

不同包装方式对苹果-蟠桃纸的感官品质和理化特性的影响

陈晓玲^{1,2,3}, 管维良^{1,2}, 侯东园^{1,2}, 蔡路昀^{1,2*}, 张进杰^{3*}

(1. 浙江大学宁波研究院, 生物系统工程与食品科学学院, 宁波 315000; 2. 浙大宁波理工学院材料科学与工程学院, 宁波 315000; 3. 宁波大学食品与药学学院, 宁波 315000)

摘要: **目的** 比较聚乙烯(polyethylene, PE)普通包装、铝箔密封袋包装、真空袋真空包装3种包装方式对苹果-蟠桃纸在37 °C温度贮藏42 d期间的感官品质和理化特性的影响。**方法** 对苹果-蟠桃纸分别进行PE普通包装、铝箔密封袋包装、真空袋真空包装3种方式的处理, 在37 °C温度下进行货架期加速实验, 对苹果-蟠桃纸在42 d贮藏期内的感官评定、菌落总数、色泽、褐变度、维生素C、总酚含量和抗氧化活性进行分析。**结果** 随着贮藏时间延长, PE普通包装保存的苹果-蟠桃纸褐变严重(42 d时, 褐变度为10.39), 营养价值损失严重(42 d时, 维生素C含量为2.19 mg/100 g), 而真空包装保存的苹果-蟠桃纸表面色泽、营养成分、抗氧化活性较好。此外, 所有样品中的总酚含量在贮藏过程中逐渐下降, 真空包装保留了更高的总酚含量(42 d时, 总酚含量为3.62 mg GAE/g dw)。**结论** 真空包装比PE普通包装和铝箔密封袋包装能更好地保持苹果-蟠桃纸质量; 在贮藏过程中, 所有包装方式的苹果-蟠桃纸的微生物生长繁殖都在安全期限以内(<2 lg CFU/g), 这表明苹果-蟠桃纸是安全可食用的。

关键词: 水果纸; 包装方式; 真空包装; 感官评价; 抗氧化活性

Effects of different packaging methods on the sensory qualities and physical and chemical properties of apple-flat peach leather

CHEN Xiao-Ling^{1,2,3}, GUAN Wei-Liang^{1,2}, HOU Dong-Yuan^{1,2}, CAI Lu-Yun^{1,2*}, ZHANG Jin-Jie^{3*}

(1. Ningbo Research Institute, College of Biosystems Engineering and Food Science, Zhejiang University, Ningbo 315000, China; 2. School of Materials Science and Engineering, Ningbo Tech University, Ningbo 315000, China; 3. College of Food and Pharmaceutical Sciences, Ningbo University, Ningbo 315000, China)

ABSTRACT: Objective To compare the effects of 3 kinds of packaging methods: Polyethylene (PE) ordinary packaging, aluminum foil sealing bag packaging, and vacuum bag vacuum packaging on the sensory qualities and physical and chemical properties of apple-peach flat leather stored at 37 °C for 42 days. **Methods** The apple-peach flat leather was processed in 3 kinds of ways: PE ordinary packaging, aluminum foil sealed bag packaging, and

基金项目: 国家重点研发计划项目(2020YFF0414425)、余姚市科技计划项目(2020NS01)

Fund: Supported by the National Key Research and Development Program of China (2020YFF0414425), and the Science and Technology Project of Yuyao City (2020NS01)

*通信作者: 蔡路昀, 博士, 教授, 主要研究方向为食品营养与健康。E-mail: cailuyun@zju.edu.cn

张进杰, 博士, 副教授, 主要研究方向为水产品加工。E-mail: jackace@163.com

*Corresponding author: CAI Lu-Yun, Ph.D., Professor, Ningbo Research Institute, Zhejiang University, Ningbo, China. E-mail: cailuyun@zju.edu.cn

ZHANG Jin-Jie, Ph.D., Associate Professor, College of Food and Pharmaceutical Sciences, Ningbo University, Ningbo, China. E-mail: jingdaping@gmail.com

vacuum packaging, and accelerated shelf life experiments were carried out at 37 °C. Sensory evaluation, total number of colonies, color, degree of browning, vitamin C, total phenolic content and antioxidant activity during the storage period of 42 days were analyzed. **Results** With the prolongation of storage time, the apple-peach flat leather preserved in PE ordinary packaging had severe browning (the browning degree was 10.39 at 42 d), and the nutritional value was seriously lost (the content of vitamin C was 2.19 mg/100 g, at 42 d). The surface color, nutrients and antioxidant activity of apple-peach flat leather preserved in vacuum packaging were better preserved. In addition, the total phenolic content in all samples decreased gradually during storage, and the vacuum packing retained a higher total phenolic content (3.62 mg GAE/g dw at 42 d). **Conclusion** The vacuum packaging can better maintain the quality of apple-peach flat leather than PE ordinary packaging and aluminum foil sealed bag packaging; during storage, the microbial growth and reproduction of apple-peach flat leather in all packaging methods is within the safe period (<2 lg CFU/g), which indicates that apple-peach flat leather is safe to eat.

KEY WORDS: fruit leather; packaging methods; vacuum packaging; sensory evaluation; antioxidant activity

0 引言

水果纸,是新鲜水果经去皮、切块、打浆、熬煮、干燥后得到的营养、能量和矿物质的浓缩产品,具有柔韧的片状,风味清香,口感愉快,是一种营养健康的干制小吃^[1-2]。研究证明,水果干制品可以保留水果原料中丰富的蛋白质、有机酸、维生素等营养成分,还含有多酚、黄酮类等生理活性物质,其在预防心血管疾病、高血压、糖尿病和癌症等具有重要作用^[3]。制备水果纸的主要原理是基于脱水诱导果泥的果胶凝胶化^[4]。许多水果可用于制作水果纸,如石榴^[5]、芒果^[6]、猕猴桃^[7-8]和李子^[9]等。制作水果纸时可以加入食品添加剂,例如亚硫酸氢钠、麦芽糊精、果胶和抗褐变剂^[10-11],其能促进水果纸口感、质地或延长水果纸的贮藏期。

食品的物理、化学和生物特性在加工、贮藏和运输过程中可能发生各种变化^[12]。产品的包装材料也会影响产品的水分活度的稳定性、微生物稳定性、感官特性和理化特性,从而影响产品的货架期。目前产品包装中,通常采用的是聚乙烯(polyethylene, PE)普通包装,其成本低、使用简单方便,但其具有高透氧率和高透光率;锡箔包装因其遮光性好、透氧率低也被广泛用于食品包装中;真空包装由于其隔氧环境也常用于维持产品品质的稳定。水果纸主要由糖类、果胶和纤维素等碳水化合物组成^[4],这些亲水性化合物使水果纸具有高度吸湿性。为防止水果纸在干燥后从环境中吸收水分,必须对生产的水果纸进行合适的包装方式处理。另外,水果纸的色泽、营养物质和微生物含量的变化也是贮藏过程中需要考虑的问题^[13]。有研究者已经对不同的水果纸进行了货架期实验。VÁZQUEZ-SÁNCHEZ等^[14]在25 °C、无光照下对塑料袋包装的苹果纸进行了12周的稳定性研究,结果表明,由于水分活度值较低,该产品在贮藏过程中没有出现明显的霉菌生长。AZEREDO等^[15]制作的低水分活度(water

activity, Aw=0.62)的芒果纸,在25 °C条件下使用聚丙烯包装,其贮藏期至少有6个月。

蟠桃和苹果是中国种植面积最大和产量最大的两种水果,含有大量酚类化合物等营养物质^[16-17]。由于目前关于不含防腐剂的苹果-蟠桃纸的开发和理化特性测定的文献很少,因此本研究以苹果和蟠桃为原料制作的苹果-蟠桃纸,研究在37 °C温度下使用PE普通包装、铝箔密封袋包装、真空袋真空包装3种包装方式对贮藏42 d苹果-蟠桃纸的感官品质、理化特性和微生物变化的影响,为开发一种新型健康零食提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

冷库冻存半年的成熟的红富士苹果、新鲜成熟的黄肉蟠桃(新疆石河子市);PE普通自封袋(16丝,12 mm×17 mm)、铝箔包装袋(20丝,13 mm×19 mm)、真空包装袋(18丝,12 mm×20 mm)(上海易诺包装材料有限公司)。

没食子酸标准品(纯度>99%)、6-羟基-2,5,7,8-四甲基色烷-2-羧酸(Trolox)标准品(纯度>99%)、2,6-二氯酚酞钠盐水合物、福林酚、1,1-二苯基-2-三硝基苯胍(2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl, DPPH)、2,4,6-三吡啶基三嗪[2,4,6-tri(2-pyridyl)-1,3,5-triazine, TPTZ](分析纯,上海易恩化学技术有限公司);冰乙酸、六水氯化铁(分析纯,上海麦克林生化科技有限公司);其他化学试剂(分析纯,国药集团化学试剂有限公司)。

1.2 仪器与设备

CT-C-I型热风循环烘箱(南京华莎干燥设备有限公司);DH2ST 9070A恒温恒湿培养箱(上海精宏有限公司);340型商用真空包装机(厦门市福多宝商贸有限公司);CHROMA METER CR-400色差仪(日本Konica minolta公司);DHG-9070AS电热恒温鼓风干燥箱(宁波江南仪器厂);

XHF-D 高速分散器(宁波新芝生物科技股份有限公司); Eppendorf AG 22331 Hamburg 冷冻离心机(德国 Eppendorf 公司); HZQ-100A 回旋振荡器(上海一恒科学仪器有限公司); Spectra Max i3 全波长扫描多功能酶标仪(美国 Molecular Devices 公司); HH-4 数显恒温水浴锅(国华电器有限公司); HE53 水分快速测定仪(瑞士 METTLER TOLEDO 公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 苹果-蟠桃纸的处理

制作工艺:参考倪震丹等^[18]的工艺流程,并稍作修改。新鲜无虫害、无损坏的成熟度相似的苹果和蟠桃去皮、称重;打浆;过滤;保持微沸状态下熬煮成果泥;使用热风循环烘箱热风干燥,新鲜果泥样品均匀摆放在热风循环烘箱内烤盘上,样品模具为 300 mm×250 mm×7 mm,干燥温度条件为 80 °C,干燥时间约 7.5 h 以获得 18%~20%的最终水分,最终产品厚度为 1.5 mm,干燥结束后将苹果-蟠桃纸取出,得到色泽均匀、金黄色的苹果-蟠桃纸;揭膜,裁剪为 100 mm×80 mm 的小份水果纸分别进行不同的包装方式,37 °C 恒温培养箱贮藏。

苹果-蟠桃纸的包装方法和加速贮藏方法:(1)PE 普通包装:使用 PE 普通自封袋包装,每份 25~30 g,将 80 份样品置于(37±1) °C 的恒温培养箱,每 7 d 随机取出 5 份样品用于感官评定,5 份样品进行理化分析测定;(2)铝箔袋包装:使用铝箔密封袋充氮气后密封包装,每份 25~30 g,将 80 份样品置于(37±1) °C 的恒温培养箱,每 7 d 随机取出 5 份样品用于感官评定,5 份样品进行理化分析测定;(3)真空袋真空包装:使用真空袋密封包装并抽真空,每份 25~30 g,将 80 份样品置于(37±1) °C 的恒温培养箱,每 7 d 随机取出 5 份样品用于感官评定,5 份样品进行理化分析测定。

1.3.2 苹果-蟠桃纸品质指标的测定

(1) 含水率测定

参照 GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》对样品的含水率进行测定。

(2) 感官评定

对不同包装方式处理的苹果-蟠桃纸取样之后立即进

行感官评定。以组织状态、口感、色泽、风味为评定指标,感官评定标准如表 1 所示^[19-20]。感官评定小组由 15 位有经验的人员组成,按照感官评定标准进行感官评分,分数越高就意味着该属性的嗜好程度越高,将 15 位评定人员的分数分别取平均值。

(3) 微生物测定

参照 GB 4789.2—2016《食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定》对样品的菌落总数进行测定。

(4) 色泽测定

使用手持式色差仪测定,每种包装的样品平行测定 6 次,记录相应的亮度值 L^* 、红绿值 a^* 、黄蓝值 b^* ,饱和度 $C=(a^*+b^*)^{0.5}$ 。

(5) 褐变度测定

参考孙若琳^[21]的方法,并稍作修改。适量样品研磨后匀浆,取上清液于 420 nm 波长下测吸光值 OD,褐变度 = OD×10。

(6) 维生素 C 含量测定

参照 GB 5009.86—2016《食品安全国家标准 食品中抗坏血酸的测定》对样品的维生素 C 含量进行测定,结果以苹果酸计。

(7) 总酚含量测定

样品总酚的提取:将 5 g 水果纸样品于研钵中充分研磨至匀浆状,准确称取 1.000 g 样品置于三角瓶中,加入 45 mL 60%乙醇溶液,摇匀,超声波处理条件为 25 °C,250 W,120 min,将浸提液离心 8000 r/min,10 min,取上清液,用 60%乙醇溶液定容于 50 mL 容量瓶中。

样品总酚的测定采用福林酚法,参考张利娟^[22]的方法,并稍做修改。以没食子酸(gallic acid, GAE)计,根据公式(1)计算总酚含量。

$$X = \frac{W \times N \times V}{m} \quad (1)$$

公式中, X 为样品中总酚含量(mg GAE/g dw), W 为通过标准曲线计算得到的质量浓度(mg/mL), V 为待测液体积(mL), N 为样品稀释倍数; m 为样品质量(g)。

表 1 感官评定标准
Table 1 Sensory evaluation standard

分值	组织状态	色泽	口感	风味
5	形态完整,质地均匀,不黏	亮黄有光泽,色泽均匀	酸甜适中,口感好,咀嚼易化渣	有独特风味,苹果和蟠桃香浓烈且均匀
4	形态完整,质地细腻,有点黏	色泽不够均匀,中间色泽亮黄,四周棕色	口感较好,咀嚼较易化渣	有独特风味,苹果和蟠桃香较浓烈
3	形态较完整,质地较细腻,有点黏	色泽较暗淡、整体偏棕色	较酸或较甜,口感一般,咀嚼度较大	水果香味较淡
2	形态不完整,黏	色泽暗淡,整体棕色	口感不佳,难咀嚼	水果香味淡
1	质地不细腻,非常黏,有杂质	色泽黑或深棕色	特别酸或甜,难吃,发苦	无愉快香味,无果香

(8)DPPH 自由基清除率测定

参考王佳乐^[23]的方法,并稍作修改。样品提取液方法同 1.3.2 (7), 100 μL 样品提取液与 100 μL DPPH 溶液 (1×10^{-4} mol/L) 在 517 nm 处测量吸光值, 实验重复 3 次。

(9)总还原能力测定

参考雷云琛^[24]的方法,并稍作修改。样品提取液方法同 1.3.2 (7), 吸取 200 μL 样品提取液和 2.8 mL 总还原能力测定 (ferric reducing antioxidant power, FRAP) 工作液于 37 $^{\circ}\text{C}$ 暗室反应 30 min 后于 593 nm 下测定吸光值。以 Trolox 为标准物质计。样品抗氧化能力表示为 mmol Trolox/g dw 当量。

1.4 数据处理

数据处理采用 SPSS 25.0 软件及 Origin 2021 软件进行数据统计分析与作图。每个处理重复 3 次, 采用 Duncan 事后检验进行显著性分析, 显著性水平设置为 $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 不同包装方式处理对苹果-蟠桃纸感官评定的影响

图 1 为不同包装的苹果-蟠桃纸在 37 $^{\circ}\text{C}$ 下 42 d 贮藏过程中的组织状态、色泽、口感、风味的评分情况。如图 1 所示, 苹果-蟠桃纸的色泽、组织状态、口感、风味的感官

评分均呈现持续下降的趋势, 真空包装的评分始终高于 PE 包装和铝箔密封包装的苹果-蟠桃纸。随着贮藏时间延长, 真空包装的样品呈现出良好的亮黄色, 而 PE 普通包装保存的苹果-蟠桃纸褐变最严重, 色泽暗淡无光泽, 呈现深棕色。这与本研究中色泽和褐变度测定的数值相符。感官评定人员反馈真空包装贮藏的苹果-蟠桃纸吸湿情况较轻, 色泽褐变较轻, 口感相对均匀细腻, 较好地保持两种果香, 整体优于其他两种包装的苹果-蟠桃纸。综上所述, 真空包装在贮藏期间能够较好地保持苹果-蟠桃纸的感官特征。

2.2 不同包装方式处理对苹果-蟠桃纸菌落总数的影响

菌落总数是判定食品污染程度的主要标志, 微生物的生长繁殖是造成食品腐败变质、货架期缩短的主要因素之一。微生物原始数量主要取决于产品制作中使用的原材料和加工过程, 贮藏期的微生物生长繁殖受到多种因素的影响, 例如产品的 pH、水分活度、和贮藏环境的温度、湿度等^[13]。图 2 为 3 种包装方式对苹果-蟠桃纸在 37 $^{\circ}\text{C}$ 贮藏过程中的菌落总数的变化趋势。各处理组中的菌落总数初始值为 1.46 lg CFU/g, 说明样品最初的卫生情况良好。在贮藏过程中, 前 7 d 由于较低的水分含量不利于微生物生长繁殖, 在贮藏 7 d 后, 微生物适应环境变化, 3 种包装的苹果-蟠桃纸的菌落总数都随着贮藏时间延长而增加, 但

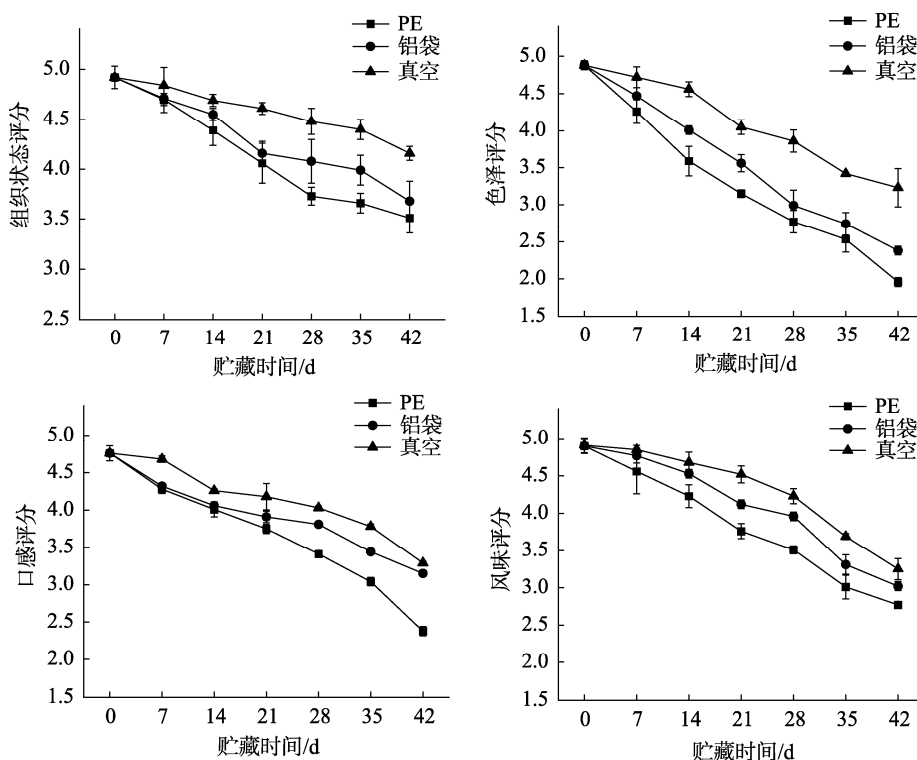


图 1 不同包装方式处理的苹果-蟠桃纸的感官评分(n=15)

Fig.1 Sensory scores of apple-peach flat leather in different packaging methods (n=15)

都在标准范围内(2 lg CFU/g)。这说明 3 种包装都能够对该产品微生物腐败起到抑制作用,且真空包装的抑菌效果更佳。这可能是由于样品具有中等水分含量、低 pH,且真空包装具有较低的水蒸气透过率和隔氧环境从而能更好地控制产品的水分活度并抑制微生物的生长繁殖^[25]。由图 2 可知,3 种包装方式贮藏的水果纸能很好地抑制微生物生长,样品在贮藏 42 d 后仍可供人安全食用。

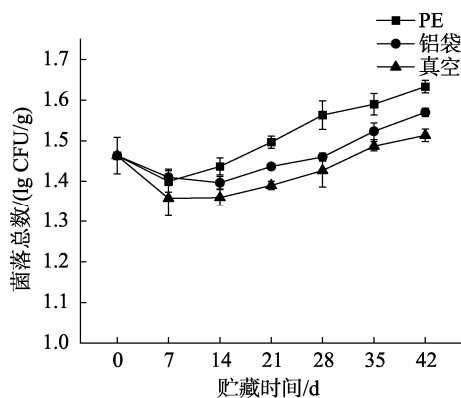


图 2 不同包装方式处理的苹果-蟠桃纸的菌落总数($n=3$)
Fig.2 Total number of colonies of apple-peach flat leather in different packaging methods ($n=3$)

2.3 不同包装方式处理对苹果-蟠桃纸色泽的影响

图 3 为不同包装的苹果-蟠桃纸在 37 °C 温度下 42 d 贮藏过程中亮度值 L^* 、红绿值 a^* 、和黄蓝值 b^* 、饱和度 C 值的变化趋势。整体来看,PE 普通包装和铝箔密封袋包装的苹果-蟠桃纸的亮度值 L^* 、黄蓝值 b^* 和饱和度 C 值随着贮藏时间的延长呈现不同速率的下降,其中 PE 普通包装的苹果-蟠桃纸的 L^* 和 b^* 下降速率比铝箔密封袋快,而真空包装的亮度值 L^* 、红绿值 a^* 、黄蓝值 b^* 和饱和度 C 值随着贮藏时间的延长呈现先增加后降低的趋势。整个贮藏期内真空包装苹果-蟠桃纸的 L^* 、 a^* 、 b^* 和饱和度 C 值始终高于其他两种包装。这说明真空包装贮藏有利于保持苹果-蟠桃纸的亮黄色泽,这对消费者的吸引力会更大。有研究者报道, L^* 的降低与苹果-蟠桃纸褐变度的增加有关^[26],酚类物质在氧化酶和过氧化物酶的酶催化反应中被氧化成醌,从而导致食物褐变^[27]。这与总酚含量的下降相符。在真空包装的样品中,无氧气环境防止了样品的氧化褐变^[28]。因此,可以得出样品适合真空包装贮藏的结论。

2.4 不同包装方式处理对苹果-蟠桃纸褐变度的影响

表示棕色纯度的褐变度是食品中发生酶促褐变和非酶促褐变的过程中的关键变量^[26]。有研究报道水果中存在

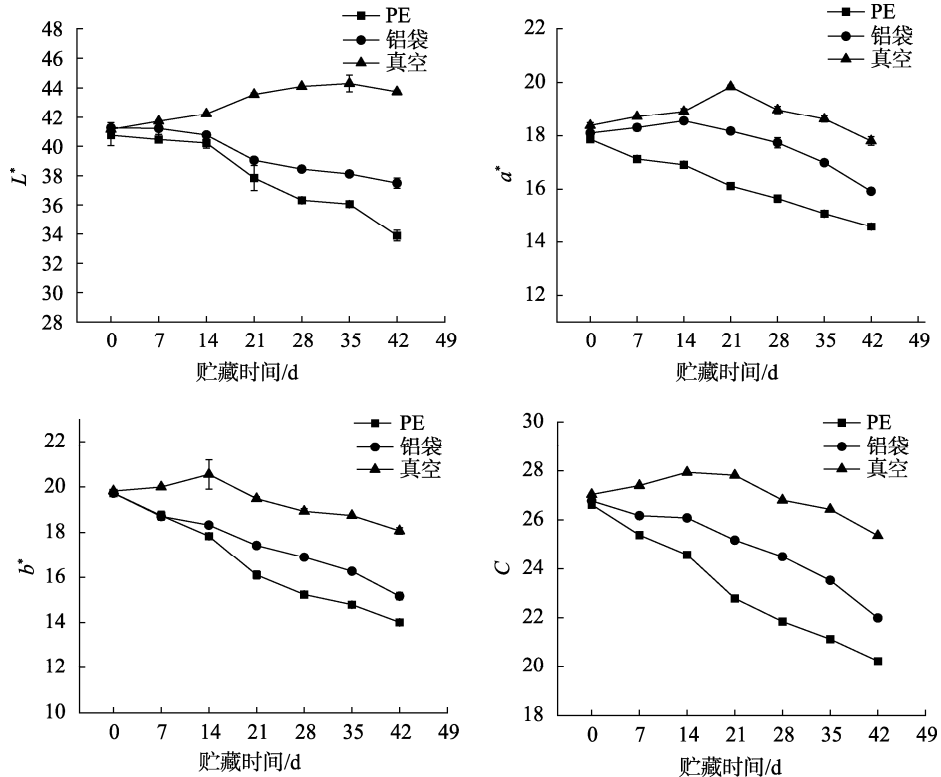


图 3 不同包装方式处理的苹果-蟠桃纸的亮度值 L^* 、红绿值 a^* 、黄蓝值 b^* 和 C 值($n=6$)
Fig.3 L^* , a^* , b^* and C value of apple-peach flat leather in different packaging methods ($n=6$)

的色素,尤其是类胡萝卜素和叶绿素的热破坏会引发色泽变化。苹果-蟠桃纸制作过程中,水果原料在高温下进行熬煮和干燥,因此水果中存在的热敏酶(如多酚氧化酶)已失活。然而,由于果泥中存在的还原糖和氨基酸会发生美拉德反应,因此在烘箱脱水过程美拉德产物的形成决定了苹果-蟠桃纸的最终色泽。由图 4 可以看出,不同包装的苹果-蟠桃纸在贮藏过程中褐变度呈现显著上升的趋势,其中 PE 普通包装保存的苹果-蟠桃纸褐变严重(42 d 时,褐变度为 10.39),真空包装苹果-蟠桃纸的褐变度变化始终低于其他两种包装($P<0.05$)。这是因为真空包装的隔绝氧气,阻碍了抗坏血酸等的氧化褐变。QUINTERO 等^[29]的研究表明苹果纸在 20 °C 温度贮藏下褐变度会增加,其变化主要是由非酶促褐变引起的,可能是因为抗坏血酸的降解产生了大量的羧基化合物。TORRES 等^[30]的研究结果也表明非酶促褐变和氧化反应是中等水分干制食品褐变的主要原因。酚类物质在氧化酶和过氧化物酶的酶催化反应中被氧化成醌,这也可能是样品褐变的原因之一^[27]。

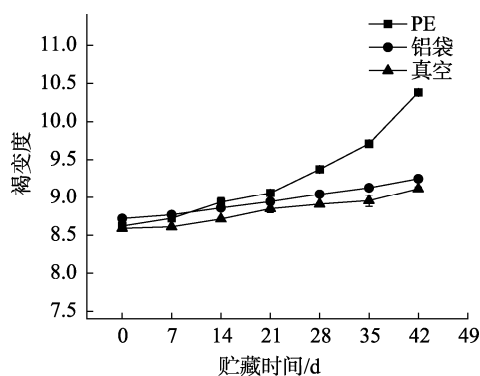


图 4 不同包装方式处理的苹果-蟠桃纸褐变度($n=3$)

Fig.4 Degrees of browning of apple-peach flat leather in different packaging methods ($n=3$)

2.5 不同包装方式处理对苹果-蟠桃纸维生素 C 和总酚含量的影响

维生素 C 是常见于水果蔬菜中的可维持人体生理功能的低分子有机化合物。维生素 C 的降解与食品加工方式有很大的关系。图 5 为在 37 °C 贮藏条件下苹果-蟠桃纸的维生素 C 含量的变化趋势。干燥后第 0 d 的维生素 C 含量为 $[(19.68\pm 0.69) \text{ mg}/100 \text{ g}]$,与 JAVARIA 等^[31]的研究结果相比,本研究中苹果-蟠桃纸的维生素 C 的初始含量相对较低,这可能是由于苹果-蟠桃纸在杀菌熬煮过程和干燥过程中受热时间较长导致的。由图 5 可以看出,在相同温度贮藏条件下,随着时间的延长,3 种包装的苹果-蟠桃纸中维生素 C 含量逐渐降低,其中 PE 普通包装的水果纸降解速率最快,42 d 时,维生素 C 含量为 2.19 mg/100 g。这与 POLAT 等^[32]和 MILCZAREK 等^[33]的报道一致。POLAT 等^[32]研究了不同包装方式和贮藏环境橙子干片样品质量的影响,将样品使用大气压条件(760 mmHg)或微真空条

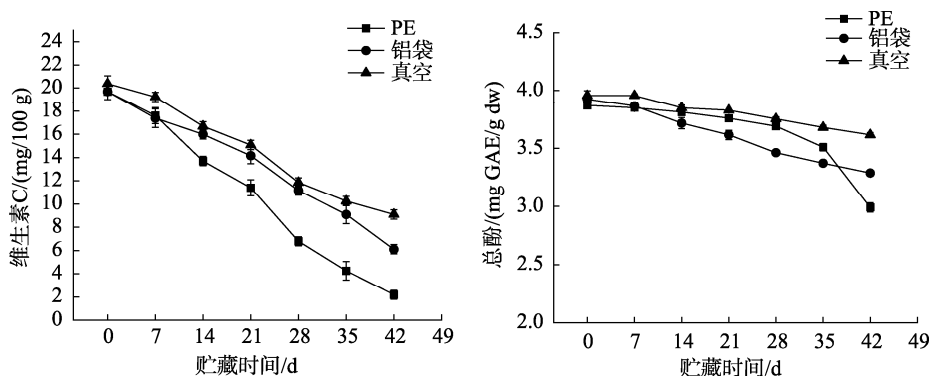
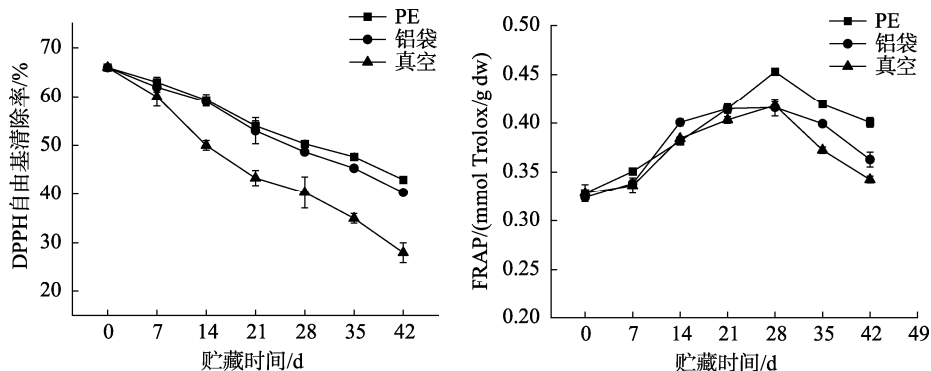
件(660 mmHg)两种方式包装,并将样品贮藏在含 50%相对湿度和 25 °C 温度的荧光灯照明或黑暗的环境条件下。研究发现在 3 个月贮藏期间样品的维生素 C 含量显著减少($P<0.05$),与其他包装方式相比,充氮气包装并且没有直接暴露于光的贮藏条件在保护干橙片的特性方面更有效。MILCZAREK 等^[33]也观察到用两种包装(塑料密封袋和含聚对苯二甲酸乙二醇酯的干燥剂包)的柿子干片的维生素 C 在 12 个月的贮藏期间大幅下降。真空包装的苹果-蟠桃纸中维生素 C 含量的下降速率低于其他两种包装,说明真空包装能够更好地保持苹果-蟠桃纸中维生素 C 含量。

食品中酚类物质的稳定性受光、氧气浓度和贮藏温度等多因素的影响。图 5 显示了苹果-蟠桃纸中总酚类物质在 42 d 贮藏期的含量变化情况。包装中的苹果-蟠桃纸的总酚含量随贮藏时间的增加而逐渐减少,且总酚的衰减速率在 PE 包装中比真空包装和铝袋包装中快,42 d 时,总酚含量为 3.62 mg GAE/g dw。总酚含量的减少可能与贮藏温度 37 °C 有关,实验表明在 25~90 °C 时,温度越高会导致总酚含量减少^[34]。CONCHA 等^[26]的研究也表明在 (30 ± 2) °C 贮藏时猕猴桃纸的总酚类物质含量随着时间的延长而减少。

2.6 不同包装方式处理对苹果-蟠桃纸抗氧化活性的影响

苹果-蟠桃纸在 37 °C 温度下贮藏期间 DPPH 自由基清除能力的变化如图 6 所示。随着贮藏时间的增长,3 种包装中的苹果-蟠桃纸的 DPPH 自由基清除率逐渐降低,并且真空包装材料中 DPPH 自由基清除率的降低比 PE 材料中 DPPH 自由基清除率的降低快。DPPH 自由基清除能力的降低与总酚含量相关;而且食品中的组分(比如糖、植酸等)在贮藏过程中也会对产品的抗氧化活性的反应与机制产生影响^[27]。苹果-蟠桃纸在贮藏过程中可能存在一些结构的变化导致 DPPH 自由基清除率降低。

FRAP 值反映了水果纸的还原能力。从图 6 可以看出,随着贮藏时间延长,3 种包装样品的抗氧化能力呈现先增强后下降的趋势,苹果-蟠桃纸的抗氧化能力在前 28 d 逐渐增强,第 28 d 后显著下降($P<0.05$),这与 VÁZQUEZ-SÁNCHEZ 等^[14]的研究结果一致。AHMAD 等^[35]表明热处理可以诱导具有抗氧化活性的新化合物(美拉德反应产物)的形成。例如,处于中间氧化态的多酚比完全未氧化的多酚表现出更高的自由基清除活性。VALENZUELA 等^[4]发现脱水苹果在 20 °C 下贮藏 30 d 后抗氧化活性增加,但随后下降,他们认为这可能是由于多酚(如儿茶素)的氧化导致进一步聚合成原花青素,其抗氧化活性高于原始底物。然而,抗氧化活性的降低可能是由于酚类化合物的氧化和进一步聚合成抗氧化活性较低的缩合单宁。CONCHA-MEYER 等^[26]认为可能由于水果纸在贮藏期间美拉德反应产物的转化,美拉德产物促进水果纸抗氧化活性增强。

图 5 不同干燥方式处理的苹果-蟠桃纸的维生素 C 和总酚含量($n=3$)Fig.5 Vitamin C content and total phenol content of apple-peach flat leather in different packaging methods ($n=3$)图 6 不同包装方式处理的苹果-蟠桃纸的 DPPH 自由基清除率和总还原能力($n=3$)Fig.6 DPPH free radical scavenging rates and total reducing abilities of apple-peach flat leather in different packaging methods ($n=3$)

3 讨论与结论

本研究主要探究了无食品添加剂的苹果-蟠桃纸在 37 °C 温度下贮藏 42 d 的感官品质、理化特性、菌落总数和抗氧化特性。苹果-蟠桃纸样品在贮藏过程中的感官品质、理化特性和菌落总数的变化取决于贮藏条件和包装材料。在贮藏过程中,所有包装方式的苹果-蟠桃纸的微生物生长繁殖都在安全期限以内,这表明苹果-蟠桃纸是安全可食用的。苹果-蟠桃纸的维生素 C 和总酚含量随贮藏时间延长逐渐减少,总抗氧化活性随贮藏时间延长先增加后减少。真空包装的苹果-蟠桃纸中维生素 C 和总酚含量的下降速率低于其他两种包装,说明真空包装能够更好地保护苹果-蟠桃纸中维生素 C 和总酚含量。

整个贮藏期内真空包装苹果-蟠桃纸的 L^* 、 a^* 、 b^* 和饱和度 C 值始终高于其他两种包装。随着贮藏时间延长,真空包装的样品呈现出良好的亮黄色,而 PE 普通包装由于其透光率和透氧率较高,其保存的苹果-蟠桃纸褐变最严重,色泽暗淡无光泽,呈现棕色。此外,真空包装贮藏的苹果-蟠桃纸吸湿情况较轻,色泽褐变较轻,口感相对均匀细腻,较好地保持两种果香,整体优于其他两种包装的苹果-蟠桃纸。这说明真空包装的无氧环境防止了样品的氧化褐变,有利于保持苹果-蟠桃纸的亮黄色泽和风味。这些结果表明真空包装更适用于苹果-蟠桃纸的包装。

参考文献

- [1] DA-SILVA SR, DE-MORAES JO, CARCIOFI BAM, *et al.* Recent advances in the production of fruit leathers [J]. *Food Eng Rev*, 2019, 12(1): 68–82.
- [2] 倪震丹, 李剑. 一种苹果果纸及其制备方法: 中国, CN109874963A [P]. 2019-06-14.
NI ZD, LI J. Apple fruit paper and preparation method thereof: China, CN109874963A [P]. 2019-06-14.
- [3] CHANG SK, ALASALVAR C, SHAHIDI F. Review of dried fruits: Phytochemicals, antioxidant efficacies, and health benefits [J]. *J Funct Foods*, 2016, 21: 113–132.
- [4] VALENZUELA C, AGUILERA M. Effects of different factors on stickiness of apple leathers [J]. *J Food Eng*, 2015, 149: 51–60.
- [5] YILMAZ FM, YÜKSEKKAYA S, VARDIN H, *et al.* The effects of drying conditions on moisture transfer and quality of pomegranate fruit leather (pestil) [J]. *J Saud Soc Agric Sci*, 2017, 16(1): 33–40.
- [6] NIZAMLIOGLU NM, YASAR S, BULUT Y. Chemical versus infrared spectroscopic measurements of quality attributes of sun or oven dried fruit leathers from apple, plum and apple-plum mixture [J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2022, 153: 112420.
- [7] BARMAN M, DAS AB, BADWAIK LS. Effect of xanthan gum, guar gum, and pectin on physicochemical, color, textural, sensory, and drying characteristics of kiwi fruit leather [J]. *J Food Process Pres*, 2021, 45(5): e15478.
- [8] TYLEWICZ U, NOWACKA M, RYBAK K, *et al.* Design of healthy snack based on kiwifruit [J]. *Molecules*, 2020, 25(14): 3309.
- [9] MPHAPHULI T, MANHIVI VE, SLABBERT R, *et al.* Enrichment of mango fruit leathers with natal plum (*Carissa macrocarpa*) improves their phytochemical content and antioxidant properties [J]. *Foods*, 2020, 9(4): 431.

- [10] GUJRAL HS, OBEROI DPS, SINGH R, *et al.* Moisture diffusivity during drying of pineapple and mango leather as affected by sucrose, pectin, and maltodextrin [J]. *Int J Food Prop*, 2013, 16(2): 359–368.
- [11] VALENZUELA C, AGUILERA JM. Effects of maltodextrin on hygroscopicity and crispness of apple leathers [J]. *J Food Eng*, 2015, 144: 1–9.
- [12] RATTI C. Hot air and freeze-drying of high-value foods: A review [J]. *J Food Eng*, 2001, 49(4): 311–319.
- [13] YAO LY, FAN LP, DUAN ZH. Effects of different packaging systems and storage temperatures on the physical and chemical quality of dried mango slices [J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2020, 121: 108981.
- [14] VÁZQUEZ-SÁNCHEZ AY, CORFIELD R, SOSA N, *et al.* Physicochemical, functional, and sensory characterization of apple leathers enriched with acáchul (*Ardisia compressa* Kunth) powder [J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2021, 146: 111472.
- [15] AZEREDO HMC, BRITO ES, MOREIRA GEG, *et al.* Effect of drying and storage time on the physico-chemical properties of mango leathers [J]. *Int J Food Sci Technol*, 2006, 41(6): 635–638.
- [16] ANTONIC B, JANKIKOVA S, DORDEVIC D, *et al.* Apple pomace as food fortification ingredient: A systematic review and meta-analysis [J]. *J Food Sci*, 2020, 85(10): 2977–2985.
- [17] 焦艺. 不同桃品种鲜食和制汁品质评价研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2014.
JIAO Y. Study on the quality evaluation of fresh food and juice of different peach varieties [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2014.
- [18] 倪震丹, 李剑. 苹果渣在制备果蔬纸中的应用以及一种果蔬纸的制备方法: 中国, CN109938239A [P]. 2019-06-28.
NI ZD, LI J. Application of apple residue in preparation of fruit and vegetable paper and a preparation method of fruit and vegetable paper: China, CN109938239A [P]. 2019-06-28.
- [19] 张晓雨, 魏星, 赵靓, 等. 高阻隔 HDPE 包装对 NFC 橙汁品质和货架期的影响[J]. *包装工程*, 2021, 42(15): 72–84.
ZHANG XY, WEI X, ZHAO L, *et al.* Effect of high barrier HDPE packaging on quality and shelf life of NFC orange juice [J]. *Packag Eng*, 2021, 42(15): 72–84.
- [20] 赵阳安, 杨学织, 马坤, 等. 新型绿色可食用苦苣菜果蔬纸的研制[J]. *乡村科技*, 2018, (17): 109–110.
ZHAO YAN, YANG XZ, MA K, *et al.* Preparation of new green edible paper of Chicory vegetable [J]. *Rural Sci Technol*, 2018, (17): 109–110.
- [21] 孙若琳. 脱水半干苹果片抗氧化性和色泽稳定性的研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2015.
SUN RL. Study on antioxidant and color stability of dehydrated semi-dried apple slices [D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2015.
- [22] 张利娟. 葡萄干的抗氧化特性及防褐变工艺研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2013.
ZHANG LJ. Study on antioxidant properties and anti-browning technology of raisins [D]. Yanglin: Northwest Agriculture & Forestry University, 2013.
- [23] 王佳乐. 预处理方式对沙棘全果冻干粉的品质及功能性影响[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2020.
WANG JL. Effects of pretreatment methods on the quality and function of Seabuckthorn jelly dry powder [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2020.
- [24] 雷云琛. 贮藏条件对浓缩果汁主要色素成分及其抗氧化能力变化的影响[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2019.
LEI YC. Effects of storage conditions on main pigment components and antioxidant capacity of concentrated fruit juice [D]. Changsha: Central South University of Forestry and Technology, 2019.
- [25] SINGH TP, RAIGAR RK, BAM J, *et al.* Predictive modeling for physicochemical and microbial quality assessment of vacuum-packed yak milk paneer under various storage temperatures [J]. *J Food Process Pres*, 2022, 46: e16114.
- [26] CONCHA-MEYER AA, D'IGNOTI V, SAEZ B, *et al.* Effect of storage on the physico-chemical and antioxidant properties of strawberry and kiwi Leathers [J]. *J Food Sci*, 2016, 81(3): C569-C577.
- [27] LIUQING W, QIUHUI H, FEI P, *et al.* Influence of different storage conditions on physical and sensory properties of freeze-dried *Agaricus bisporus* slices [J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2018, 97: 164–171.
- [28] HUNJEK DD, REPALIC M, SCETAR M, *et al.* Effect of anti-browning agents and package atmosphere on the quality and sensory of fresh-cut birgit and lady claire potato during storage at different temperatures [J]. *J Food Process Pres*, 2020, 44(4): e14391.
- [29] QUINTERO RN, DEMARCHI SM, MASSOLO JF, *et al.* Evaluation of quality during storage of apple leather [J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2012, 47(2): 485–492.
- [30] TORRES CA, ROMERO LA, DIAZ RI. Quality and sensory attributes of apple and quince leathers made without preservatives and with enhanced antioxidant activity [J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2015, 62(2): 996–1003.
- [31] JAVARIA S, MARWAT A, NADEEM M, *et al.* Development and physico-chemical characterization of apple-peach fruit leather [J]. *Pakistan J Agric Res*, 2021, 34(2): 319–325.
- [32] POLAT S. Color quality, ascorbic acid, total carotenoid, and volatile compounds of dried orange slices as influenced by packaging methods and storage conditions [J]. *J Food Process Pres*, 2021. DOI: 10.1111/jfpp.15898
- [33] MILCZAREK RR, VILCHES AM, OLSEN CW, *et al.* Physical, microbial, and chemical quality of hot-air-dried persimmon (*Diospyros kaki*) chips during storage [J]. *J Food Qual*, 2020, 2020: 1–15.
- [34] 李颖, 曾剑华, 李云冰, 等. 热处理对豆浆总酚含量及其抗氧化能力的影响[J]. *食品科技*, 2021, 46(3): 21–26.
LI Y, ZENG JH, LI YB, *et al.* Effects of heat treatment on total phenolic content and antioxidant capacity of soybean milk. [J]. *Food Sci*, 2021, 46(3): 21–26.
- [35] AHMAD J, LANGRISH TAG. Optimisation of total phenolic acids extraction from mandarin peels using microwave energy: The importance of the Maillard reaction [J]. *J Food Eng*, 2012, 109(1): 162–174.

(责任编辑: 韩晓红 郑 丽)

作者简介



陈晓玲, 硕士研究生, 主要研究方向为食品营养与健康。

E-mail: 1434911043@qq.com



蔡路昀, 博士, 教授, 主要研究方向为食品营养与健康。

E-mail: cailuyun@zju.edu.cn



张进杰, 博士, 副教授, 主要研究方向为水产品加工。

E-mail: jackace@163.com