

不同护色处理对板栗仁色泽和脂肪酸组成的影响

杨芳¹, 张丛兰¹, 王铁旦^{2,3}, 杜萍^{2,3}, 李庆¹, 章焰¹

(1.湖北大学知行学院, 湖北武汉 430011) (2.昆明理工大学分析测试研究中心, 云南昆明 650093)

(3.云南省分析测试中心, 云南昆明 650093)

摘要: 板栗仁中多酚氧化酶 (Polyphenol oxidase, PPO) 和过氧化物酶 (Peroxidase, POD) 是导致其褐变的主要因素, 本文采用溶剂浸泡护色方法抑制酶的活性, 以控制板栗仁褐变。在对板栗仁中 PPO 和 POD 稳定性研究的基础上, 确定了浸泡护色的温度、时间和 pH 值等参数。分别研究了浸泡护色处理对板栗仁的总色差 (ΔE^*) 和脂肪酸组成的影响。结果表明, 在 pH 值小于 4.0 时, 板栗仁中的 PPO 和 POD 活性较低, 总色差较小。PPO 在 30 °C 处理 10 min 之后, PPO 酶活显著下降, 而 POD 在 30 °C 处理 25 min 后, 酶活最低。浸泡护色处理的最佳条件为 pH 值 3.8, 温度为 25 °C, 时间为 20 min。经过此护色处理后, 板栗仁油脂不饱和脂肪酸含量略有下降, 但主要的脂肪酸亚油酸含量基本不变, 该护色工艺对板栗仁油脂脂肪酸组成和风味没有明显影响, 可作为有效的板栗仁护色方法。

关键词: 板栗仁; pH 值; 多酚氧化酶; 过氧化物酶; 脂肪酸

文章编号: 1673-9078(2013)11-2700-2705

Effect of Different Color Protection Technologies on Color and Fatty Acid Compositions of Chestnut Kernels

YANG Fang¹, ZHANG Cong-lan¹, WANG Tie-dan^{2,3}, DU Ping^{2,3}, LI Qing¹, ZHANG Yan¹

(1.Hubei University Zhixing College, Wuhan 430011, China) (2.Research Center for Analysis and Measurement, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China) (3.Analytic and Testing Research Center of Yunnan, Kunming 650093, China)

Abstract: Polyphenol oxidase (PPO) and peroxidase (POD) are two main factors that lead to browning in *Castanea mollissima*. Solvent soaking was used to inhibit enzyme activity and protect the color of chestnut kernel. On the basis of the stability studies of PPO and POD, the parameters of temperature, time and pH were determined. Effects of soaking color protection technology on the total color difference of chestnut kernel (ΔE^*) and fatty acid composition were also studied. The results showed that when pH was less than 4.0, the PPO and POD activities in the chestnut kernel were lower, and the total color difference was less. PPO activity was significantly decreased after the soaking treatment for 10 min at 30 °C, while POD activity reached the lowest after the treatment for 25 min at 30 °C. The optimum conditions for soak color protection process were pH 3.8, temperature 25 °C, and time 20 min. After this color-protecting treatment, the unsaturated fatty acid content of chestnut lipid decreased slightly, while the major fatty acid (linoleic acid) content remained the same. The color protection technology had little significant effect on the fatty acid composition and flavor of the chestnut and could be used as an effective method of protecting the color of chestnut.

Key words: chestnut kernel; pH; polyphenol oxidase; peroxidase; fatty acid

板栗 (*Castanea Mollissima Blume*), 素有“木本粮食、铁杆庄稼”之称, 富含维生素、胡萝卜素、氨基酸及铁、钙等微量元素, 长期食用可达到养胃、健脾、补肾、养颜等保健功效^[1-2]。板栗加工的难点之一是加

收稿日期: 2013-06-27

基金项目: 广东省农业攻关项目 (2012B020418003); 清远市产学研合作项目 (2011D021113007); 云南省科技条件平台建设计划项目 (2010DH025)

作者简介: 杨芳 (1978-), 女, 博士, 副教授, 硕导, 研究方向为农产品加工

通讯作者: 章焰 (1977-), 女, 讲师, 研究方向为农产品加工

工过程中栗仁的褐变, 它主要包括酶促褐变和非酶褐变, 酶促褐变主要是由板栗的单宁物质在氧化酶类的催化作用下引起的氧化变色, PPO 和 POD 是催化单宁褐变的主要酶类^[3]。板栗的褐变不仅影响风味, 而且降低营养价值。板栗仁油脂中所含的不饱和脂肪酸对高血压、冠心病、动脉硬化等症具有预防的作用, 板栗的营养价值和不易贮藏性与其脂肪酸的含量及组成有一定的关系, 而且脂肪酸的含量变化也影响板栗风味的变化, 进而影响板栗的品质^[4]。

板栗仁褐变严重影响了板栗的市场价值, 许多学

者研究了控制褐变的方法。邵颖^[5]等研究了板栗粉护色及提取工艺参数,护色的最佳水平组合为柠檬酸 0.25%、Vc 0.25%、壳聚糖 0.15%、食盐 0.35%;最佳护色时间为 6 min,有效的解决了板栗粉加工中的护色问题。章焰^[6]等采用正交试验法优化板栗蓉分级护色工艺,以柠檬酸、抗坏血酸、L-半胱氨酸和氯化钠为护色剂对板栗蓉进行护色,效果较好。但是板栗目前以鲜销为主,对于整粒板栗仁的护色工艺需要进一步研究。姜艳^[7]等在炒制板栗的前处理中对板栗热烫的介质、介质浓度、热烫时间、护色温度和炒后板栗的包装材料分别进行了研究,采用的护色剂为亚硫酸氢钠(NaHSO₃)、植酸、柠檬酸以及乙二胺四乙酸二钠(EDTA-2Na)等,有效的解决了整粒板栗仁加工时的护色问题。

目前有关整粒板栗仁加工中的护色的研究报道很少,本文根据板栗仁 PPO 和 POD 的稳定性,在打浆前进行溶剂浸泡护色处理,并对护色处理后的板栗仁色泽以及脂肪酸组成等品质进行了对比,以确定最佳护色工艺参数,为板栗综合利用提供一些参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

湖北麻城板栗,选择新鲜饱满,无虫蛀,无霉烂,无污染物的板栗,剥壳去衣后磨粉,过 40 目筛,备用。

柠檬酸、磷酸氢二钠、硫酸、甲醇、石油醚、正己烷、邻苯二酚、丙酮、邻苯二胺、过氧化氢以及氢氧化钠等试剂均为分析纯;水为二次蒸馏水。

1.2 仪器与设备

HP6890GC/5973MS气相色谱-质谱联用仪,美国惠普公司;R2-201型旋转蒸发器,上海中科机械研究所;SC-80C型全自动色差计,北京康光光学仪器有限公司;WT-J-200分光光度计,尤尼柯上海仪器有限公司;JI80-2B离心沉淀机,上海安亭科学仪器厂;FW80型高速万能粉碎机,天津市泰斯仪器有限公司;pHs-3C酸度计河南兄弟仪器有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 多酚氧化酶活性的测定

1.3.1.1 多酚氧化酶粗酶液的提取

取25.0 g板栗粉,取按1:1(g/mL)比例加入预先冷冻的丙酮一起匀浆,然后迅速抽滤,保留沉淀并将沉淀中的残留丙酮用冷风吹去(至沉淀无丙酮味),将得到的丙酮粉溶于150 mL磷酸盐缓冲液(pH 6.5),搅

拌10 min,然后离心,所得上清液即为PPO提取液^[8]。

1.3.1.2 多酚氧化酶活性的测定方法

取磷酸盐缓冲液(pH 6.5) 2.0 mL,加入0.7 mL邻苯二酚溶液(用上述缓冲液配制),搅拌后加入0.3 mL PPO粗提取液,在室温下搅拌均匀后立即在420 nm处测定吸光度,记录在3 min内其混合物吸光度随时间的变化值。板栗仁PPO的相对活性以每分钟吸光度随时间增加0.001个单位为一个酶活单位^[4]。

1.3.2 过氧化物酶活性的测定

1.3.2.1 过氧化物酶粗酶液的提取

取5.0 g板栗粉,加入适量的磷酸缓冲液(pH 6.5)研磨成匀浆,以4000 r/min离心15 min,上清液转入100 mL容量瓶中,残渣再用5 mL磷酸缓冲液提取一次,上清液并入容量瓶中,定容至刻度,储藏于4 °C下备用^[9]。

1.3.2.2 过氧化物酶活性的测定方法

取1.5 mL POD粗酶液,加入2.0 mL磷酸盐缓冲液(pH 6.5),2.0 mL 0.02%邻苯二胺,迅速加入2.0 mL 0.2%过氧化氢摇匀,在470 nm处测其吸光度值,搅拌均匀后立即在470 nm处测定吸光度,记录其混合物在3 min内吸光度随时间的变化值。板栗仁POD的相对活性以每分钟吸光度随时间增加0.001个单位为一个酶活单位^[4]。

1.3.3 pH值对板栗仁中PPO和POD活性的影响^[5]

用KH₂PO₄-NaOH(0.05 mol/L, pH 3.0~8.2)缓冲液调整反应体系的pH,得如下pH水平:pH 3.0、3.4、3.8、4.2、4.6、5.0、5.4、5.8、6.2、6.6、7.0、7.4、7.8以及8.2,在30 °C条件下,按照1.3.1.2和1.3.2.2的方法分别进行PPO和POD的活性测定。

1.3.4 PPO和POD热稳定性研究

1.3.4.1 温度对板栗中PPO和POD活性的影响

将PPO和POD粗酶液(pH值为6.5的磷酸盐缓冲液)分别在25 °C、30 °C、35 °C、40 °C、50 °C、55 °C、60 °C、70 °C以及80 °C的温度条件下保温处理6 min,按照1.3.1.2和1.3.2.2的方法分别进行PPO和POD的活性测定。

1.3.4.2 加热时间对板栗中PPO和POD活性的影响

将粗酶液在30 °C分别处理5 min、10 min、15 min、20 min以及25 min,按照1.3.1.2和1.3.2.2的方法分别进行PPO和POD的活性测定。

1.3.5 不同浸泡护色处理对板栗仁颜色影响

1.3.5.1 浸泡温度对板栗仁颜色的影响

将剥壳后的板栗仁置于pH 6.5缓冲溶液中,不同温度(25 °C、30 °C、35 °C、40 °C、50 °C、55 °C、60 °C、70 °C以及80 °C)的水浴锅中加热20 min,测

定其总色差 (ΔE^* 值)。总色差 (ΔE^* 值)是指两个颜色在颜色知觉上的差异, ΔE^* 值越小代表色差越小, 反之越大^[10]。

1.3.5.2 浸泡液 pH 对板栗仁颜色的影响

将剥壳后的板栗仁置于温度为 25 °C 的不同 pH 缓冲溶液 (pH 3、3.4、3.8、4.2、4.6、5.0、5.4、5.8、6.2、6.6、7.0、7.4、7.8 以及 8.2) 中测定其总色差 (ΔE^* 值)。

1.3.5.3 浸泡处理时间对板栗仁颜色的影响

将剥壳后的板栗仁置于 pH 6.5 缓冲溶液中, 在 25 °C 温度下分别处理 5 min、10 min、15 min、20 min 以及 25 min, 分别测定其总色差 (ΔE^* 值)。

1.3.6 板栗仁脂肪酸组成的测定

1.3.6.1 脂肪油的提取

将在 pH 3.8 缓冲液中浸泡 20 min 的板栗仁切成片状, 于 105 °C 恒温干燥 2 h, 冷却, 用万能粉碎机粉碎, 将 10 g 板栗粉末装入滤纸筒中, 再装入索氏抽提器中, 用乙醚回流萃取 14 h, 再用旋转蒸发器除去乙醚。缓冲溶液的配制采用 0.2 mol/L 磷酸氢二钠溶液和 0.1 mol/L 柠檬酸溶液^[11]。以蒸馏水浸泡的板栗仁做空白对照。

1.3.6.2 脂肪酸的甲酯化

由文献^[11]可知, 酸催化法对板栗油脂的甲酯化效果优于碱催化法, 而且酸浓度过大不利于甲酯化, 因此本实验选用 1% 硫酸-甲醇酯化法。准确称取板栗油 50 mg 于比色皿中, 加 1% 硫酸-甲醇 2 mL 于 70 °C 水浴加热 30 min, 加入 2 mL 正己烷, 再加蒸馏水定容至刻度, 摇匀, 静置, 取出上清, 再用 1 mL 正己烷洗一次, 合并上清, 待测。

1.3.6.3 GC-MS 分析

气相色谱条件: HP-5 弹性石英毛细管柱色谱柱 (30 m×0.25 mm, 0.25 μ m); 升温程序: 初始温度 80 °C, 以 10 °C/min 升至 280 °C (15 °C/min); 汽化温度: 290 °C; 进样量: 0.2 μ L; 载气 (He) 流量: 1 mL/min; 溶剂延迟 5 min。

质谱条件: 电子轰击 (EI) 离子源; 离子源温度: 230 °C; 四级杆温度: 150 °C; 倍增器电压: 1345 V; 电子能量: 70 eV; 发射电流: 34.6 μ A; 接口温度: 230 °C; 质量扫描范围 (m/z): 20~500。

测定方法: 取 1.3.6.2 处理的样品 0.2 μ L, 用 GC-MS 测定样品后得到色谱图。利用气质联用仪所带的标准图谱库的质谱数据进行自动检索, 同时根据质谱图及相关文献鉴定出主要色谱峰对应的物质名称, 并使用数据处理系统对色谱峰进行面积归一化处理, 从而计算出各物质相对含量。

1.4 数据分析

每个样品重复测定 3 次, 取平均值, 采用 SPSS 20 和 Origin 8.0 进行数据分析和绘图。

2 结果与分析

2.1 不同 pH 值对板栗仁中 PPO 和 POD 活性的影响

的影响

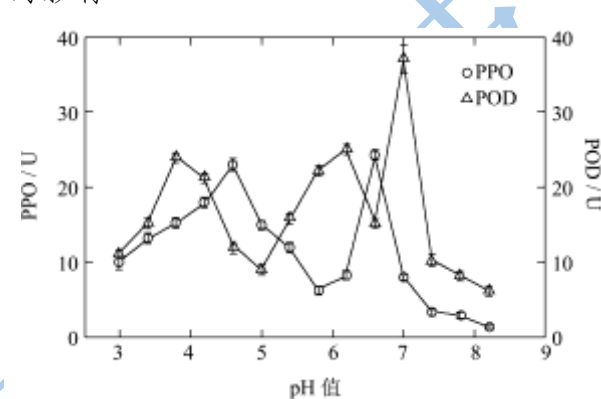


图 1 不同 pH 值对板栗仁中 PPO 和 POD 活性的影响

Fig.1 Effect of different pH on activities of PPO and POD in the chestnut kernels

不同 pH 值对板栗仁中 PPO 和 POD 活性的影响见图 1。PPO 活性曲线在 pH 4.6 和 6.6 附近出现 2 个峰, 这两个最适 pH 表明可能板栗仁中有多酚氧化酶的同功酶的存在。这与叶光乾^[12]报道的, PPO 最适 pH 值为 4.0 和 7.0 略有差别, 可能是由于采用的缓冲液种类不同。已有文献报道了母梨、阳梨和莲藕的多酚氧化酶有同功酶的存在^[12], 因此在板栗的加工处理中, 调整 pH 至 4.0 以下或 7.5 以上有利于减轻 PPO 引起的酶促褐变的发生。这一方面可能是由于 PPO 的辅基是 Cu, 在强酸性条件下, 酶中的铜离子被解离出来, 使酶失去活性。在强碱条件下, Cu^{2+} 转化为 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 沉淀, 脱离了酶蛋白, 也能使酶失去活性; 另一方面是由于反应体系的 pH 值对底物的解离使之不能被催化反应。因此, 调节 pH 值能有效抑制 PPO 的活力。

POD 活性曲线则呈现三峰曲线。在 pH 3.8 时达到第一个高峰值, 这与王静^[13]等人的实验结果相一致; 在 pH 6.2 时达到第二高峰值; pH 在 7.0 时达到酶活最高值, 然后急剧下降。因此在板栗的加工处理中, 调整 pH 至 3.0 以下以及 7.5 以上有利于减轻 POD 引起的酶促褐变的发生。

2.2 不同温度对板栗中 PPO 和 POD 活性的影响

响

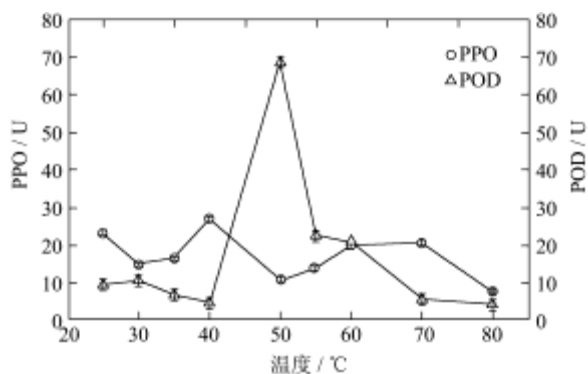


图2 不同温度对板栗仁中 PPO 和 POD 活性的影响

Fig.2 Effect of different temperature on activities of PPO and POD in the chestnut kernels

如图2所示,随着温度上升,板栗仁PPO活性呈现波动变化,在40 °C时达到高峰值,在50 °C达到酶活最低值(11.0 U)。50 °C以后随温度升高,酶活先升高后降低在70 °C达到次高值(21.0 U)。总体看来,板栗仁中PPO活性40~70 °C范围较高,80 °C以上基本失活,而木瓜PPO在5~20 °C显示出最大活性,一旦暴露在40~80 °C,其酶活就会快速降低甚至是全部丧失^[4]。这说明板栗仁PPO比木瓜PPO有更好的热稳定性,具有较高的最适温度,这或许就是板栗仁在常温下变色缓慢的原因。而板栗仁POD酶活在25 °C到40 °C之间酶活较低,在50 °C时酶活达到最高峰(68.7 U)后呈现下降趋势,在70 °C以后酶活较低。因此,在本实验条件下,板栗仁PPO酶最适温度是在40 °C,POD酶最适温度是在50 °C。在板栗的加工处理中,降低温度有利于保护色泽。

2.3 不同加热时间对板栗仁中 PPO 和 POD 活性的影响

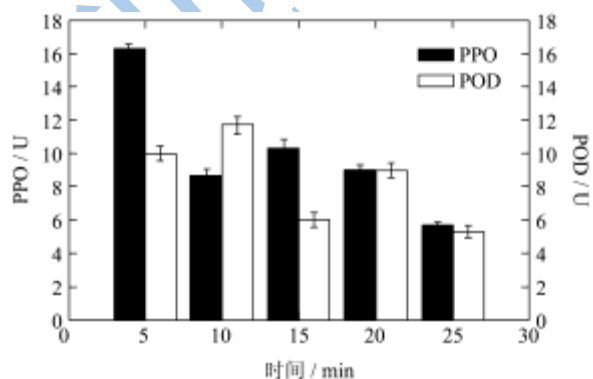


图3 不同加热时间对板栗仁中 PPO 和 POD 活性的影响

Fig.3 Effect of different time on activities of PPO and POD in the chestnut kernels

不同加热时间对板栗仁中PPO和POD活性的影响见图3。PPO在30 °C处理5 min,酶活仍较高,处理10 min之后, PPO酶活显著下降 ($P < 0.05$)。随着加热时间的延长,POD酶活整体呈现下降趋势,加热25 min时,酶活最低(5.3 U)。

2.4 不同浸泡护色条件对板栗仁颜色的影响

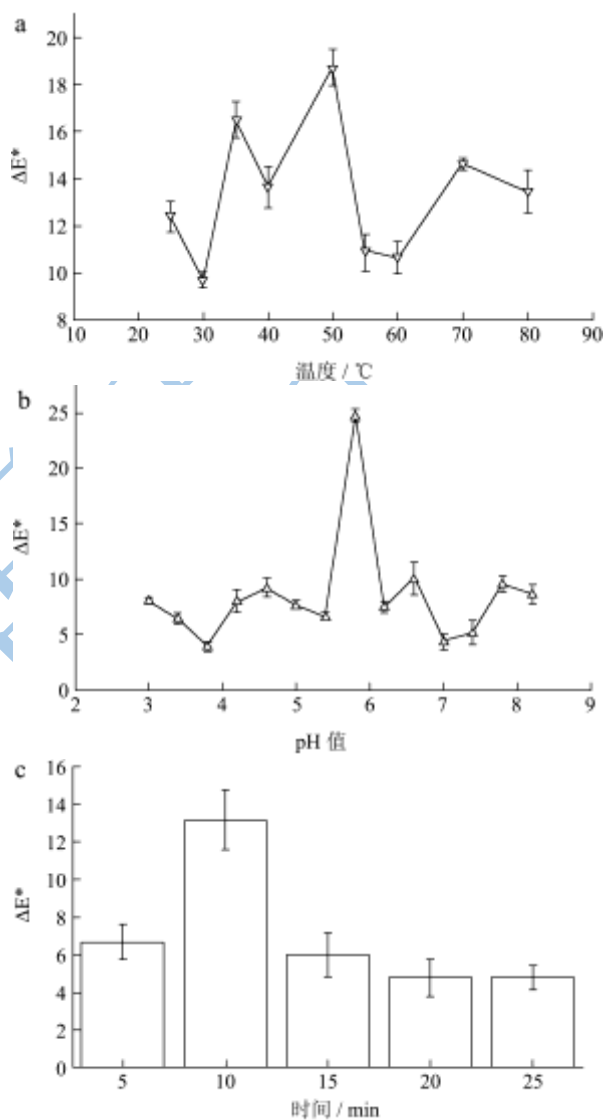


图4 浸泡护色条件对板栗仁颜色的影响

Fig.4 Effect of soaking color protection technology on the total color difference of chestnut kernels

注: a: 浸泡温度对板栗仁颜色的影响, b: 浸泡液 pH 对板栗仁颜色的影响, 以蒸馏水为空白对照组为参照样品。

不同浸泡温度对板栗仁颜色的影响见图4a。由图4a可以看出板栗仁在50 °C褐变最为严重 ($\Delta E^* = 18.73$), 30 °C褐变较轻 ($\Delta E^* = 9.69$)。不同浸泡液 pH 对板栗仁颜色的影响结果见图4b。由图4b可以看出, 在 pH=5.8 时板栗仁褐变程度最大 ($\Delta E^* = 24.77$); pH 低于 4.5 或高于 7.0 时板栗仁的褐

变程度较小。不同浸泡处理时间对板栗仁颜色的影响见图 4c。根据图 4c 可以看出, 浸泡处理时间为 10 min 时, 板栗仁的褐变程度最大 ($\Delta E^* = 13.19$); 浸泡处理时间分别为 20 min 和 25 min 时板栗仁褐变程度较小。综合考虑产品的风味和营养成分的保存率, 浸泡护色处理的最佳条件为 pH 值 3.8, 温度为 25 °C, 时间为 20 min。

2.5 浸泡护色处理对板栗仁油脂脂肪酸组成的影响

将板栗仁在 pH 值为 3.8 的磷酸盐缓冲液 (25 °C) 中浸泡 20 min, 然后按照 1.3.6.3 方法进行脂肪酸组成分析, 以蒸馏水浸泡的样品作为对照, 总离子流图见图 5。板栗仁油脂中脂肪酸种类及相对含量见表 1。

从表 1 中可知, 从未经处理的板栗仁乙醚萃取物中鉴定出 8 种脂肪酸, 其中亚油酸含量最高 (47.9%); 其次是油酸 (27.5%), 不饱和脂肪酸含量占 79.20%。从营养角度看, 板栗仁油脂中各种脂肪酸的比例较为合理, 含有多种的人体必需脂肪酸。值得一提的是板栗油中亚油酸的含量较高, 亚油酸属于多烯类不饱和脂肪酸, 是人体内不能合成而又必需的一种脂肪酸, 它通过 EPA 途径可以生成 γ -亚麻酸, 并最终生成前列腺素, 从而参与调节人体的各种基本生理过程^[15]。板栗的营养价值与板栗油的脂肪酸组成有一定的关系。但是, 从贮藏的角度上看, 板栗仁油脂中不饱和脂肪酸含量高, 易发生氧化酸败而导致板栗变质。

用 pH 3.8 的缓冲溶液浸泡处理后, 板栗仁油脂中

的脂肪酸种类及含量略有变化, 但是亚油酸的含量提高到 58.10%, 不饱和脂肪酸含量占 74.31%。亚油酸含量的提高可能是由于体系的 pH 值降低, 抑制了板栗仁中的脂肪氧化酶的活性, 从而抑制了脂肪氧化作用, 同时抑制了亚油酸氧化成油酸。

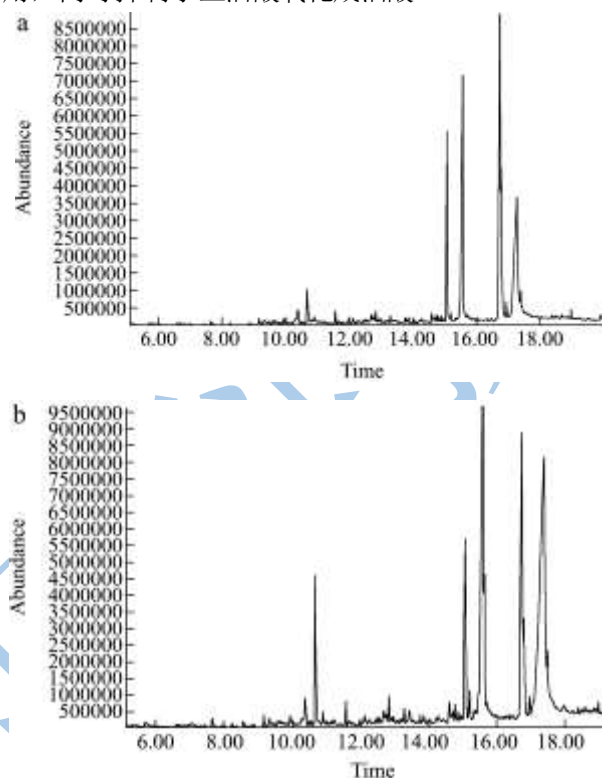


图 5 板栗仁油脂的总离子流图

Fig.5 Total ion chromatograms of chestnut kernels lipid

注: a: 蒸馏水浸泡的板栗仁的总离子流图, b: 用 pH 3.8 的缓冲液浸泡的板栗仁的总离子图。

表 1 板栗仁油脂中脂肪酸鉴定结果

Table 1 Fatty acid profiles in chestnut kernels lipid

序号	保留时间/min	化合物名称	分子式	空白对照		pH 值为 3.8	
				含量/%	匹配度/%	含量/%	匹配度/%
1	13.435	十四烷酸 (豆蔻酸)	C ₁₄ H ₂₈ O ₂			2.30	92
2	14.042	十五烷酸	C ₁₅ H ₃₀ O ₂	0.34	93		
3	15.077	十六烷酸 (棕榈酸)	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	16.00	99	20.07	98
4	16.022	十七烷酸	C ₁₇ H ₃₄ O ₂	0.49	93	0.72	97
5	16.720	亚油酸	C ₁₈ H ₃₂ O ₂	47.90	99	58.10	99
6	16.760	油酸	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	27.50	99	9.30	99
7	16.783	亚麻酸	C ₁₈ H ₃₀ O ₂	3.80	98	6.91	95
8	16.960	十八烷酸 (硬脂酸)	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	2.59	97	2.60	89
9	18.682	二十烷酸 (花生酸)	C ₂₀ H ₄₀ O ₂	1.43	96		

3 结论

在板栗加工中褐变会影响板栗制品的外观和风味, 酶促褐变中的多酚氧化酶在氧气存在的条件下催

化各种酚类, 使之氧化成醌, 醌类再进一步氧化合成黑色素^[16]。过氧化物酶在过氧化氢存在下, 能催化多种底物, 如氧化抗坏血酸、维生素 A 和不饱和脂肪酸以及多酚化合物^[17]。通过对板栗仁多酚氧化酶和过氧化

物酶的特性研究,可知调整pH至4.0以下或者7.5以上有利于减轻酶促褐变的发生。综合考虑产品的风味和可食性,可采用pH 3.8的缓冲溶液(25℃)对样品进行护色处理20 min。通过对脂肪酸组分的分析,结果显示,用pH 3.8的缓冲溶液护色处理后,板栗仁油脂中的不饱和脂肪酸总量略有下降,但主要功能组分亚油酸含量反而升高,该护色处理对产品风味和营养成分无不良影响,可作为有效的板栗仁护色方法。

参考文献

- [1] Gold M A, Cernusca M M, Godsey L. Chestnut market analysis: Producers' perspective [M]. University of Missouri Center for Agroforestry, 2005
- [2] Borges O, Gonçalves B, de Carvalho J L S, et al. Nutritional quality of chestnut (*Castanea sativa* Mill.) cultivars from Portugal [J]. Food Chemistry, 2008, 106: 976-984
- [3] Fereidoon Shahidi, Marian Nacz. Phenolics in food and nutraceuticals [M]. CRC PRESS LLC, 2004
- [4] Maurice C R. Franssen, Laura Alessandrini, Giancarlo Terraneo. Biocatalytic production of flavors and fragrances [J]. Pure Appl. Chem, 2005, 77(1): 273-279
- [5] 邵颖,张孔海.板栗粉护色及提取工艺参数研究[J].食品科技, 2009,34(12):122-125
SHAO Ying, ZHANG Kong-hai. Study on the color protecting and influential factors of extracting chestnut starch [J]. Food Science and Technology, 2009, 34(12): 122-125
- [6] 章焰,杨芳,褚立凡,等.正交试验法优化板栗蓉分级护色工艺[J].食品科技,2012,37(11):98-102
ZHANG Yan, YANG Fang, CHU Li-fan, et al. Optimize the graded color protection technology of the chestnut paste by orthogonal design [J]. Food Science and Technology, 2012, 37(11):98-102
- [7] 姜艳,陈金明,刘欣.影响炒板栗褐变的工艺研究[J].现代食品科技,2010,26(8):837-839
JIANG Yan, CHEN Jin-ming, LIU Xin. Effects of Processing Technology on Browning of Roasted Chestnut [J]. Modern Food Science and Technology, 2010, 26(8):837-839
- [8] Jinsen Xu. The effect of low-temperature storage on the activity of polyphenol oxidase in *Castanea henryi* chestnuts [J]. Postharvest Biology and Technology, 2005, 38(5): 91-98
- [9] 赵杨.豆壳过氧化物酶的酶学性质研究[D].长春工业大学, 2011
Zhao Yang. Purification, Characterization and Immobilization of Soybean Hull Peroxidase [D]. Changchun University of Technology, 2011
- [10] 罗亚龙.全自动测色色差计数据处理系统研究[D].北京机械工业学院,2006
Luo Yalong. Study on automatic data processing system of colorimeter measurement [D]. Beijing Institute of Machinery, 2006
- [11] 寇秀颖,于国平.脂肪和脂肪酸甲酯化方法的研究[J].食品研究与开发,2005,4(26):46-47
Kou Xiuying, Yu Guoping. Study on methyl ester method of fat and fatty acid [J]. Food research and development, 2005, 4(26):46-47
- [12] 叶光乾,张贵平.板栗多酚氧化酶性质的研究[J].上海交通大学学报(农业科学版),2001,19(3):174-178
Ye Guang-qian, Zhang Gui-ping. A study on properties of polyphenol oxidase in chestnut kernel [J]. Journal of Shanghai jiaotong university (Agricultural science), 2001, 19(3):174-178
- [13] 王静,綦菁华,武奕宏,等.板栗果实酶促褐变相关因素的研究[J].中国农学通报,2010,26(20):73-79
Wang Jing, Qi Jinghua, Wu Yihong, et al. Study on the Factors that Related to Enzymatic Browning from the *Castanea mollissima* Blume Kernel [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2010, 26(20): 73-79
- [14] Caodi Fang, Changzheng Wang, Youling Xiong, et al. Extraction and characterization of polyphenol oxidase in pawpaw (*Asimina triloba*) fruit [J]. Journal of Food Biochemistry, 2007, 31: 603-620
- [15] Felix Aladedunye, Roman Przybylski. Frying stability of high oleic sunflower oils as affected by composition of tocopherol isomers and linoleic acid content [J]. Food Chemistry, 2013, 141: 2373-2378
- [16] Jinsen Xu. The effect of low-temperature storage on the activity of polyphenol oxidase in *Castanea henryi* chestnuts [J]. Postharvest Biology and Technology, 2005, 38: 91-98
- [17] Eisenstadt M A, Bogolitsyn K G. Peroxidase oxidation of lignin and its model compounds [J]. Russian Journal of Bioorganic Chemistry, 2010, 36(7): 802-815