

不同包装方式对恒温贮藏柿子脆片品质影响的比较

贾洋洋^{1,2}, 周诗晶¹, 李春美^{1,2}

(1. 华中农业大学食品科技学院, 湖北武汉 430070)

(2. 华中农业大学环境食品学教育部重点实验室, 湖北武汉 430070)

摘要: 将柿果进行切片, 通过热风-微波联合干燥处理得到柿子脆片。比较六种不同的包装方式: 聚乙烯薄膜(Polyethylene, PE)袋、聚酰胺薄膜(Polyamide, PA)袋、PA袋充氮气包装、铝箔复合膜、铝箔复合膜分别添加干燥剂及除氧剂对柿子脆片的保藏效果。将六种不同包装形式的柿子脆片进行恒温保藏试验, 每隔7d对产品的水分含量、色度及质构进行测定并比较, 以选择最佳包装方式。同时将柿子脆片暴露于空气中进行破坏性试验确定货架期终点, 通过加速货架试验测定 L^* 值的变化预测产品货架期。结果表明: PA袋充氮气包装对柿子脆片的水分含量、色度、硬度和脆度的保持效果最好。破坏性试验确定产品货架期终点 L^* 值为64.56, 37℃及47℃保藏时柿子脆片 L^* 值变化预测模型为: $y=73.30622e^{-0.00079x}$ 和 $y=73.05771e^{-0.0180x}$, 计算得到 Q_{10} 为2.28, 预测25℃贮藏时PA袋充氮气包装的柿子脆片的货架期约为460d。

关键词: 柿子脆片; 包装材料; 货架期; 破坏性试验

文章编号: 1673-9078(2018)10-196-204

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2018.10.027

Comparison of Different Packaging Methods on the Quality of Persimmon Chips Stored at Constant Temperature

JIA Yang-yang^{1,2}, ZHOU Shi-jing¹, LI Chun-mei^{1,2}

(1. College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)(2. Key Laboratory of Environment Correlative Dietology, Ministry of Education, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract: The persimmon fruits were sliced and dried by combined hot-air-microwave drying technique to obtain persimmon chips. The preservation effects of polyethylene(PE) bag, polyamide (PA) bag, aluminum foil composites, the PA bag packing with nitrogen, the aluminum foil composite packaged with desiccant and deoxidizer on the persimmon chips were compared. The persimmon chips packaged in 6 different packaging forms were subjected to a thermostatic preservation test to select the best packaging method. The moisture content, color and texture of the products were measured and compared every 7 days. Besides, the persimmon chips were exposed to air for destructive testing to determine the end of shelf life, and the changes in L^* values were measured by accelerated shelf test to predict the shelf life of products. The results showed that the nitrogen filling of the PA bag had the best preserve effect on the moisture content, chroma, firmness and crispness of the persimmon chips. It was proved by the destructive test that the end of shelf life of persimmon product finished when the L^* value decreased to 64.56, and the prediction model for L^* value change of persimmon chips at 37℃ and 47℃ was: $y=73.30622e^{-0.00079x}$ and $y=73.05771e^{-0.0180x}$, respectively. The calculated Q_{10} was 2.28. It was predicted that the shelf life of the persimmon chips packed with nitrogen in the PA bag at the storage temperature of 25℃ was about 460 days.

Key words: persimmon chips; packaging materials; shelf life; destructive testing

柿(*Diospyros kaki*)在我国大范围种植, 是我国的特种水果, 柿果实风味独特, 营养丰富, 被誉为“果中圣品”^[1], 具有多种重要的生理活性, 越来越多的研究表明柿果的特征成分柿单宁具有抗氧化^[2-5]、降血脂^[6-8]、预防动脉粥样硬化^[9]、解蛇毒^[10,11]等多种重要的

保健功能。柿果除了作为水果直接食用之外, 还具有重要的药用价值。但鲜果不耐贮藏, 货架期短, 随着柿子种植业的高速发展, 柿果产量迅猛增长, 对柿子进行深加工、提高柿子产品附加值已迫在眉睫^[12-16]。

果蔬脆片是以水果、蔬菜为原料, 通过一定的脱水技术如微波干燥、冷冻干燥、热风干燥加工而成的口感酥脆的天然食品^[17], 其营养成分损失少, 适口性好, 低脂肪低热量, 较大程度地保持了果蔬原有的色、香、味。果蔬脆片作为一种新型营养休闲食品要求能

收稿日期: 2018-06-19

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(34115183)

作者简介: 贾洋洋(1994-), 男, 博士研究生, 研究方向: 天然产物化学

通讯作者: 李春美(1973-), 女, 教授, 研究方向: 天然产物化学

在常温长时间贮存,但由于其水分含量低,糖含量较高,容易吸湿返潮,因此考察其货架期及其对包装材料的要求具有现实意义。果蔬脆片食品储藏于阴凉或低温环境,其低水分、酥脆特性对包装材料有避光、防潮、防挤压、抗氧化的要求^[18]。目前常见的用于保藏脆片的包装材料主要有聚乙烯薄膜(PE)袋、聚酰胺薄膜(PA)袋、铝箔复合膜等^[19-21]。

柿果中糖含量高,导致柿子脆片极易吸湿返潮,脆性变差,且柿子中含的多酚类物质易氧化褐变,降低柿子产品的感官品质^[22]。对柿子脆片进行包装可以有效地抗压、阻气、抑氧、保鲜,同时可以长期的保持柿子脆片的色、香、味、形和营养价值,抑制微生物的生长和繁殖。柿子脆片贮藏期间色泽与脆度的变化与包装材料密切相关,因此选择防潮、阻氧性佳及抗压的包装材料、包装方式并对货架期进行预测是十分必要的,但是目前国内外关于柿子脆片的包装及在保藏条件下品质变化的研究报道较少。

本试验研究了利用不同包装形式(聚乙烯薄膜袋、聚酰胺薄膜袋、铝箔复合膜、聚酰胺薄膜袋充氮气、铝箔复合膜加除氧剂、铝箔复合膜加干燥剂)恒温密闭储藏柿子脆片对产品色泽、质构的影响,以期筛选出适合柿子脆片保藏的包装方式,并通过破坏性试验及加速货架试验,以产品 L^* 值为指标,预测25℃保藏时柿子脆片的货架期,解决柿子脆片难以长期贮藏的问题。

1 材料与方法

1.1 实验材料

聚乙烯薄膜(PE)袋、聚酰胺薄膜(PA)袋由深圳群旭塑胶材料有限公司提供;铝箔复合膜由深圳市博新城实业有限公司提供;PE袋,厚度为30 μm ,氧气透过率为7000 $\text{mL}/(\text{m}^2\text{d})$,透湿率为16 $\text{g}/(\text{m}^2\text{d})$;PA袋,厚度为15 μm ,氧气透过率为41 $\text{mL}/(\text{m}^2\text{d})$,透湿率为300 $\text{g}/(\text{m}^2\text{d})$;铝箔复合膜为PET/Al/PE复合膜,厚度为100 μm ,氧气透过率为0.13 $\text{mL}/(\text{m}^2\text{d})$,透湿率为0.48 $\text{g}/(\text{m}^2\text{d})$;干燥剂主要成分是二氧化硅,除氧剂主要成分是铁粉,购于上海威胜包装材料有限公司;恭城月柿购于武汉市白沙洲水果批发市场。

1.2 仪器与设备

MO-580 切片机,佛山市顺德区桃花岛电器有限公司;101-2AB 干燥箱,天津市泰斯特仪器有限公司;PJ21C-BF 微波炉,广东美的电器股份有限公司;SF-400 台式塑料封口机,成都启洲包装设备有限公

司;HX1002Z 型电子天平,慈溪市天东衡器厂;TAXTplus 质构仪,英国 Stable Micro Systems 公司;CR-400 色差计,柯尼卡美能达株式会社;梅特勒 MJ33 快速水分测定仪,梅特勒-托利多(常州)精密仪器有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 柿子脆片加工工艺

挑选新鲜脆柿→清洗、去柿蒂、柿叶、柿皮→切分成1 mm 厚的薄片→平铺在非金属托盘上→热风干燥(温度:70℃,时间:2.5 h)→微波干燥(微波功率密度:10.7 W/g,时间:240 s,每微波20 s 暂停微波10 s)→冷却至室温→包装

1.3.2 恒温贮藏试验

选择目前常见的包装材料,聚乙烯薄膜(PE)袋、聚酰胺薄膜(PA)袋、铝箔复合膜对柿子脆片进行包装,同时使用PA包装袋将脆片进行充氮气包装,铝箔复合膜将脆片分别与干燥剂及除氧剂包装,每种包装材料中添加20 g 柿子脆片进行密封,除氧剂及干燥剂添加量为0.5 g/袋。将6种不同包装方式的柿子脆片置于37℃恒温培养箱内进行恒温保藏试验,每隔7 d,对产品水分含量、色度及质构进行测定并比较^[23]。

1.3.2.1 水分含量

采用红外加热失重法^[24,25],将红外水分测定仪温度设为105℃,时间调至0 min,系统归零,称取大约2 g 的样品于铝盒中,放下仪器罩,按Start键开始测试,当数据基本保持不变时,按Stop键停止,记录测试结果。每种包装处理进行3次平行试验,结果取3次测定的平均值,以此反映用不同包装处理的柿子脆片的水分含量变化情况。

1.3.2.2 色差

用色差计进行测定^[26],选择CIE Lab色空间,以陶瓷标准版($X=73.06$, $Y=77.12$, $Z=80.1$)进行校正。测定 L^* 值(Lightness)、 a^* 值(Redness)及 b^* 值(Yellowness)的变化。每种包装处理进行10次平行试验,结果取10次测定的平均值,以此反映用不同包装处理的柿子脆片的色泽变化情况。

1.3.2.3 质构

质构的测定通过TAXTplus质构仪完成,参数的选择及结果的分析参考吴海虹等, Yun D 等和公丽艳^[27-29]。选择HDP/CFS球形探头进行测试,测试前速度为3.0 mm/s,测试速度为1.0 mm/s,测试后速度为10.0 mm/s。随机抽取10组样品进行测定,结果取10次测定的平均值。仪器自动测定应力并给出应力随时间变化的曲线,经仪器自带Exponent软件分析,得到

脆片的硬度、破裂时间、脆裂用功 3 个指标作为质构分析结果。

1.3.3 破坏性试验

将柿子脆片暴露于空气中，每天进行感官评价并测其色度值，感官评价标准见表 1，评价标准参考李春美等^[30]。

表 1 柿子脆片感官评价标准

Table 1 The sensory evaluation standard of persimmon chips

项目	满分	评分规则	得分
色泽	15	色泽金黄，富有光泽	11~15分
		色泽比较金黄，光泽较好	6~10分
		色泽暗黄，光泽暗淡	1~5分
表面	15	表面细腻光滑，无流塘	11~15分
		表面比较光滑，有轻微流塘	6~10分
		表面粗糙，流塘严重	1~5分
酸甜比	10	酸甜比例适宜，口感佳	8~10分
		酸甜比比较合适，口感较好	4~7分
		酸甜比不适宜，有不愉快酸味或甜味	1~3分
杂质	10	无肉眼可见杂质	8~10分
		稍有杂质	4~7分
		杂质较多较明显	1~3分
粘性	10	不粘牙或口	8~10分
		轻微粘牙粘口	4~7分
		易轻微粘牙粘口	1~3分
弹性	10	富有弹性	8~10分
		略有弹性	4~7分
		基本无弹性	1~3分
咀嚼度	10	富有咀嚼，有韧性	8~10分
		比较有嚼劲	4~7分
		不耐嚼，无韧性	1~3分
组织结构	5	切面光滑整齐，无气泡	4~5分
		切面比较整齐，少量气泡	2~3分
		切面粗糙不齐，气泡多、大	1分
硬度	10	软硬适宜	8~10分
		稍软或者稍硬，不影响咀嚼	4~7分
		太硬或者太软难以咀嚼或无法咀嚼	1~3分
柿香气	5	柿香气浓郁	4~5分
		比较具有柿香气	2~3分
		基本无柿香气	1分

感官评价遵循 Weilbull Hazard 原则^[31]，为接受性判断，感官评价员由 8 名经验丰富（男女各半），年龄 20~28 岁之间的健康成年人组成，当超过半数的感官评定人员否定时判定感官失效，此时的 L^* 值则是临界

L^* 值，即为产品货架期终点^[32]。

1.3.4 加速货架试验

通过加速货架试验(ASLT, Accelerated shelf life testing)测定产品色泽的变化，将 PA(充 N_2) 包装的柿子脆片分别置于 37 °C 及 47 °C 保藏条件下，使色泽变化速率加快，以 L^* 值为指标，每隔 5 d 测定 L^* 值的变化，当其达到破坏性试验所得临界 L^* 值时停止试验^[33~35]。运用 Origin 软件对数据进行回归分析， L^* 值随时间的变化符合一级动力学模型。一级动力学方程如下： $c=c_0\exp(-kt)$

c 表示 t 时 L^* 值； c_0 表示起始 L^* 值； k 表示一级反应速率常数， d^{-1} ； t 表示贮藏时间， d 。

根据 37 °C 和 47 °C 贮藏条件下的反应速率常数，计算 Q_{10} 值，预测 25 °C 贮藏时柿子脆片的货架寿命。

1.4 数据处理

使用 SPSS 19.0 进行显著性分析，使用 Origin 8.5 作图及回归分析。结果以平均值 \pm 标准差表示， $p < 0.05$ 表示具有显著性。

2 结果与讨论

2.1 贮藏期间不同包装材料对柿子脆片品质的影响

2.1.1 水分含量

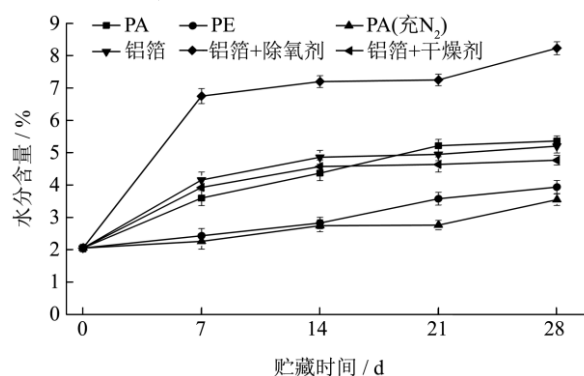


图 1 不同包装处理对柿子脆片水分含量的影响

Fig.1 Effect of different packaging forms on moisture content of persimmon chips

水分含量会影响柿子脆片的稳定性、微生物的存活与生长等，水分含量过高会降低柿子脆片的品质(如褐变、加速氧化等)，GB/T 23787-2009^[36]规定非油炸水果、蔬菜脆片水分含量应低于 5%，图 1 所示为贮藏期间不同包装处理对柿子脆片水分含量的影响。柿子脆片水分含量在贮藏 1~2 周时趋于平缓，PA 袋、铝箔复合膜和铝箔复合膜添加除氧剂包装的柿子脆片的

水分含量在贮藏第 4 周时水分含量高于 5%，不符合国标的要求。PE 袋、铝箔复合膜添加干燥剂的柿子脆片在贮藏第四周时水分含量分别为 3.94% 和 4.76%，是一种较好的柿子脆片包装方式。PA 袋(充 N₂)包装的柿子脆片水分含量最低，上升趋势最慢。

2.1.2 色度

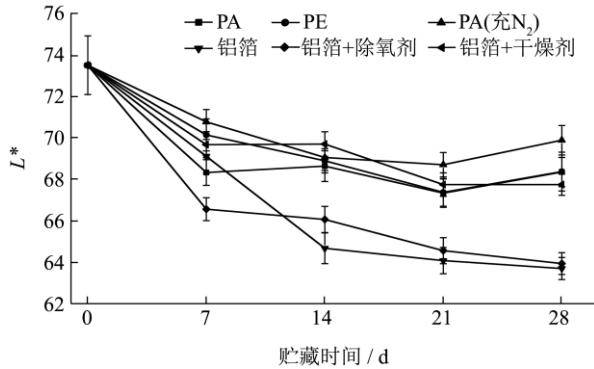


图 2 不同包装处理对柿子脆片 L* 值的影响

Fig.2 Effect of different packaging treatments on L* value of persimmon chips

色差 L* 值(Lightness, 亮度)反应的是产品的亮度, 其在 0~100 范围内变化, 0 表示黑色, 100 表示白色。a* 值(Redness)为红绿值, a*=0 时为灰色, a*>0 时, 取值越大颜色越红, a*<0 时, 其绝对值越大颜色越绿。b* 值(Yellowness)表示黄蓝值, b*>0 时, 取值越大颜色越黄, b*<0 时, 其绝对值越大颜色越蓝。由图 2 可知, 贮藏期间柿子脆片的 L* 值逐渐降低, 约在贮藏两周时趋于平缓。与铝箔复合膜包装的柿子脆片相比, 使用 PA 袋、PE 袋包装的柿子脆片在亮度保持方面效果较好, PA 袋(充 N₂)包装的柿子脆片的 L* 值下降速率最慢, 铝箔复合膜包装的柿子脆片的 L* 值下降速度最快, 其原因可能是 PA 袋(充 N₂)包装可以有效隔绝空气中的氧气和水分, 降低了产品色泽变化速率, 而铝箔包装的产品可能存在柿子脆片部分吸潮后与铝箔结合, 导致色泽加深。铝箔复合膜与铝箔复合膜添加干燥剂和除氧剂包装的柿子脆片的处理组间 L* 值差异显著(p<0.05), 与普通铝箔复合膜包装的柿子脆片相比, 加入干燥剂可以显著抑制柿子脆片 L* 值的降低, 说明空气中的水分湿度对柿子脆片亮度的影响较大。

如图 3 所示, 不同包装处理的柿子脆片 a* 值变化较小, 在贮藏三周时趋于平缓, PE 袋包装的柿子脆片 a* 值下降速率最快。PA 袋(充 N₂)和铝箔复合膜包装的柿子脆片 b* 值差异不显著, 其余各处理间差异显著(p<0.05), 贮藏期间柿子脆片的 b* 值逐渐降低, 一到两周后趋于平缓。综合分析柿子脆片的色泽(L*, a*, b* 值)变化, 铝箔复合膜加入干燥剂包装及 PA 袋(充 N₂)包装对柿子脆片色泽保护较好。

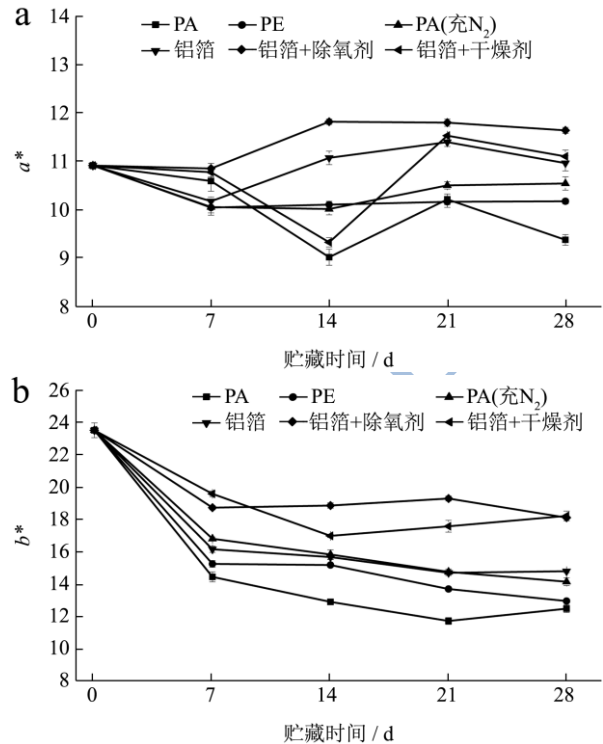


图 3 不同包装处理对柿子脆片 a* 值和 b* 值的影响

Fig.3 Effect of different packing forms on the a* and b* value of persimmon chips

2.1.3 硬度

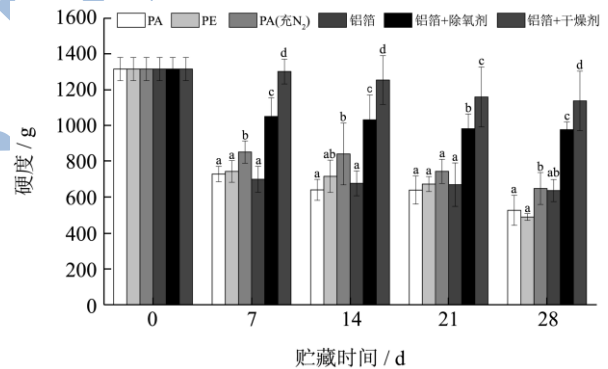


图 4 不同包装方式对柿子脆片硬度的影响

Fig.4 Effect of Effect of different packaging treatments on the firmness of persimmon chips

注: 图中同一时间(d)标示的不同小写字母表示差异显著(p<0.05)。

如图 4 所示, 不同包装处理的柿子脆片在保藏过程中的硬度变化存在显著差异。柿子脆片的硬度值为质构测定中应力随时间变化的曲线中力的峰值, 即样品断裂所需要的最大力, 产品越硬, 数值越大。由图 4 可知, 柿子脆片硬度值呈下降趋势, 可能与空气中的水蒸气及氧气进入包装材料同柿子脆片接触有关。保藏期间 PA 袋包装、PE 袋包装及铝箔复合膜包装的柿子脆片硬度值没有显著性差异(p>0.05), 说明 PE 袋、PA 袋和铝箔复合膜这三种包装材料对于保持柿子脆

片硬度的作用差别不大。保藏期间 PA 袋(充 N₂)包装的柿子脆片硬度值较高,与 PE 袋、PA 袋和铝箔复合膜三种包装材料相比降低趋势最小,说明 PA 袋(充 N₂)包装对维持柿子脆片的硬度有一定的作用,是一种较好的包装方式。铝箔复合膜加干燥剂和铝箔复合膜加除氧剂包装的柿子脆片在第四周时的硬度值分别降低 13.58%和 25.74%,降低趋势较小,与铝箔复合膜包装的柿子脆片硬度值存在显著性差异($p<0.05$),说明铝箔复合膜加干燥剂和除氧剂的包装保持柿子脆片硬度性能较好。

2.1.4 破裂时间及脆裂用功

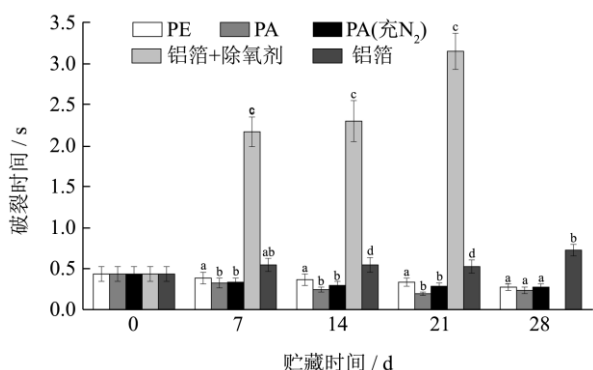


图 5 不同包装方式对柿子破裂时间的影响

Fig.5 Effect of different packing forms on the rupture time of persimmon chips

注: 图中同一时间(d)标示的不同小写字母表示差异显著 ($p<0.05$)。

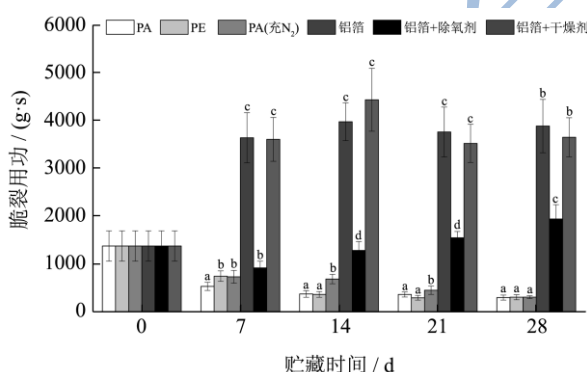


图 6 不同包装方式对柿子脆片脆裂用功的影响

Fig.6 Effect of different packing forms on the rupture energy of persimmon chips

注: 图中同一时间(d)标示的不同小写字母表示差异显著 ($p<0.05$)。

破裂时间为质构测定中应力随时间变化的曲线中样品断裂所需要的时间,单位为 s,时间越短说明样品破裂越迅速,样品脆性越好;脆裂用功表示探头对样品完成一次破坏所消耗的能量,单位为 g s,破裂用功越少,样品脆性越好。

由图 5 及图 6 可知,PE 袋、PA 袋和 PA 袋(充 N₂)

三种包装方式包装的柿子脆片的破裂时间和脆裂用功值相差较小,而铝箔复合膜、铝箔复合膜加干燥剂和铝箔复合膜加除氧剂三种包装方式所包装的柿子脆片的破裂时间和脆裂用功均明显高于 PE 袋、PA 袋和 PA 袋(充 N₂)包装的产品,即脆性较差。铝箔复合膜包装的柿子脆片在第四周时已无破裂时间得数,在质构测定过程中未出现脆裂,说明铝箔复合膜包装的柿子脆片在贮藏第四周时已基本无脆性,而铝箔复合膜加除氧剂包装的柿子脆片在第一周就已经失去脆性。

房修珍^[37]的研究结果表明,在恒温贮藏试验过程中,PE 袋及聚二氯乙烯袋(PVDC)包装的青虾产品水分含量从 6%升高到 8%,在脂肪氧化和美拉德反应的作用下,产品的 L*值在保藏过程中逐渐降低。齐琳琳的研究结果表明^[38],37 °C 贮藏期间香菇脆片的 L*值逐渐降低, a*和 b*值均略有升高,但变化较小,这些变化都与本研究结果相近。产品包装后品质的变化与包装材料本身的阻气阻水性密不可分,充氮气包装的柿子脆片水分含量变化较小, L*值降低较慢,硬度较小且脆性良好,在贮藏期间对保持产品品质有较好的作用。康巧娟^[39]的研究结果表明,充氮包装的紫甘薯脆片硬度比普通包装和真空包装的低。房修珍的研究结果表明,充氮气包装产品的水分含量及水分活度均低于未充氮包装的产品,且其 L*值的降低最小,说明其能较好的隔绝氧气,延缓产品褐变。

2.1.5 贮藏期间柿子脆片水分含量与硬度及脆度的关系

水分含量是影响农产品脆片加工的重要因素之一,水分含量过高,脆片酥脆度低,保质期短;而水分含量过低则会直接导致脆片干硬,口感差。柿子脆片水分含量在贮藏 1~2 周时趋于平缓,贮藏后期硬度及脆度变化较小。本研究对样品质构指标的测定为仪器自动测定应力并给出应力随时间变化的曲线,硬度值为曲线中力的峰值,即样品断裂所需要的最大力。热风-微波联合干燥的柿子脆片在贮藏前的水分含量较低,约为 2%,脆片干硬。贮藏期间铝箔+除氧剂包装的柿子脆片水分含量相对较高,而柿果中糖含量较高,脆片吸潮后断裂相对困难,故有相对较大的硬度值。贮藏期间铝箔+除氧剂包装的柿子脆片水分含量相对较高,在贮藏过程中脆度较差,在第一周时进行质构测定就已将失去了脆性。PE 袋包装的柿子脆片水分含量较低,贮藏期间与 PA、PA(充 N₂)及铝箔包装的柿子脆片硬度值差异较小,且 PE 袋包装的柿子脆片脆性较好。水分含量会影响脆片产品的硬度及酥脆度,因为柿果中糖含量较高,单一的硬度值及脆度值无法反应柿子脆片整体的质构及口感等,因此应将贮

藏期间柿子脆片的水分含量与硬度和脆度综合考虑。

2.1.6 贮藏期间柿子脆片 L^* 值变化与质构变化相关性分析

通过对不同包装的柿子脆片在保藏过程中 L^* 值的变化与反应柿子脆片质构的三个指标硬度、破裂时间及脆裂用功进行相关性分析, 研究结果表明除铝箔复合膜包装的柿子脆片硬度及脆裂用功与 L^* 值相关性不显著外($p>0.05$), 不同包装的柿子脆片在保藏过程中 L^* 值的变化与反应柿子脆片质构指标的相关性均显著($p<0.05$), 相关性高, 其中 PE 袋包装的柿子脆片 L^* 值与脆裂用功的相关性极显著($p<0.01$)。综上可得: 柿子脆片保藏过程中 L^* 值与柿子脆片的质构特性(硬度、破裂时间及脆裂用功)具有强相关性, 可以采用

L^* 值预测保藏过程中柿子脆片硬度及脆度的变化。

2.2 破坏性试验

感官评价遵循 Weibull Hazard 原则, 感官评定人员对产品进行评价, 当感官评分高于 60 分时, 认为产品可接受, 以“+”表示, 不可接受则以“-”表示。当超过半数感官评定人员表示不可接受时, 判定感官评价失败, 试验终止。由表 3 可知, 柿子脆片暴露于空气中, L^* 值逐渐降低, 每隔 5 d 测定的产品 L^* 值均存在显著性差异, 当产品暴露于空气中 20 d 时, 有 5 位感官评定人员表示不可接受, 此时所测得的 L^* 值为 64.56, 因此将 L^* 值 64.56 定为产品的货架期测定终点。

表 2 不同包装方式的柿子脆片 L^* 值与质构指标的相关性分析

Table 2 Correlation analysis of L^* value and texture index of persimmon chips with different packaging forms

质构指标	L^* 值					
	PE 袋	PA 袋	PA 袋(充 N_2)	铝箔复合膜	铝箔复合膜加除氧剂	铝箔复合膜加干燥剂
硬度/g	0.956*	0.925*	0.894*	0.746	0.942*	0.839*
破裂时间/s	0.782	0.900*	0.943*	-0.924*	0.894*	-
脆裂用功/(g s)	0.972****	0.910*	0.872*	-0.715	-	-0.783

注: “-”未检测到; “***”在 0.01 水平(双侧)上显著相关, “**”在 0.05 水平(双侧)上显著相关。

表 3 破坏性试验样品的感官评价结果

Table 3 Sensory evaluation results of destructive test samples

天数/d	感官评价								L^* 值	
	个体描述				整体描述					
1	+	+	+	+	+	+	+	+	接受	71.46±0.99 ^a
3	+	+	+	+	+	+	+	+	接受	70.22±0.23 ^a
5	+	+	+	+	+	+	+	-	接受	69.10±0.28 ^b
10	+	+	+	+	+	+	-	-	接受	66.96±0.30 ^c
15	+	+	+	+	+	-	-	-	接受	65.61±0.65 ^d
20	+	+	+	-	-	-	-	-	不接受	64.56±0.62 ^e

2.3 加速货架试验

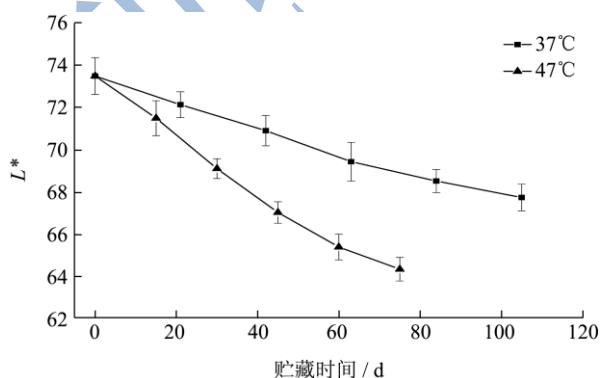


图 7 柿子脆片 L^* 值在不同温度下贮藏时的变化

Fig.7 The change of L^* value of persimmon chips at different storage temperature

由图 7 可知, 柿子脆片的 L^* 值随着贮藏时间的延长而下降, 且贮藏温度越高, L^* 值下降越快。柿子脆片在 47 °C 下贮藏 75 d 时, L^* 值下降到 64.32, 到达终点。

食品货架期的加速试验主要是针对货架期较长的产品, 把产品暴露在较激烈的条件下, 并在短于真正货架期的时间内, 通过加快其反应的进行速度, 预测和判定产品实际的货架期^[40]。对果蔬产品贮藏过程中品质变化的研究常采用动力学模型的方法^[41], 目前, 加速货架寿命试验(ASLT, Accelerated Shelf-Life Testing)是应用最广泛的方法之一^[42], 食品质量的损失以期望的品质指标的损失或不期望的品质指标的形成来表示, 大多数食品的品质变化符合 0 级或 1 级动力学模型^[43]。

由表 4 可知, 37 °C 及 47 °C 贮藏温度下 L^* 值变化动力学模型的决定系数均大于 0.98, 柿子脆片 L^* 值的变化符合一级动力学模型, 37 °C 贮藏时 L^* 值预测模型为: $y=73.30622e^{-0.00079x}$, 47 °C 贮藏时 L^* 值预测模型为: $y=73.05771e^{-0.0180x}$ 。将速率常数带入公式 $Q_{10}=k_{47}/k_{37}$, 求得 Q_{10} 为 2.28, 带入公式 $t_{25^{\circ}\text{C}}=t_{47^{\circ}\text{C}}\times Q_{10}^{(47-25)/10}$, 求得 25 °C 贮藏时柿子脆片的货架期约为 460 d, 货架期较长, 可适应市场需求。齐琳琳的研究表明, 以 L^* 值为指标时, 香菇脆片货架期为 470 d, 与本研究结果近。

表 4 柿子脆片在不同贮藏温度下 L^* 值变化动力学模型参数

Table 4 Kinetic model parameters of L^* value of persimmon chips at different storage temperature

贮藏温度/°C	初始值 c_0	反应速率常数/($k\ d^{-1}$)	决定系数 R^2
37	73.31	0.00079	0.9912
47	73.06	0.0180	0.9813

3 结论

不同包装形式(聚乙烯薄膜袋、聚酰胺薄膜袋、铝箔复合膜、聚酰胺薄膜袋充氮气、铝箔复合膜加除氧剂、铝箔复合膜加干燥剂)的柿子脆片在贮藏期间水分含量、色差(L^* 、 a^* 、 b^* 值)、硬度及脆度表现不同。PA 袋(充 N_2)包装的柿子脆片水分含量变化较小, 总体色差变化较小, 硬度较小且脆性良好, 对保持产品品质作用较好, 保藏效果优于 PA 袋、PE 袋、铝箔复合膜、铝箔复合膜加干燥剂及铝箔复合膜加除氧剂包装处理的柿子脆片。通过加速货架试验将 PA 袋(充 N_2)包装的柿子脆片分别置于 37 °C 及 47 °C 贮藏条件下测定产品 L^* 的变化情况, 预测 25 °C 时柿子脆片的货架期约为 460 d。聚酰胺(PA)因其主链上的强极性酰胺基团可形成氢键, 能使分子间作用力增大, 具有较好的阻气性, 且其化学稳定性好, 耐油类、溶剂及稀酸等, 同时充氮包装能较好的隔绝氧气, 延缓产品褐变。因此采用 PA 袋(充 N_2)的包装方式可以长期保藏柿子脆片, 为柿果的深加工开辟新的途径。

参考文献

[1] 高山. 柿子的营养价值及其利用[J]. 山西果树, 2015, 1: 10-12
GAO Qing-shan. The nutritional value of persimmon and its utilization [J]. Shanxi Fruits, 2015, 1: 10-12

[2] Dong X Q, Zou B, Zhang Y, et al. Preparation of A-type proanthocyanidin dimers from peanut skins and persimmon pulp and comparison of the antioxidant activity of A-type and B-type dimers [J]. Fitoterapia, 2013, 91(10): 128-139

[3] Chen J, Xu Z, Zhu W, et al. Novel proanthocyanidin dimer analogues with the C-ring-opened diaryl-propan-2-gallate structural unit and enhanced antioxidant activities [J]. Journal of Functional Foods, 2016, 21: 290-300

[4] Tian Y, Zou B, Li C, et al. High molecular weight persimmon tannin is a potent antioxidant both *ex vivo* and *in vivo* [J]. Food Research International, 2012, 45(1): 26-30

[5] 田燕, 邹波, 董晓倩, 等. 不同聚合度柿子单宁的体内外抗氧化作用[J]. 食品科学, 2013, 34(13): 54-60
TIAN Yan, ZOU Bo, DONG Xiao-qian, et al. Antioxidation in vitro and in vivo of persimmon tannin with different degree of polymerization [J]. Food Science, 2013, 34(13): 54-60

[6] Zou B, Ge Z Z, Zhu W, et al. Persimmon tannin represses 3T3-L1 preadipocyte differentiation via up-regulating expression of miR-27 and down-regulating expression of peroxisome proliferator-activated receptor- γ in the early phase of adipogenesis [J]. European Journal of Nutrition, 2015, 54(8): 1333-1343

[7] Zou B, Ge Z Z, Zhang Y, et al. Persimmon tannin accounts for hypolipidemic effects of persimmon through activating of AMPK and suppressing NF- κ B activation and inflammatory responses in high-fat diet rats [J]. Food & Function, 2014, 5(7): 1536-1546

[8] Zou B, Nie R Z, Zeng J, et al. Persimmon tannin alleviates hepatic steatosis in L02 cells by targeting miR-122 and miR-33b and its effects closely associated with the A type ECG dimer and EGCG dimer structural units [J]. Journal of Functional Foods, 2014, 11: 330-341

[9] Kim L, Kwon O, Kim J Y. Comparison of protective effects of young and ripened persimmon extracts against inflammatory stress induced by deoxycholic acid in small intestinal cells [J]. Journal of the Korean Society of Food Science & Nutrition, 2015, 44(10): 1583-1587

[10] Yang J, Zhong L, Zou B, et al. Spectroscopic investigations on the binding of persimmon tannin to phospholipase A 2, from Chinese cobra(*Naja naja atra*) [J]. Journal of Molecular Structure, 2012, 1008(1008): 42-48

[11] Li C M, Zhang Y, Yang J, et al. The interaction of a polymeric persimmon proanthocyanidin fraction with Chinese cobra PLA2 and BSA [J]. Toxicon Official Journal of the International Society on Toxinology, 2013, 67(6): 71-79

[12] 刘滔, 朱维, 李春美. 我国柿子加工产业的现状与对策[J]. 食品工业科技, 2016, 37(24)
LIU Tao, ZHU Wei, LI Chun-mei. Present situation and

- countermeasures of persimmon processing industry in China [J]. Science and Technology of Food Industry, 2016, 37(24)
- [13] 黄隆胜,刘军,龚丽,等.柿饼热泵干制工艺试验研究[J].现代农业装备,2017,4:17-19
HUANG Long-sheng, LIU Jun, GONG Li, et al. Experimental study on the drying process of heat pump with persimmon [J]. Modern Agricultural Equipments, 2017, 4: 17-19
- [14] 龚国利,黄宇莹.一种柿子稠酒的酿造方法, CN104560520A [P].2015
- [15] 马长路,刘小飞,罗红霞,等.发酵柿子酒的研究进展[J].酿酒科技,2016(5):96-98
MA Chang-lu, LIU Xiao-fei, LUO Hong-xia, et al. Research progress in persimmon wine [J]. Liquor-Making Science and Technology, 2016, 5: 96-98
- [16] 田璐,汪立平.利用柿子皮混菌发酵制备果醋及品质分析[J].食品科学,2016,37(19):197-203
TIAN Lu, WANG Li-ping. Mixed culture fermentation and quality analysis of persimmon peel vinegar [J]. Food Science, 2016, 37(19): 197-203
- [17] 李志雅,李清明,苏小军,等.果蔬脆片真空加工技术研究进展[J].食品工业科技,2015,36(17):384-387
LI Zhi-ya, LI Qing-ming, SU Xiao-jun, et al. Research progress in vacuum processing technology of fruit and vegetable chips [J]. Science and Technology of Food Industry, 2015, 36(17): 384-387
- [18] 陈文华,金敬红,孙晓明.果蔬脆片的包装与储藏[J].中国野生植物资源,2015,4:77-80
CHEN Wen-hua, JIN Jing-hong, SUN Xiao-ming. Discuss about the packaging and storage of FVCS [J]. Chinese Wild Plant Resources, 2015, 4: 77-80
- [19] 杨亚楠.PA66/12I、PA66/12T、PA66/12N 共聚尼龙的合成及阻隔性研究[D].郑州:郑州大学,2011
YANG Ya-nan. Synthesis and barrier properties of PA66/12I、PA66/12T、PA66/12N copolyamides [D]. Zhengzhou: Zhengzhou University, 2011
- [20] 刘国信.铝箔复合包装材料的开发应用[J].中国包装,2005, 25(2):84-85
LIU Guo-xin. Development and application of aluminum foil composite packaging materials [J]. China Packing, 2005, 25(2): 84-85
- [21] Marsh K, Bugusu B. Food packaging-roles, materials, and environmental issues [J]. Journal of Food Science, 2007, 72(3): R39-R55
- [22] 蒲飞.柿果实酚类物质含量、生物活性及其相关酶的研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2014
PU Fei. Study on content, biological activity and related enzymes of phenolics in persimmon (*Diospyros Kaki*) fruit [D]. Yangling: Northwest Agriculture and Forestry University, 2014
- [23] Tsami E, Katsioti M. Drying kinetics for some fruits: Predicting of porosity and color during dehydration [J]. Drying Technology, 2000, 18(7): 1559-1581
- [24] 张民慧.红外水分测定仪原理及应用范围[J].衡器,2008,37(1):13-15
ZHANG Min-hui. Principle and application scope of infrared water content measuring instrument [J]. Weighing Apparatus, 2008, 37(1): 13-15
- [25] 张慧,乙小娟,周璐.用红外水分测定仪快速测定食品中的水分[J].食品科学,2006,27(6):17-19
ZHANG Hui, YI Xiao-juan, ZHOU Lu. Rapid determination of moisture in foodstuff with infrared moisture meter [J]. Food Science, 2006, 27(6): 17-19
- [26] Mcguire R G Reporting of objective color measurements [J]. Hortscience, 1992, 27(12): 1254-1255
- [27] 吴海虹,刘春菊,卓成龙,等.干燥工艺对香菇脆片品质的影响[J].食品科学,2013,34(24):36-39
WU Hai-Hong, LIU Chun-Ju, ZHUO Cheng-Long, et al. Effects of different drying methods on the quality of arrowhead chips [J]. Food Science, 2013, 34(24): 36-39
- [28] Yun D, Zhao Y. Effect of pulsed vacuum and ultrasound osmopretreatments on glass transition temperature, texture, microstructure and calcium penetration of dried apples (Fuji) [J]. LWT-Food Science and Technology, 2008, 41(9): 1575-1585
- [29] 公丽艳.不同品种苹果加工脆片适宜性评价研究[D].沈阳:沈阳农业大学,2014
GONG Li-yan. Research on suitability of processing chips evaluation of different variety apples [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2014
- [30] 李春美,彭进明,刘滔,等.一种柿子全果果糕及制造方法与品质检测,CN104222727A[P].2014
- [31] W S, Shimoni E, Labuza T P. Determination of the end of shelf-life for milk using Weibull Hazard method [J]. LWT-Food Science and Technology, 2001, 34(3): 143-148
- [32] Manuelangel P, Dar ó P, Pedro A, et al. Determination of shelf-life of homogenized apple-based beikost storage at different temperatures using Weibull hazard model [J]. LWT-Food Science and Technology, 2009, 42(1): 319-326
- [33] Manzocco L, Panozzo A, Calligaris S. Accelerated shelf life

- testing(ASLT) of oils by light and temperature exploitation [J]. Journal of the American Oil Chemists Society, 2012, 89(4): 577-583
- [34] Rahmi S, Ahmad U, Wulandani D. Shelf-life soybean of seed estimation using accelerated shelf-life testing (ASLT) method [J]. 2016, 04(1): 75-80
- [35] 杜鹏,罗丽华,杨昌林,等.特种发酵肉制品加速货架寿命试验研究[J].食品科技,2014,1:127-130
DU Peng, LUO Li-hua, YANG Chang-lin, et al. Accelerated shelf life test on specialized fermented meat product [J]. Food Science and Technology, 2014, 1: 127-130
- [36] GB/T 23787-2009,食品安全国家标准乳粉[S]
- [37] 房修珍.青虾风味休闲干制品工艺研究[D].无锡:江南大学, 2008
FANG Xiu-zhen. Study on technology of flavor snack dry shrimp [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2008
- [38] 齐琳琳.以干香菇为原料的香菇脆片加工工艺研究[D].无锡:江南大学,2013
QI Lin-lin. Study the processing of *Lentinus Edodes* crisps using dried *Lentinus Edodes* as raw materials [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2013
- [39] 康巧娟.紫甘薯真空油炸工艺研究[D].杭州:浙江工商大学, 2012
KANG Qiao-juan. Technical study of vacuum-fried purple sweet potato [D]. Hangzhou: Zhejiang Gongshang University, 2012
- [40] 王辉,孙琦,刘鹭,等.UHT 乳货架期预测模型的建立及检验 [J].中国农业科学,2013,46(3):586-594
WANG Hui, SUN Qi, LIU Lu, et al. Establishment and test of prediction model for UHT milk shelf life [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2013, 46(3): 586-594
- [41] 王盼,张坤生,任云霞.香菇贮存中品质变化动力学模型及货架期的预测[J].食品工业科技,2012, 33(20):313-316
WANG Pan, ZHANG Kun-sheng, REN Yun-xia. Kinetic model of quality change and prediction of the shelf-life of stored mushroom [J]. Science and Technology of Food Industry, 2012, 33(20): 313-316
- [42] 吕志勇.UHT 乳脂肪上浮控制技术研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2009
LV Zhi-yong. Control of fat separation in UHT milk [D]. Yangling: Northwest Agriculture and Forestry University, 2009
- [43] Boekel M A J S V. Kinetic Modeling of Food Quality: A Critical Review [J]. Comprehensive Reviews in Food Science & Food Safety, 2008, 7(1): 144-158