

混合保鲜剂浸泡对新鲜莲藕 冷藏保鲜过程中色泽和气味的影响

范传会^{1,2}, 陈学玲^{1,2}, 何建军^{1,2}, 陈杭君³, 韩延超³

(1. 湖北省农业科学院农产品加工与核农技术研究所, 湖北武汉 430064) (2. 湖北省水生蔬菜保鲜加工工程技术研究中心, 湖北武汉 430068) (3. 浙江省农业科学院食品科学研究所, 浙江杭州 310021)

摘要:以“鄂莲5号”品种的新鲜莲藕为试材,以清水浸泡的莲藕为对照组(CK),以含有柠檬酸0.02%、乙二胺四乙酸二钠0.05%、D-异抗坏血酸钠0.02%、脱氢乙酸钠0.01%、亚硫酸钠0.02%的混合液浸泡的莲藕为实验组(EX),分析在冷藏贮藏条件下混合液处理莲藕外观和气味品质的变化,探索混合液浸泡对采后莲藕外观和气味品质的影响。结果表明混合液浸泡可使莲藕表皮中的总多酚含量减少29.24%,同时还使莲藕皮中PPO活性降低了73.88%。莲藕外观和横切片观察知,莲藕褐变主要发生在莲藕表面,混合液浸泡可显著抑制莲藕表面的褐变。电子鼻分析知,混合液浸泡对莲藕初始气味影响不显著,但贮藏时间对莲藕气味影响显著。传感器R(2)、R(6)、R(7)、R(8)和R(9)代表的氮氧化合物、甲基类化合物、硫化物、醇醛酮类化合物和有机硫化物等物质是影响莲藕气味的主要物质。混合液浸泡后莲藕的最佳保质期期为32 d,混合液浸泡不影响对莲藕的原有气味产的同时还可显著抑制莲藕表皮褐变。该研究结果为冷藏条件下确定新鲜莲藕的保质期提供基础理论支持。

关键词: 贮藏; 品质控制; 莲藕

文章编号: 1673-9078(2019)12-47-53

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2019.12.007

Effect of Mixed Preservative on Color and Odor of Fresh Lotus Root during Storage at Refrigerated Temperature

FAN Chuan-hui^{1,2}, CHEN Xue-ling^{1,2}, HE Jian-jun^{1,2}, CHEN Hang-jun³, HAN Yan-chao³

(1. Institute for Farm Products Processing and Nuclear-Agricultural Technology, Hubei Academy of Agricultural Science, Wuhan 430064, China) (2. Aquatic Vegetable Preservation and Processing Technology Engineering Center of Hubei Province, Wuhan 430068, China)

(3. Food Science Institute, Zhejiang Academy of Agricultural Science, Hangzhou 310021, China)

Abstract: ER Lotus No. 5' lotus root was used as test materials. The color and odor of lotus root were measured after lotus root immersed in mixture solution and stored at 4°C. The mixture solution contained citric acid 0.02%, EDTA- Na_2 0.05%, D- ascorbic acid 0.02%, sodium dehydroacetate 0.01%, sulfite 0.02%. The sample treated with mixture solution was marked as EX group. In the control group (CK), the lotus root was immersed in sterile water and the others were the same with that in EX group. The results showed that the content of total polyphenol and activity of polyphenol oxidase (PPO) of lotus root in EX group decreased by 29.24% and 73.88% respectively. The browning of the surface of the lotus root was significantly inhibited in EX group. According to the electronic nose analysis, there was an insignificant effect on the initial odor of lotus root between CK group and EX group. However, the storage time had a significant effect on the odor of lotus root in both CK group and EX group. The main substances that affected the odor of lotus root were nitrogen oxides, methyl compounds, sulfides, aldol aldehydes and organic sulfides which were represented by sensors R(2), R(6), R(7), R(8) and R(9). The mixture solution could significantly inhibit the brown of the lotus root peel and did not affect the original smelling flavor of the lotus root. The best shelf life of lotus root after immersion in mixture solution was 32 days. The results of this work provided basic theoretical support for the shelf life of fresh lotus roots under refrigerated conditions.

收稿日期: 2019-08-01

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFD0401300); 现代农业产业技术体系专项资金资助(GARS-24-E-01)

作者简介: 范传会(1987-), 女, 博士, 助理研究员, 研究方向: 农产品加工与保鲜

通讯作者: 何建军(1963-), 男, 研究员, 研究方向: 水生蔬菜保鲜与加工

Key words: storage; quality control; fresh lotus root

莲藕具有特殊的口感和丰富的营养价值,是一种在世界范围内都广受欢迎的水生根茎类蔬菜^[1,2]。莲藕中富含钾、铁、铜、硫胺素、核黄素、吡哆醇、维生素 C、多酚和膳食纤维等营养元素,具有改善血液循环、促进消化吸收,维持心脏健康、保持精神清醒、提高免疫功能以及减少焦虑、头痛和血压等功效^[3,4]。莲藕具有粘膜保护作用,可用于治疗由鲑体三萜类化合物引起的消化不良、痔疮以及抗糖尿病和抗炎特性^[5,6]。另外,莲藕还具有抗肥胖、保肝、解热、抗氧化、抗菌、抗真菌、止泻、利尿和镇静等作用^[6-8]。

中国是莲藕主产区之一,据统计 2013 中国莲藕出口量已经达到 2.0 万 t^[9]。出口莲藕在运输过程中已实现全程冷链物流运输。运输过程中莲藕褐变和气味变化是影响莲藕品质的主要原因。目前关于鲜切莲藕片的保鲜方法已有多种文献报道。Du 等研究用 100 mg/L 的二氧化氯浸泡鲜切莲藕片 15 min 可显著抑制鲜切莲藕片褐变的发生^[1]。Xing 等人对比了壳聚糖涂膜、气调保鲜和二者结合的三种方式对鲜切莲藕片保鲜效果的影响,结果表明 1.2% (wt) 壳聚糖涂膜后结合气调保鲜的方式对鲜切莲藕片的保鲜效果最佳^[2]。Son 等人研究结果表明用 1% 的抗坏血酸、0.5% 黄春菊结合 100% CO₂ 的处理方式可显著提升鲜切莲藕片的货架期^[10]。Sun 等人研究 H₂S 气体对鲜切莲藕片的保鲜效果,结果表明 15 μL/L 的 H₂S 可显著抑制切莲藕片的褐变、减少朝阴离子和过氧化氢量的生成、降低 PPO 和 POD 活性、提升鲜切莲藕片的抗氧化能^[11]。而关于整节莲藕保鲜技术的报道较为少见。但有报道表明柠檬酸、抗坏血酸和亚硫酸盐等可抑制果蔬中酶促褐变^[12-14]。基于此,本文经过多次试验配置了一种混合保鲜剂,分析保鲜剂浸泡后莲藕的气味和色泽变化,确定浸泡后莲藕的品质变化和保质期,为新鲜莲藕的出口贸易提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验所有莲藕采购于湖北省武汉市江夏区金水良祺有限公司产地,莲藕品种为“鄂莲 5 号”。莲藕采摘日期为 2018 年 11 月 20 日。采摘后的莲藕用清水清洗干净后,剔除残次品,选着表面无伤痕、无腐败、3 到 5 节连在一起的莲藕作为实验材料。

1.2 主要仪器与试剂

TGL-20bR 高速台式冷冻离心机,上海安亭科学仪器厂;雷磁 PHS-3C 酸度计,上海精密科学仪器有限公司;HH-4 数显恒温水浴锅,国华电器有限公司;JA2003A 电子天平,上海精天电子仪器有限公司;九阳 JYL-C93T 料理机,九阳股份有限公司;FSH-2A 组织捣碎机,杭州聚同电子有限公司;CS210 色差计,杭州彩谱科技有限公司;分光光度计 722G,上海精密科学仪器有限公司;佳能照相机 EOS 80D,佳能(中国)有限公司;电子鼻 PEN3,德国 AIRSENSE 公司。

1.3 试验方法

1.3.1 保鲜剂的配置

柠檬酸 0.02%、乙二胺四乙酸二钠 0.05%、D-异抗坏血酸钠 0.02%、脱氢乙酸钠 0.01%、亚硫酸钠 0.02%。

1.3.2 莲藕浸泡处理

莲藕浸泡分为实验组(EX)和对照组(CK)。在实验组(EX)中,将上述保鲜剂 25.00 L 加入到 3.00 m×4.00 m×5.00 m 的长方形容器内。加入莲藕 10.00 kg,浸泡 5.00 min。将浸泡后的莲藕控干水分,装入 5.00 m×5.00 m 厚度为 0.05 mm 的 PE 袋中,在 PE 袋的底层垫入用保鲜剂浸泡后的杨树木屑,10.00 kg 莲藕装入 PE 袋时,分三层,每层莲藕之间加入少量木屑防止莲藕在运输过程中产生碰撞伤口。将包装在 PE 袋内的莲藕放入 2.50 m×2.50 m×6.00 m 的包装箱内,4 °C 下贮藏,分别贮藏 0 d、8 d、16 d、24 d、32 d、40 d 取样分析。对照组(CK)中将莲藕用清水浸泡 5.00 min,其他条件与实验组(EX)相同。

1.3.3 总多酚含量

为了更加清楚的分析莲藕品质变化,本文中测定了莲藕表皮和带皮莲藕中的总多酚含量。测定方法参考文献的方法并略作改动^[15]。具体步骤如下:用瓜皮刀将莲藕皮从莲藕中分离,取 150 g 左右的莲藕皮和带皮莲藕并记录准确重量,用料理机将莲藕皮和带皮莲藕搅碎后,装载 250 mL 的玻璃瓶中。取 5.00 g 绞碎后的莲藕皮和带皮莲藕,加入 30.00 mL 甲醇溶液抽提 5 次,每次 5 min。将抽提液收集,8000 r/min 离心三次,取上清液 1.00 mL,加入 1.50 mL 福林酚,混合 6.00 min。加入 6.00 mL、1.00 mol/L 的碳酸钠溶液,25 °C 反应 90 min,765.00 nm 下测定吸光度。

1.3.4 PPO 活性

PPO 活性测定方法参考文献的方法,并稍作修改^[16]。将莲藕进行皮肉分离,用料理机将莲藕皮和带皮

莲藕搅碎后,分别装入 250 mL 的玻璃瓶中。取 3 g 搅碎后的莲藕皮和带皮莲藕加入到 50 mL 含有 20 mL pH 为 7.2 (0.10 M) 的磷酸缓冲液的烧杯中,用组织捣碎机将莲藕皮和带皮莲藕进一步的捣碎,捣碎机转速为 14000 r/min,时间为 30 s,重复 3 次。将捣碎后的溶液转移至 50 mL 塑料离心管中,4 ℃ 条件下 10000 r/min 离心 20 min。取上清液 5.00 mL 加入到 10 mL 离心管中,100 ℃ 下煮 3 min 灭酶。在 25 mL 试管中加入取 5.00 mL, 0.10 M, pH 为 7.2 的磷酸缓冲液,实验组加入 1.00 mL 上清液,对照组加入 1.00 mL 煮后的上清液;分别再加入 2.00 mL 浓度为 1.40% 的邻苯二酚溶液(棕色瓶装,现配现用)。将上述混合溶液放置在 30 ℃ 水浴锅中,恒温 10 min 后,放入冰浴中灭酶。在 410 nm 下测定溶液的吸光度(蒸馏水调零)。将吸光度变化 0.01 定义为一个酶活, PPO 活性以 (U/g·FW) 表示。

1.3.5 电子鼻气味分析

将 5.00 g 带皮莲藕用组织捣碎机捣碎后装入玻璃瓶中,用塑料瓶盖密封。将密封后玻璃瓶放在 25 ℃ 水浴锅中,恒温水浴 20 min。取出恒温后的玻璃瓶用电子鼻测定带皮莲藕的气味,待传感器信号在 100 s 后基本稳定,选取信号采集时间为 140 s。电子鼻传感器对应的敏感物质类型如表 1。

表 1 化学传感器及其对应的敏感物质类型

Table 1 Chemical sensors corresponding to different types of volatile substances

传感器编号	性能描述
R(1)	芳香成分, 苯类
R(2)	灵敏度大, 对氮氧化合物很灵敏
R(3)	芳香成分灵敏, 氨类
R(4)	主要对氢化物有选择性
R(5)	短链烷烃芳香成分
R(6)	对甲基类灵敏
R(7)	对硫化物灵敏
R(8)	对醇类、醛酮类灵敏
R(9)	芳香成分, 对有机硫化物灵敏
R(10)	对长链烷烃灵敏

1.3.6 带皮莲藕和莲藕横切片图

分别将带皮莲藕和莲藕横切片放在 50×25 cm² 黑色背景的平板上,日光灯下用照相机拍照。

1.4 数据分析

试验数据采用 Excel (2013) 软件进行处理,所得数据为 3 次试验的平均值,并用 Excel 软件进行数据进行显著性分析。 $p<0.05$ 表示差异显著, $p<0.01$ 表

示差异极显著。

2 结果与讨论

2.1 混合液浸泡对莲藕皮和带皮莲藕中总多酚含量的影响

图 1 为莲藕皮和带皮莲藕中总多酚含量的变化。由图 1 知,实验组莲藕皮中总多酚初始含量为含量 4.09 ± 0.47 mg/g·FW,略低于对照组中莲藕皮的总多酚初始含量 (5.78 ± 0.35 mg/g·FW)。随着贮藏时间的延长,实验组莲藕皮中总多酚变化不显著,而对照组莲藕皮中总多酚含量随着贮藏时间的延长而显著降低,且在 16 d 的贮藏时间内降低趋势显著;方差分析知在 40 d 的贮藏时间内,实验组和对照组莲藕皮中总多酚含量差异显著 ($p<0.05$)。实验组带皮莲藕中总多酚初始含量为 5.78 ± 0.25 mg/g·FW,对照组中带皮莲藕中总多酚含量为 6.09 ± 0.37 mg/g·FW;随着贮藏时间的延长,实验组和对照组带皮莲藕中总多酚含量基本无变化,方差分析知二者差异不显著 ($p>0.05$)。对比图 1 莲藕皮和带皮莲藕中总多酚初始含量知,莲藕皮中总多酚初始含量略低于带皮莲藕中总多酚初始含量,其中实验组莲藕皮中总多酚初始含量减少了 33.33%,说明混合液清洗可以显著降低莲藕表皮的总多酚含量。有报道表明莲藕中的多酚包含绿原酸、儿茶素、表儿茶素、没食子酸、咖啡酸和芦丁等多种物质^[17]。上述物质均为生物大分子,其中儿茶素易溶于酸液,EDTA 常作为生物大分子的助溶剂;结合本文实验结果初步分析混合液浸泡后莲藕表皮中总多酚含量的减少可能与混合液中的柠檬酸和 EDTA 有关。

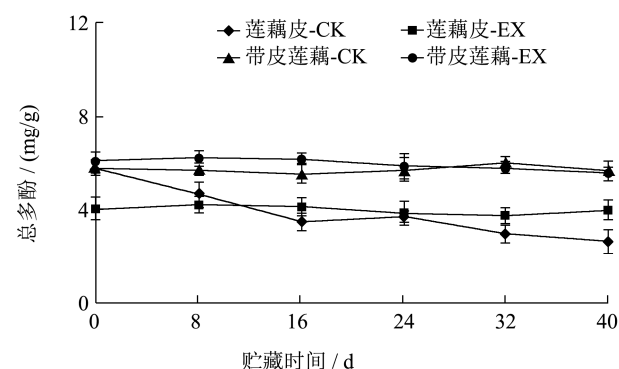


图 1 混合液浸泡处理对莲藕皮和带皮莲藕中总多酚含量的影响

Fig.1 Effects of mixture treatment on total polyphenol content of Lotus root peel and unpeeled lotus root

2.2 混合液浸泡对莲藕皮和带皮莲藕中多酚

氧化酶活性 (PPO) 的影响

图2为莲藕皮和带皮莲藕中PPO的变化。由图2知,实验组莲藕皮中初始PPO为含量 70 ± 13 U/g·FW,显著低于对照组莲藕皮中初始PPO活性(268 ± 43 U/g·FW)。随着贮藏时间的延长,实验组莲藕皮中PPO活性变化不显著,对照组莲藕皮中PPO活性随着贮藏时间的延长先升高后降低,且在贮藏16 d的莲藕皮中PPO活性达到峰值,方差分析知在40 d的贮藏时间内,实验组和对照组莲藕皮中PPO活性差异显著($p<0.05$)。分析图2中带皮莲藕中PPO活性知,实验组带皮莲藕中初始PPO活性为 282 ± 26 U/g·FW,与对照组带皮莲藕中初始PPO活性值(271 ± 44 U/g·FW)相近;随着贮藏时间的延长,实验组和对照组带皮莲藕中PPO活性无显著变化,方差分析知二者差异不显著($p>0.05$),说明混合液浸泡处理对带皮莲藕中PPO影响不显著。对比图2中对照组莲藕皮和带皮莲藕中PPO知,在贮藏前期(0~8 d)莲藕皮和带皮莲藕中PPO差异不显著($p>0.05$),在贮藏后期(32~40 d)莲藕皮和带皮莲藕中PPO差异显著($p<0.05$)。对比图2中实验组莲藕皮和带皮莲藕中PPO知,在40 d的贮藏期内莲藕皮和带皮莲藕中PPO差异显著($p<0.05$),且实验组莲藕皮中PPO活性一直处于较低水平。

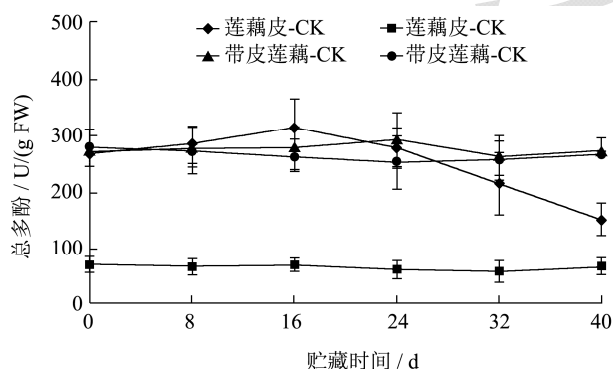


图2 混合液浸泡处理对莲藕皮和带皮莲藕中多酚氧化酶活性的影响

Fig.2 Effects of mixture treatment on PPO activities of Lotus root peel and unpeeled Lotus root

2.3 实验组和对照组带皮莲藕和莲藕横切面图片

图3、4分别是对照组40 d贮藏时间内带皮莲藕图和莲藕横切片图。由图3知贮藏8 d,对照组莲藕外表皮已经发生褐变;贮藏16 d,莲藕外表皮褐变程度显著加深;贮藏40 d,莲藕表面部分发生腐败。图4知在40 d的贮藏时间内,莲藕内部无显著褐变。结合

图3知,对照组中莲藕的褐变主要发生在莲藕的表面。图5、6分别是实验组40 d贮藏时间内带皮莲藕图和莲藕横切片图。由图3、4知在40 d的贮藏时间内,混合液浸泡处理后,莲藕外表皮和内部均无褐变发生,说明混合液浸泡处理可显著抑制莲藕外表皮的褐变发生。多酚氧化酶酶促褐变需要底物、多酚氧化酶和氧气同时存在的条件下才能发生^[18]。混合液中的柠檬酸既可抑制PPO活性,又能促进莲藕表面多酚溶解,因此实验组中莲藕皮中无显著褐变发生;在莲藕内部虽然多酚和PPO存在,但两者存在于细胞的不同部位,两者不接触,且无氧气的参与,因此对照组和实验组莲藕的内部均无褐变发生。莲藕外表皮和横切面结果与图1、2中莲藕总多酚含量和PPO活性变化一致。

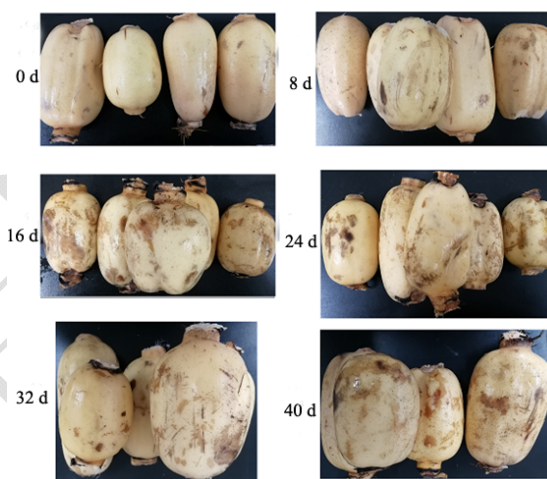


图3 4 °C、40 d贮藏时间内,对照组带皮莲藕图

Fig.3 Images of unpeeled Lotus root in CK group during storage (40 d) at 4 °C

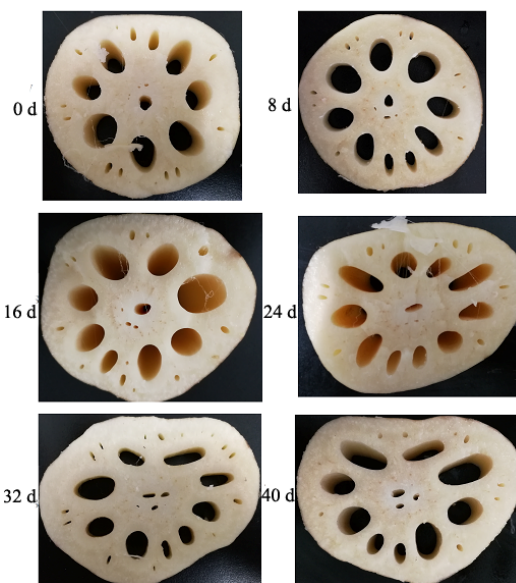


图4 4 °C、40 d贮藏时间内,对照组带皮莲藕横切片图

Fig.4 Images of horizontal slice of unpeeled Lotus root in CK group during storage (40 d) at 4 °C

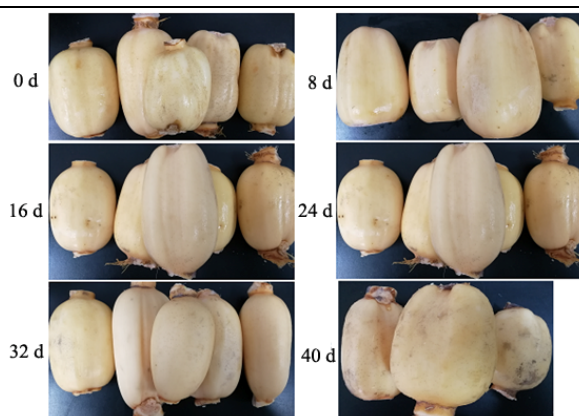


图5 4 °C、40 d 贮藏时间内, 实验组带皮莲藕图

Fig.5 Images of unpeeled lotus root in EX group during storage (40 d) at 4 °C

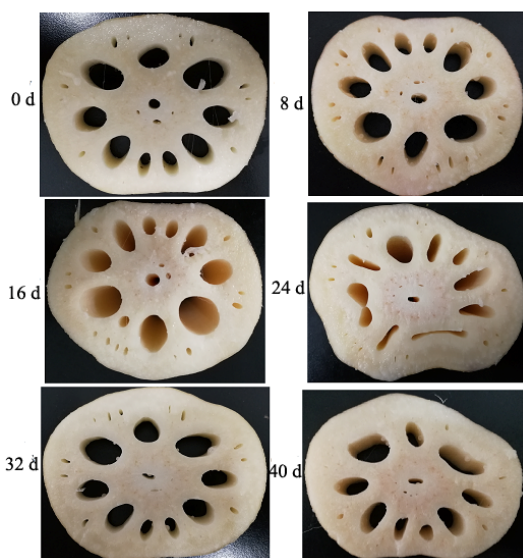


图6 4 °C、40 d 贮藏时间内, 实验组带皮莲藕横切片图

Fig.6 Images of horizontal slice of unpeeled lotus root in EX group during storage (40 d) at 4 °C

2.4 混合液浸泡对莲藕气味的影响

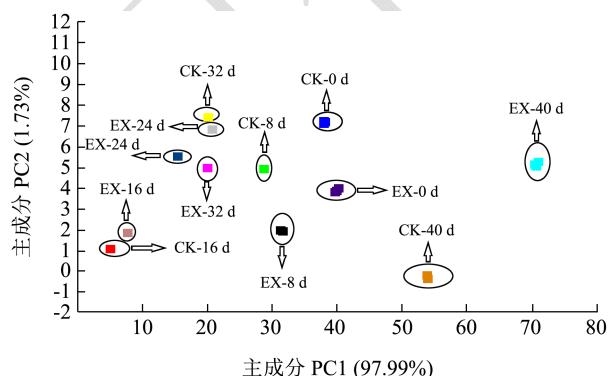


图7 4 °C 40 d 贮藏时间内, 实验组和对照组莲藕电子鼻 PCA 分析图

Fig.7 Images of PCA analysis of lotus root in EX and CK groups during storage (40 d) at 4 °C

图7是采集不同贮藏时间内实验组和对照组莲藕的主成分(PCA)分析图。由图7知,第1主成分贡献率为97.99%,第二主成分贡献率为1.72%,总贡献率为99.71%,大于85%,表明两个主成分已基本代表了样品的主要信息特征。由图7知,样品之间不存在交叉说明PCA方法可将不同贮藏时期内的莲藕气味完全分开,可区分不同贮藏时期的莲藕的气味变化趋势。

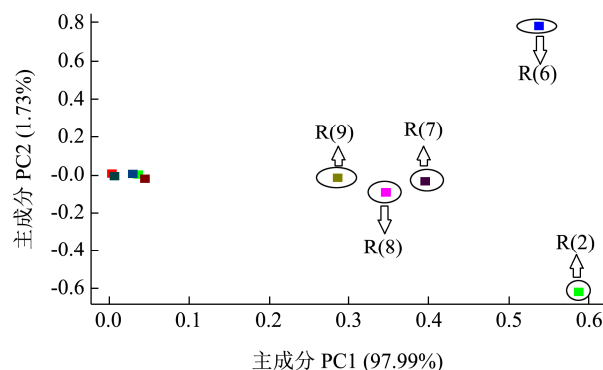


图8 4 °C 40 d 贮藏时间内, 实验组和对照组莲藕电子鼻 loading 分析图

Fig.8 Images of loading analysis of lotus root in EX and CK groups during storage (40 d) at 4 °C

图8为莲藕的loading传感器贡献力分析图,由图可知PEN3电子鼻10个传感器对莲藕中的挥发性气味物质都有响应,但传感器R(2)、R(6)、(7),R(8)和R(9)代表的气味物质显著影响第1主成分贡献率,其中R(2)对第1主成分贡献率最大,R(6)次之;R(6)对第2主成分贡献率最大,R(2)对第2主成分贡献率最小。分析知4 °C冷藏贮藏条件下影响莲藕气味的物质主要是传感器R(2)、R(6)、(7),R(8)和R(9)所代表的物质,分别是氮氧化合物、甲基类化合物、硫化物、醇醛酮类化合物和有机硫化物等。

图9是影响莲藕气味的电子鼻传感器R(2)、R(6)、(7),R(8)和R(9)的响应值随贮藏时间的变化趋势。传感器R(2)代表氮氧化合物,传感器R(6)代表甲基类化合物,传感器R(7)代表硫化物,传感器R(8)代表醇、醛、酮类化合物,传感器R(9)代表有机硫化物。由图9知,传感器R(2)、R(6)、(7),R(8)和R(9)的响应值都是随着贮藏时间的延长先降低后增大;其中最低点出现在贮藏16 d,说明在前16 d的贮藏时间内,莲藕中的氮氧化合物、甲基类化合物、硫化物、醇醛酮类化合物和有机硫化物等物质无大量生成。延长贮藏时间至32 d,传感器R(2)、R(6)、(7),R(8)和R(9)的响应值虽然增加但响应值低于贮藏0 d莲藕对应的传感器R(2)、R(6)、(7),R(8)和R(9)的响应值,说

明贮藏 32 d 后, 莲藕中的氮氧化合物、甲基类化合物、硫化物、醇醛酮类化合物和有机硫化物等物质生成量较少。继续贮藏时间至 40 d, 传感器 R (2)、R (6)、(7), R (8) 和 R (9) 的响应值显著大于贮藏 0 d 莲藕对应的传感器 R (2)、R (6)、(7), R (8) 和 R (9) 的响应值, 说明在 32 d 到 40 d 的贮藏时间里, 莲藕中的氮氧化合物、甲基类化合物、硫化物、醇醛酮类化合物和有机硫化物等物质生成量大幅增加, 莲藕的品质发生了显著变化。

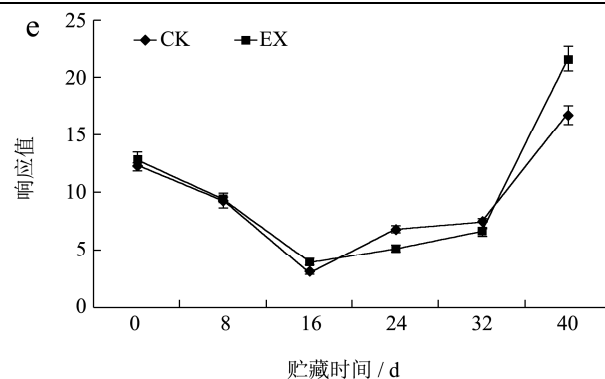
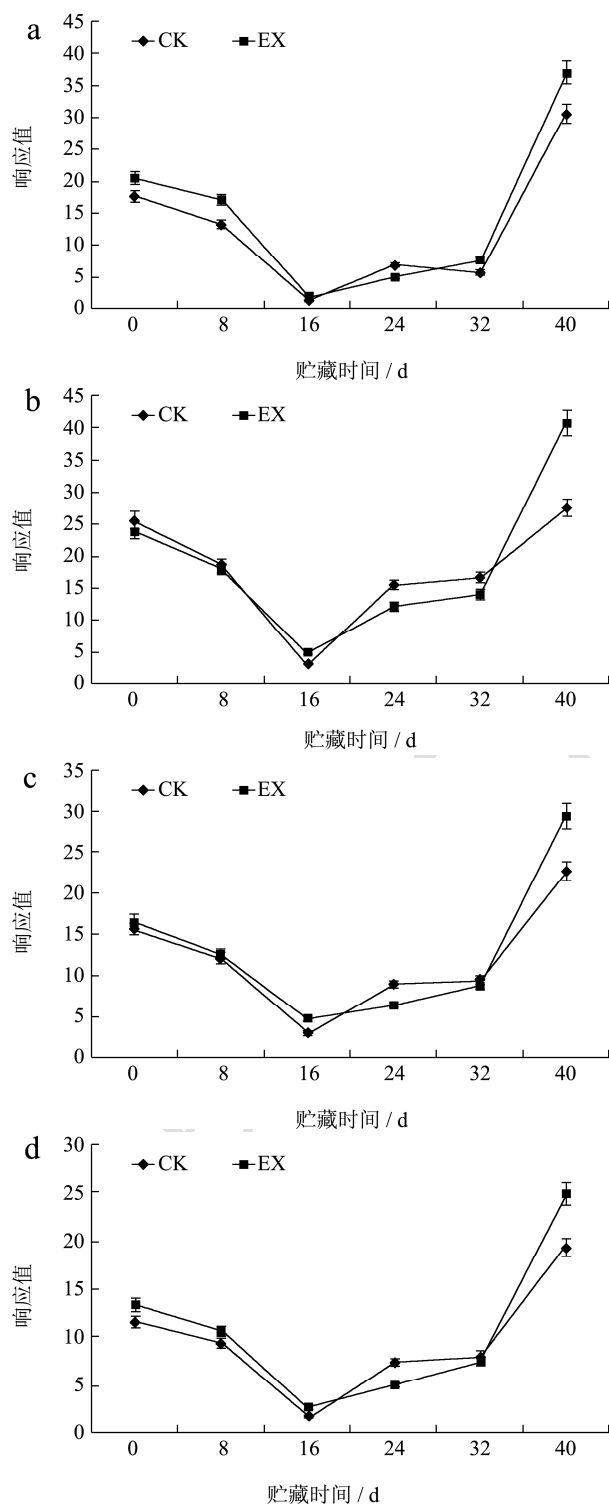


图 9 4 °C 40 d 贮藏时间内, 实验组和对照组莲藕对传感器 R (2)、R (6)、R (7)、R (8) 和 R (9) 响应值

Fig.9 The response values of sensors R(2), R(6), R (7), R(8) and R(9) of lotus root in EX and CK groups during storage (40 d) at 4 °C

莲藕气味的变化是反应莲藕品质变化的重要指标之一。结合前文中莲藕褐变发生时间知, 本文中混合液浸泡显著抑制莲藕的褐变发生。在冷藏贮藏条件下, 在 32 d 的贮藏时间内, 可有效的保存莲藕的气味物质, 其中在 16 d 的贮藏时间内, 莲藕中的气味物质降低到最低。

3 结论

3.1 实验结果表明实验组(混合液浸泡)莲藕表皮中的总多酚含量略低于对照组(清水浸泡)莲藕皮中的总多酚含量; 莲藕皮中的总多酚含量低于带皮莲藕中的总多酚含量, 说明清水浸泡和混合液浸泡莲藕可部分去除莲藕皮中的总多酚。

3.2 PPO 活性分析知, 混合液浸泡对带皮莲藕中的总多酚含量影响不显著, 在 40 d 的贮藏时间内, 实验组和对照组中带皮莲藕中的 PPO 活性均无显著变化。但混合液浸泡对莲藕皮中 PPO 活性影响显著, 混合液浸泡后的莲藕皮中 PPO 活性降低了 73.88%, 且在 40 d 的贮藏时间内, PPO 活性无显著变化。

3.3 电子鼻分析知, 混合液浸泡对莲藕气味影响不显著; 但贮藏时间对实验组和对照组莲藕气味均影响显著, 实验组莲藕气味和对照组莲藕气味随时间变化趋势一致。对莲藕气味物质分析知, 在 40 天的贮藏时间内, 影响莲藕气味的主要物质是传感器 R(2)、R(6)、R(7)、R(8)和 R(9)代表的物质, 分别是氮氧化合物、甲基类化合物、硫化物、醇醛酮类化合物和有机硫化物等, 且这五类物质的响应值随贮藏时间的变化先减少后增大, 其中在贮藏 16 d 达到最低值。结合外观图片知浸泡液处理后莲藕的最佳保质期为 32 d。

参考文献

- [1] Du Jinhua, Fu Yucheng, Wang Niya. Effects of aqueous chlorine dioxide treatment on browning of fresh-cut lotus root [J]. LWT-Food Science and Technology, 2009, 42(2): 654-659
- [2] Xing Yage, Li Xihong, Xu Qianlian, et al. Effects of chitosan-based coating and modified atmosphere packaging (MAP) on browning and shelf life of fresh-cut lotus root (*Nelumbo nucifera* Gaerth) [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2010, 11(4): 684-689
- [3] Gao Jia, Luo Yaguang, Turner Ellen, 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
- [4] Mukherjee Debajyoti, Khatua Tarak Nath, Venkatesh P, et al. Immunomodulatory potential of rhizome and seed extracts of *Nelumbo nucifera* Gaerth [J]. Journal of Ethnopharmacology, 2010, 128(2): 490-494
- [5] Chatterjee Asima, Pakrashi Satyesh Chandra, Council of Scientific, et al. The Treatise on Indian medicinal plants [M]. New Delhi: Publications & Information Directorate, 1991
- [6] Mukherjee Pulok K., Mukherjee Debajyoti, Maji Amal K., et al. The sacred lotus (*Nelumbo nucifera*) phytochemical and therapeutic profile [J]. Journal of Pharmacy and Pharmacology, 2009, 61(4): 407-422
- [7] Hu Min, Skibsted Leif H. Antioxidative capacity of rhizome extract and rhizome knot extract of edible lotus (*Nelumbo nucifera*) [J]. Food Chemistry, 2002, 76(3): 327-333
- [8] You Jeong Soon, Lee Yun Ju, Kim Kyoung Soo, et al. Ethanol extract of lotus (*Nelumbo nucifera*) root exhibits an anti-adipogenic effect in human pre-adipocytes and anti-obesity and anti-oxidant effects in rats fed a high-fat diet [J]. Nutrition Research, 2014, 34(3): 258-267
- [9] Xiong Chunhui, Zhang Yuyang, Xu Xiaoguang, et al. Lotus roots accumulate heavy metals independently from soil in main production regions of China [J]. Scientia Horticulturae, 2013, 164: 295-302
- [10] Son Jihye, Hyun Jeong-Eun, Lee Jo-Won, 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): 1178C1187
- [11] Sun Ying, Zhang Wei, Zeng Tao, et al. Hydrogen sulfide inhibits enzymatic browning of fresh-cut lotus root slices by regulating phenolic metabolism [J]. Food Chemistry, 2015, 177:376-381
- [12] Zhou Xiran, Xiao Yanju, Meng Xianghong, et al. Full inhibition of Whangkeumbae pear polyphenol oxidase enzymatic browning reaction by L-cysteine [J]. Food Chemistry, 2018, 266: 1-8
- [13] Sikora Małgorzata, Świeca Michał. Effect of ascorbic acid postharvest treatment on enzymatic browning, phenolics and antioxidant capacity of stored mung bean sprouts [J]. Food Chemistry, 2018, 239: 1160-1166
- [14] Lambrecht H. S. Sulfite Substitutes for the Prevention of Enzymatic Browning in Foods [M]. Enzymatic Browning and Its Prevention. American Chemical Society. 1995: 313-323
- [15] Tian Shuge, Shi Yang, Zhou Xiaoying, et al. Total polyphenolic (flavonoids) content and antioxidant capacity of different *Ziziphora clinopodioides* Lam. extracts [J]. Pharmacogn Mag, 2011, 7(25): 65-68
- [16] Zhang Dandan, Xu Xiaofeng, Zhang Zhengke, et al. 6-Benzylaminopurine improves the quality of harvested litchi fruit [J]. Postharvest Biology and Technology, 2018, 143: 137-142
- [17] Zhu Zhenzhou, Li Shuyi, He Jingren, et al. Enzyme-assisted extraction of polyphenol from edible lotus (*Nelumbo nucifera*) rhizome knot: Ultra-filtration performance and HPLC-MS2 profile [J]. Food Research International, 2018, 111: 291-298
- [18] Amiot M J, Fleuriot A, Cheynier V, et al. Phenolic Compounds and Oxidative Mechanisms in Fruit and Vegetables [M]. Robins F A T-B A R J. Phytochemistry of Fruits and Vegetables. Oxford, United Kingdom; Oxford University Press, 1997