, 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: 45-51.
- [2] Gao J, Luo Y G, 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 and Technology, 2017, 128: 169-177.
- [3] Li S Y, Li X J, Lamikanra O, et al. Effect of cooking on physicochemical properties and volatile compounds in lotus root (*Nelumbo nucifera* Gaertn)[J]. Food Chemistry, 2017, 216: 316-323.
- [4] 高 晗, 孙俊良, 高愿军, 等. 气调包装对鲜切莲藕保鲜效果研究[J]. 食品科学, 2008, 29(10): 612-614.
- [5] Zhang M, Meng X Y, Bhandari B, et al. Recent application of modified atmosphere packaging (MAP) in fresh and fresh-cut foods[J]. Food Reviews International, 2015, 31(2): 172-193.
- [6] 黄杨敏, 孙 晔, 耿思翌, 等. 魔芋葡甘聚糖复合涂膜对鲜切莲藕保鲜效果的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(8): 266-271.
- [7] Son J, Hyun J E, Lee J W, et al. Combined application of antibrowning, heat treatment and modified-atmosphere packaging to extend the shelf life of fresh-cut lotus root[J]. Journal of Food Science, 2015, 80(6): C1178-C1187.
- [8] 詹嘉红. 枇杷果实酶促褐变控制研究[J]. 广州食品工业科技, 2004, 20(4): 49-50, 55.
- [9] 黄永锋, 宋俊梅. 二氧化氯对鲜切莲藕多酚氧化酶的影响研究[J]. 中国食品添加剂, 2008(5): 87-91.
- [10] Casado F J, Sánchez, Higinio A, et al. Effect of sulfites and sorbates on the preservation and color of pickled blanched garlic under different storage conditions[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2014, 38(3): 905-911.
- [11] Peng L T, Yang S Z, Li Q, et al. Hydrogen peroxide treatments inhibit the browning of fresh-cut Chinese water chestnut[J]. Postharvest Biology and Technology, 2008, 47(2): 260-266.
- [12] 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, 36(6): 158-162.
- [13] Zhou D, Li L, Wu Y W, 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.
- [14] Kwon S Y, Baek H H. Effects of temperature, pH, organic acids, and sulfites on tagatose browning in solutions during processing and storage[J]. Food Science and Biotechnology, 2014, 23(3): 677-684.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] 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 of Food Science & Technology, 2014, 51(12): 3918-3925.
- [19] 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.
- [20] 方宗壮, 段宙位, 窦志浩, 等. 真空包装结合低温处理对鲜切菠萝贮藏品质的影响[J]. 食品工业科技, 2018, 39(6): 259-264.
- [21] Cheng Y D, Liu L Q, Zhao G Q, et al. The effects of modified atmosphere packaging on core browning and the expression patterns of PPO and PAL genes in 'Yali' pears during cold storage[J]. LWT - Food Science and Technology, 2015, 60(2): 1243-1248.
- [22] Banerjee A, Penna S, Variyar P S, et al. Gamma irradiation inhibits wound induced browning in shredded cabbage[J]. Food Chemistry, 2015, 173: 38-44.
- [23] 张京芳. 鲜切莲藕酶褐变的控制方法[J]. 资源开发与市场, 2005, 21(2): 91-92.
- [24] Wang Y, Yang Z M, Zhang Q F, et al. Enhanced chilling tolerance in *Zoysia matrella* by pre-treatment with salicylic acid, calcium chloride, hydrogen peroxide or 6-benzylaminopurine[J]. Biologia Plantarum, 2009, 53(1): 179-182.
- [25] Min T, Wang M M, Wang H X, et al. Isolation and expression of NAC genes during persimmon fruit postharvest astringency removal[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2015, 16(1): 1894-1906.
- [26] Min T, Yin X R, Shi Y N, et al. Ethylene-responsive transcription factors interact with promoters of ADH and PDC involved in persimmon (*Diospyros kaki*) fruit de-astringency[J]. Journal of Experimental Botany, 2012, 63(18): 6393-6405.
- [27] 孟卫芹, 王庆国. 雪莲果及其鲜切产品贮藏技术的初步研究[J]. 现代食品科技, 2010, 26(6): 585-588, 584.
- [28] 王 莉, 姜微波, 冯双庆. 贮藏温度与包装方式对切割生菜品质的影响[J]. 食品科学, 2004, 25(1): 177-179.
- [29] 王 静, 徐为民, 诸永志, 等. 贮藏温度对鲜切牛蒡褐变的影响[J]. 江苏农业学报, 2008, 24(4): 492-496.

李阳阳,彭黔荣,刘娜,等.微波干燥技术在卷烟近红外快速预测中的应用[J].江苏农业科学,2019,47(7):214-219.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.07.051

微波干燥技术在卷烟近红外快速预测中的应用

李阳阳¹,彭黔荣^{1,2},刘娜²,杨敏^{1,3},李剑¹,胡芸²,邓葵²,张文²

(1. 贵州大学化学与化工学院,贵州贵阳 550025; 2. 贵州中烟工业责任有限公司技术中心,贵州贵阳 550009;
3. 贵州大学药学院,贵州贵阳 550025)

摘要:为探究一种快速、高效的卷烟近红外干燥方法,试验采用贵州地区不同品牌卷烟烟丝、烟末样品,利用微波炉和烘箱对样品进行干燥处理,探究传统烘箱法和微波法在卷烟近红外应用过程中的差异。结果表明,(1)微波法在干燥效率方面要优于传统烘箱法,经微波和烘箱干燥后的卷烟烟丝、烟末样品在近红外光谱图和主成分空间分布上有明显的差异,说明水分含量对卷烟样品的性质有较大影响;(2)微波和烘箱干燥后的样品经近红外模型预测后发现,卷烟烟末样品的预测结果稳定性整体优于烟丝样品,微波干燥 1、2 min 后的预测结果能达到甚至优于传统烘箱 40 ℃ 干燥 2 h 的模型预测结果。综合来看,将微波快速干燥技术应用于卷烟烟末样品的近红外快速预测是可行的,但对于卷烟烟丝样品不适宜。

关键词:近红外光谱;微波;烘箱;干燥;含水率

中图分类号: O657.33 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)07-0214-06

近红外(NIR)作为一种简捷、快速、无损的光谱分析技术,已经被越来越广泛地应用于食品、化学、制药、烟草等行业^[1-3]。特别是化学计量学的发展对近红外技术的应用起到了巨大的推动作用,使其变得越来越稳定、可靠。据报道,烟草中含水量的变化不仅会影响近红外光谱的吸收,同时也会对烟叶常规化学成分的检测造成影响^[4]。因此,烟草样品在采用近红外快速预测前,要对样品进行干燥或水分平衡,以降低水分含量对模型预测造成的误差。通常,烟草行业采用烘箱干燥法将样品置于 40 ℃ 条件干燥约 2 h,以降低样品的含水率,这种方法不仅干燥效率低,同时也不利于样品的快速预测。

微波干燥技术作为一种新兴的干燥技术,不仅干燥速率

高、耗能少,同时还可以防止物质中有效化学成分的破坏和流失,在烟草行业中有较广泛的应用^[5-6]。秦西云等曾创新性地微波快速干燥技术应用于烟草样品的前处理过程,使微波在烟草近红外分析中的应用成为了可能^[7],但是国内外的研究中尚未发现将微波快速干燥技术应用于卷烟不同物理状态的近红外分析。本研究通过将烘箱和微波干燥法应用于卷烟样品近红外常规化学成分分析和预测,发现微波快速干燥技术不仅能快速提高样品的干燥效率,同时也可提升近红外卷烟分析的效率和模型预测的准确度,可为卷烟样品的快速干燥和精准分析提供新的方法。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

近红外成品卷烟烟丝、烟末建模样品来源于贵烟不同品牌卷烟的 240 个左右的成品卷烟;微波、烘箱试验样品采用 2016 年 12 月份 8 种不同品牌的贵烟卷烟样品。

Antaris II 傅里叶近红外分析仪(美国 Thermo 公司); Futura 型 8 通道连续流动化学分析仪(法国 Alliance 公司); FZ102 微型植物粉碎机(天津市泰斯特仪器有限公司);

收稿日期:2017-10-26

基金项目:国家自然科学基金(编号:21562014);贵州中烟科技项目(编号:GZZY/KJ/JS/2014-Y005-1)。

作者简介:李阳阳(1989—),男,河南三门峡人,硕士研究生,研究方向为烟草化学。E-mail:kaopuyangyang@126.com。

通信作者:彭黔荣,博士,副教授,主要从事烟草化学与工程研究,E-mail:3435391@qq.com;杨敏,博士,教授,主要从事活性化合物分析方法研究,E-mail:ce.myang@gzu.edu.cn。

[30] Serrano - Martínez A, Fortea M I, del Amor F M, et al. Kinetic characterisation and thermal inactivation study of partially purified red pepper (*Capsicum annuum* L.) peroxidase [J]. Food Chemistry, 2008, 107(1): 193-199.

[31] Serrano - martinez A, Venkatachalam K, Mee N M. Changes in physiochemical quality and browning related enzyme activity of longkong fruit during four different weeks of on - tree maturation [J]. Food Chemistry, 2012, 131: 1437-1442.

[32] Hu J Q, Yang L Z, Wu W J, et al. Slicing increases antioxidant capacity of fresh - cut lotus root (*Nelumbo nucifera* G.) slices by accumulating total phenols [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2014, 49(11): 2418-2424.

[33] 许传俊,李玲.蝴蝶兰外植体褐变发生与总酚含量、PPO、POD 和 PAL 的关系[J].园艺学报,2006,33(3):671-674.

[34] Yingsanga P, Srilaong V, Kanlayanarat S, et al. Relationship between browning and related enzymes (PAL, PPO and POD) in rambutan fruit (*Nephelium lappaceum* Linn.) cvs. Rongrien and See - Chompoo [J]. Postharvest Biology and Technology, 2008, 50(2/3): 164-168.

[35] 常艳,刘晓峰,金青,等.砀山酥梨多酚氧化酶基因(*PbPPO*)的原核表达及优化研究[J].亚热带植物科学,2017,46(3):209-214.

[36] 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[J].食品科学,2017,38(9):40-45.