

包装材料对温州蜜柑贮藏品质的影响

孙国辽, 陈红*, 李善军, 张衍林, 熊俊强, 邵显, 夏彬芸

(华中农业大学工学院, 武汉 430070)

摘要:为确定适宜温州蜜柑贮藏期包装的薄膜材料,达到防止贮藏期柑橘交叉感染,降低腐烂率,保持柑橘良好感官品质的目的,以商业成熟度的温州蜜柑为实验材料,研究室温贮藏条件下,聚乙烯(polyethylene, PE)、聚氯乙烯(polyvinyl chloride, PVC)、聚丙烯(oriented polypropylene, OPP)三种常用包装材料对其贮藏品质的影响。定期测定温州蜜柑在贮藏期间感官综合评价、失重率、糖酸比、维生素C含量、CO₂浓度、菌落总数、质构剖面分析(texture profile analysis, TPA)等指标的变化情况。用主成分分析法将原始指标划分为6个主成分因子,累计贡献率为91.186%。利用构建的综合评价模型,计算综合评价指数 F 值。结果表明,不同薄膜包装材料对温州蜜柑贮藏期保鲜程度不同;PE薄膜在保持温州蜜柑的感官品质、抑制水分流失、保持较高的糖酸比和较低的CO₂浓度等方面优于PVC薄膜和OPP薄膜;综合评价 F 值排序为:PE膜>OPP膜>PVC膜,故PE膜可首选为温州蜜柑贮藏的保鲜材料。上述结果为今后温州蜜柑的贮藏保鲜和柑橘包装机械的研究提供应用依据和理论参考。

关键词:温州蜜柑;包装材料;主成分分析;综合品质

doi:10.13304/j.nykjdb.2018.0438

中图分类号:S377

文献标识码:A

文章编号:1008-0864(2019)04-0104-10

Effects of Packaging Materials on Storage Quality of *Citrus unshiu*

SUN Guoliao, CHEN Hong*, LI Shanjun, ZHANG Yanlin, XIONG Junqiang,
SHAO Xian, XIA Binyun

(College of Engineering, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract: In order to determine the suitable film materials for the storage of *Citrus unshiu*, and prevent the cross infection of citrus fruit during storage period, reduce the decay rate and maintain the good sensory quality of *Citrus unshiu*, this article used the commercial maturity of *Citrus unshiu* as experimental material to study the effects of three commonly used packaging materials, including polyethylene (PE), polyvinyl chloride (PVC), and oriented polypropylene (OPP), on the quality during their storage period. The changes of comprehensive sensory evaluation, weight loss rate, sugar-acid ratio, vitamin C content, CO₂ content, total bacteria colonies, texture profile analysis (TPA) and the other indicators of *Citrus unshiu* were measured regularly during storage period. The original indicators were integrated into 6 principal component factors by using principal component analysis. The cumulative contribution rate was 91.186%. A comprehensive evaluation model was used to calculate the comprehensive evaluation index F value. The results showed that different film packaging materials had different preservation levels for *Citrus unshiu* during storage. The F value was sorted as PE>OPP>PVC. PE was better than OPP and PVC in keeping the sensory qualities of *Citrus unshiu* and suppressing water loss and keeping a high ratio of sugar to acid and lower concentration of carbon dioxide. Above results provided the application basis and theoretical reference for the study of storage and preservation of *Citrus unshiu* and *Citrus* packaging machinery in the future.

Key words: *Citrus unshiu*; packaging material; principal component analysis; comprehensive quality

收稿日期:2018-07-23; 接受日期:2018-08-29

基金项目:国家重点研发计划项目(2017YFD0701400);国家现代柑橘产业技术体系专项(CARS-27)资助。

作者简介:孙国辽,硕士研究生,主要从事农业工程研究。E-mail: 13554236636@163.com。* 通信作者:陈红,副教授,博士,主要从事农产品加工技术与装备研究。E-mail: chen hong@mail.hzau.edu.cn

我国柑橘栽培面积和产量均居世界第一^[1]。温州蜜柑(*Citrus unshiu*)是宜昌市主要柑橘栽培类型,2016年该市产量为239.36万t,占全国总产量的67.5%。温州蜜柑采收期相对集中,每年需要贮藏果品年产量的30%~40%以调节市场。柑橘贮藏保鲜水平低,则贮藏过程中极易受青霉和绿霉等霉菌的侵染,腐烂严重,腐烂损失率可高达40%~50%^[2]。目前柑橘防腐保鲜普遍依赖化学防腐剂和保鲜剂,部分病原菌对此类化学保鲜剂已产生不同程度的抗性。薄膜袋包装贮藏可以防止交叉感染,降低腐烂率,故在贮藏工艺流程中可通过对柑橘包装处理来降低损失。

近年来,对于柑橘类水果的采后保鲜贮藏研究,侧重在不同透性的包装薄膜上。如胡西琴等^[3]研究了厚度为0.008~0.04 mm的聚乙烯(polyethylene, PE)薄膜袋包装对柑橘贮藏效果的影响,结果表明不同厚度薄膜对锦橙(*Citrus sinensis* Osbeck)、椪柑(*Citrus reticulata* Blanco)贮藏效果影响不大,贮藏尾张温州蜜柑(*Citrus unshiu* Marc.)则以0.02 mm薄膜袋较佳。黄复瑞等^[4]进行了0.005~0.02 mm厚度的PE薄膜在温州蜜柑中的应用效果研究,结果表明较适合柑橘贮藏包装的PE薄膜厚度为0.02 mm。解淑慧等^[5]研究了1%纳米抗菌剂的纳米保鲜包装袋对柑橘采后贮藏品质的影响及其对人工接种真菌病害的影响,结果表明这一新型材料可以有效延长柑橘贮藏期。目前对柑橘的采后薄膜贮藏保鲜研究较少,且这些研究中对柑橘品质的评判指标相对较少,包括呼吸强度、糖、酸、Vc含量、腐烂率和大致的外观色泽方面,但在具体的感官评价、质构剖面分析(texture profile analysis, TPA)和剪切试验方面做的较少,对于所用的包装薄膜很少做阻水性能和氧气透过率分析,且对于多种指标也未构建综合评价模型进行综合评价。因此不能较直观地反应出不同包装材料对温州蜜柑贮藏期保鲜效果的差异。

本文以温州蜜柑为研究对象,研究PE、聚氯乙烯(polyvinyl chloride, PVC)及聚丙烯(oriented polypropylene, OPP)三种包装对温州蜜柑贮藏期品质的影响,通过对温州蜜柑感官评价、失重率、质构剖面分析、剪切试验、Vc含量、CO₂浓度、菌落总数等指标的测定,旨在找出更适合温州蜜柑贮藏的薄膜材料,为今后温州蜜柑的贮藏保鲜提

供理论依据,还将为柑橘包装机械的研究和应用提供一定的参考。

1 试验材料与方法

1.1 试验材料

温州蜜柑购于湖北光霞果批大市场,购买当天立即运回实验室,挑选重量为 143 ± 10 g、表面呈橙黄色、硬度较大、八成成熟度且无机械损伤和无病虫害的果实用于试验。PE薄膜:30 cm×30 m,飞达包装材料有限公司。PVC薄膜:50 cm×100 m,广州市时兴包装材料机械有限公司。OPP薄膜:50 cm×200 m,东莞市博卡包装材料有限公司。

1.2 仪器设备

气相色谱仪(GC9790 II,浙江福立分析仪器有限公司);质构仪(TMS-PRO,美国FTC公司);手持折光计(PAL-1 Refractometer,美国ATAGO公司);气体渗透仪(VAC-V1,济南兰光机电技术有限公司);高速离心机(Optima Max-Xp,美国贝克曼原尔特公司);生化培养箱(LRH-800F,上海一恒科技有限公司);超净工作台(DL-CJ-1NDII,北京东联哈尔仪器制造有限公司);水蒸气透过率测试仪(MOCON PERMATRAN-W 1/20G,北京丹贝尔仪器有限公司)。

1.3 试验方法

1.3.1 原材料处理 将温州蜜柑随机分组,设置3个包装处理,分别装入由尺寸为25 cm×30 cm的PE、PVC及OPP薄膜制成的包装袋中,封口包装,先抽空包装袋内气体,再用注射器注入等量100 mL空气,无包装的为对照组(CK)。每个处理25个温州蜜柑,每次随机取出5个温州蜜柑测定相关指标的变化,每6 d测定一次^[6]。

为减少因温州蜜柑初始重量不同带来的误差,另取20个温州蜜柑,每组5个,包装方式同上,每隔6 d测定重量,计算失重率。

储藏环境条件设置为:相对湿度80%~95% RH;温度 $10\pm 2^{\circ}\text{C}$ 。

1.3.2 膜的性能指标测试 阻水性能采用水蒸气透过率测试仪进行测试,样本尺寸为25 cm×30 cm。测试条件为:相对湿度差75%,温度 25°C ,气压0.21~0.23 MPa。氧气透过率采用气体渗透仪

进行测试,测试面积为 25 cm×30 cm,温度为室温,气源压力为 0.5 MPa。每个样品平行试验 3 次,取平均值。

1.3.3 感官评价 参照 Obenland 等^[7]方法对食品进行感官评价。感官评价小组由 10 位经验丰富的成员组成,经培训后分别对温州蜜柑的色泽、质地、气味 3 个方面进行评价,每个样品重复三次,取平均值,规定色泽和质地各占 40% 的权重,气味占 20% 的权重。具体评分标准参照赵镭等^[8]方法。

1.3.4 指标测定 失重率采用称重法测定^[9],按照公式计算,三次重复。

失重率=(初始质量-贮藏后质量)/初始质量×100%

采用手持折光仪和酸碱中和滴定法分别测定果实总糖和可滴定酸含量^[10],用公式计算糖酸比,三次重复。

糖酸比=可溶性固形物含量/可滴定酸含量×100%

Vc 含量的测定参考冯双庆^[11]的 2,6-二氯酚测定法。

菌落总数参照 GB 4789.2-2010 食品安全国家标准^[12]进行检测。

1.3.5 包装袋内顶空 CO₂ 体积分数测定 每隔 6 d 用注射器抽取 1 mL 包装袋内的顶空样气,3 组重复,利用气相色谱仪(色谱条件: FID 检测器,柱温 80℃,气化室温度 150℃,转化炉温度 380℃; N₂ 压力 0.05 MPa, H₂ 压力 0.04 MPa, 空气压力 0.05 MPa) 对包装袋内 CO₂ 体积分数进行测定,每组样品测定 3 次,用外标法定量。

1.3.6 TPA 和剪切实验方法 参照纪宗亚^[13]的方法,利用 TMS-PRO 质构仪对温州蜜柑果实进

行质构剖面分析。将果实剥皮后水平置于质构仪试验台上,采用 P100/R 探头,参数设置为:测前速率为 1 mm/s、测试速率为 0.5 mm/s、测后速率为 2 mm/s,测试时间间隔为 1 s,压缩百分比为 30%。纵向压缩,压缩部位为柑橘顶部果梗区。每组选取 3 个样品。TPA 测定指标有咀嚼性、硬度、凝聚性、弹性、胶粘性、回复性。

利用 TMS-PRO 质构仪,进行剪切实验检测。柑橘去皮后,每组 2 个样品,每个样品抽取 3 瓣进行试验,采用燕尾型不锈钢剪刀进行剪切试验。参数设置为:测前速率为 1 mm/s,测试速率为 0.5 mm/s,测后速率为 1 mm/s,剪切距离为 15 mm。测定指标有最大剪切力、切断功^[14]。

1.3.7 主成分分析 对温州蜜柑耐储藏相关的硬度系数(X_1)、凝聚性(X_2)、弹性系数(X_3)、胶粘性系数(X_4)、咀嚼性(X_5)、回复性(X_6)、Vc 含量(X_7)、感官评价(X_8)、切断功(X_9)、糖酸比(X_{10})、失重率(X_{11})、最大剪切力(X_{12})、CO₂(X_{13})和菌落总数(X_{14})共 14 个因素的检测数据进行标准化^[15]对标准化数据进行主成分分析,得出特征值、贡献率和累计方差贡献率。选取累计方差贡献率大于 85% 的主成分,代替原来的变量,构建综合评价模型。

1.4 数据统计与分析

本实验所有指标测定均重复 3 次,结果为平均值±标准差。瀑布图采用软件 Sigma plot 10.0 制作。差异显著性、相关性分析和主成分分析采用软件 SPSS 19.0 进行。

2 结果与分析

2.1 不同包装材料的膜渗透性

三种包装材料的膜渗透性结果见表 1,三种

表 1 不同薄膜的机械性能和阻隔性能

Table 1 Mechanical properties and barrier properties of different films.

薄膜种类 Film type	厚度(mm) Thickness (mm)	抗拉伸强度 (MPa) Tensile strength (MPa)	断裂伸长率 Elongation at break	阻水性 (g/m ² ·d·0.1 MPa) Water-tightness (g/m ² ·d·0.1 MPa)	阻氧性 (cm ³ /m ² ·d·0.1 MPa) Oxygen permeability (cm ³ /m ² ·d·0.1 MPa)
PE	0.02	69.18±4.29 a	47.77%±2.90% b	2.27±0.25 a	0.66±0.07 a
PVC	0.02	56.81±2.99 b	68.96%±5.16% a	1.52±0.21 ab	0.5±0.11 ab
OPP	0.017	43.34±2.66 c	66.21%±2.95% a	1.74±0.34 b	0.39±0.07 b

注: 同列中不同小写字母表示在 $P<0.05$ 水平上差异显著。

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference at $P<0.05$ level.

薄膜的抗拉伸强度存在显著差异,PE 薄膜的抗拉伸强度最大,OPP 薄膜的抗拉伸强度最小;在断裂伸长率方面,PE 薄膜的断裂伸长率显著低于其余两种;阻水性和阻氧性方面,PE 薄膜与 OPP 薄膜差异显著,三种薄膜的阻水性和阻氧性从高到低依次排列为:PE>OPP>PVC。

2.2 包装材料对温州蜜柑贮藏期感官评价的影响

感官评价是评价果蔬品质的重要指标之一,不同贮藏时期温州蜜柑的色泽、质地、气味等参数可以直观地反映出温州蜜柑品质的好坏。通过对温州蜜柑色泽、质地和气味三个方面进行加权平均得到 3 种不同包装材料和对照组随贮藏时间的整体感官评分结果(图 1),评分越高,表明温州蜜柑品质越好^[16]。可见,随贮藏时间的延长,未包装的对照组在贮藏至 18 d 后由于失水过多导致感官品质剧烈下降,在 24 d 左右出现异味,失去食用价值。在贮藏的前 24 d,PE 组、PVC 组和 OPP 组温州蜜柑的感官评分无显著性差异($P>0.05$),且评分高于 CK 组,说明在储藏 24 d 内,PE 组、PVC 组和 OPP 组三种处理均能提高温州蜜柑的储藏效果。在贮藏至 30 d 后,PE 组和 OPP 组的温州蜜柑感官评分明显高于 PVC 组,且维持较高评分,说明在 30 d 内 PE 薄膜和 OPP 薄膜能够比较稳定地维持果实的色泽、气味和质地。

2.3 包装材料对温州蜜柑贮藏期失重率的影响

温州蜜柑在采后由于呼吸作用、蒸腾作用等

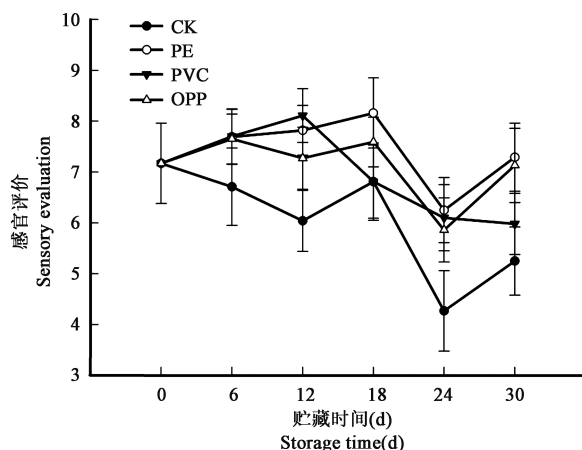


图 1 不同包装方式对温州蜜柑感官品质的影响

Fig.1 Effects of different packaging treatments on sensory evaluation of *Citrus unshiu*.

生理活动,会消耗内部水分、糖类等物质,从而导致果实重量减少^[17]。失重率与温州蜜柑品质密切相关,随着失重率的升高,果实品质下降^[18]。温州蜜柑储藏期间的失重率结果(图 2)显示,随着贮藏时间的延长,各组处理温州蜜柑的失重率均呈逐渐上升趋势。无包装组与其他包装组对比,失重率显著升高,且在贮藏 12 d 后,果皮由于严重失水而干瘪,这是因为三种薄膜材料具有不同程度的阻水性,从而减少了果实水分的散失。在贮藏 18 d 后,PVC 组失重率显著高于其余两组($P<0.05$),而 PE 组和 OPP 组的温州蜜柑在贮藏期内失重率一直低于 2%,最大值分别为 1.46% 和 1.79%,这是由于 PE 薄膜和 OPP 薄膜的阻水性优于 PVC 薄膜,可以减少果实水分散失。因此,PE 薄膜和 OPP 薄膜能够较好地保留贮藏期内温州蜜柑的水分和营养物质。

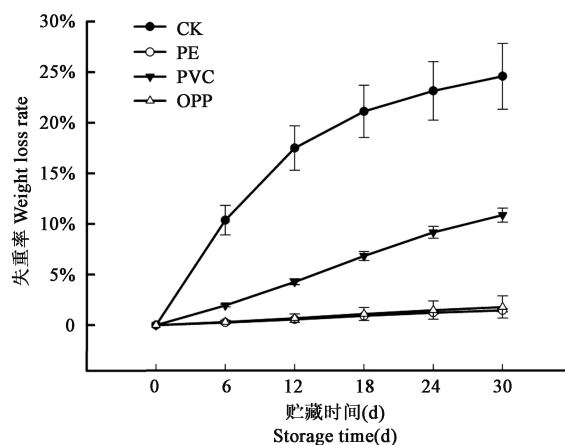


图 2 不同包装方式对温州蜜柑失重率的影响

Fig.2 Effects of different packaging treatments on weight loss of *Citrus unshiu*.

2.4 包装材料对温州蜜柑贮藏期糖酸比的影响

对温州蜜柑贮藏期糖酸比进行测定,结果如图 3 所示,在贮藏初期糖酸比升高,与大分子贮藏物质降解速度加快、总糖含量上升和有机酸被作为呼吸底物消耗有关^[19-20];在贮藏后期,CK 组、PVC 组和 OPP 组由于大分子物质降解速度开始小于代谢速度,导致糖酸比下降。在贮藏后期 PE 组糖酸比高于其余各组,说明 PE 薄膜可以较好地维持贮藏期内温州蜜柑的糖酸比。

2.5 包装材料对温州蜜柑贮藏期 Vc 含量的影响

Vc 是衡量果实品质好坏的一项重要指标,Vc

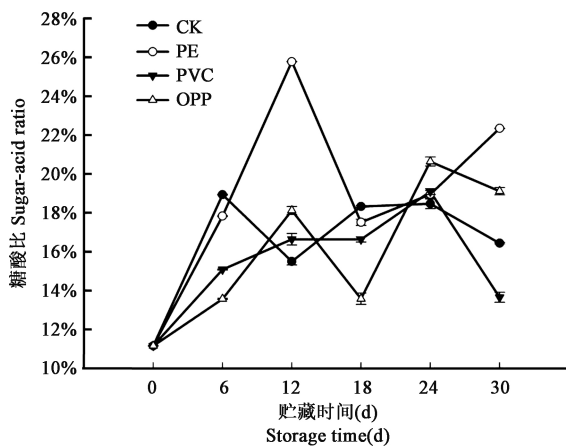


图3 不同包装方式对温州蜜柑糖酸比的影响

Fig.3 Effects of different packaging treatments on the sugar-acid ratio of *Citrus unshiu*.

性质不稳定,对光、热和空气敏感,在中性和碱性条件下很容易被氧化。 V_c 含量降低到一定水平时,自由基的积累会对细胞组织产生损害,加快果实衰老。贮藏期内温州蜜柑的 V_c 含量结果(图4)显示,随着贮藏时间的推移,各组温州蜜柑的 V_c 含量均有先下降后上升的趋势,这可能与其降解方式及果实失水有关。贮藏前期,薄膜包装内氧气充足, V_c 以有氧降解为主,当氧气浓度较低时, V_c 开始无氧降解,降解速度较之前有所减慢^[21]。同时后期因为果实过度蒸发失水,组织中汁液浓缩,所以单位重量组织中 V_c 含量相对就会升高。各包装组之间 V_c 含量无显著差异($P > 0.05$),其中PVC组的 V_c 含量较为稳定。以上

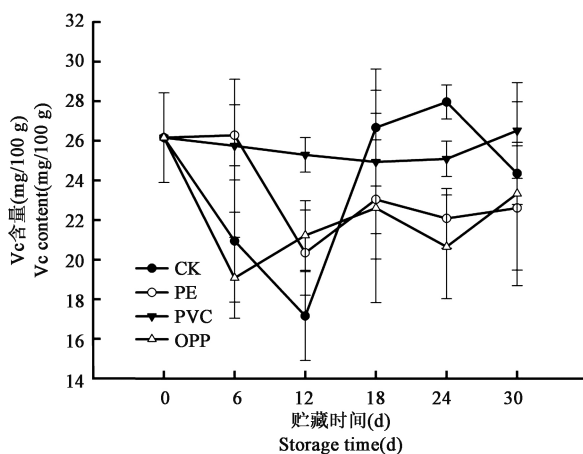


图4 不同包装方式对温州蜜柑 V_c 含量的影响

Fig.4 Effects of different packaging treatments on V_c content of *Citrus unshiu*.

研究表明,PVC薄膜包装可以较好地维持贮藏期果实的 V_c 含量。

2.6 包装材料对温州蜜柑贮藏期 CO_2 含量的影响

不同透气性的包装薄膜会显著影响包装袋内的气体成分和含量。由图5可知,随着贮藏时间的推移,各试验组温州蜜柑包装袋内的 CO_2 含量总体为上升趋势,前期上升较缓慢,后期上升较急剧,这可能是由于温州蜜柑后期代谢较快所致。透气性高的包装薄膜气体交换能力强,其 CO_2 积累速度相对较慢,而透气性差的包装薄膜恰恰相反,在贮藏过程中,如果 O_2 消耗较快,容易诱发果实的无氧呼吸,加速老化。PE组和OPP组 CO_2 含量增加较缓慢,并逐渐趋于稳定,在贮藏结束时 CO_2 含量分别为3.23%和3.2%。而PVC组在第18d后 CO_2 含量开始显著高于PE组和OPP组($P < 0.05$)。以上研究表明,PE和OPP薄膜均可以较稳定地维持包装袋内 CO_2 含量。

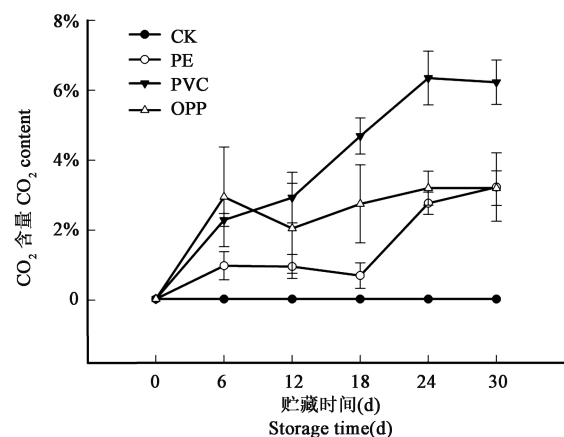


图5 不同包装方式对温州蜜柑包装袋内 CO_2 含量的影响

Fig.5 Effects of different packaging treatments on CO_2 content of *Citrus unshiu*.

2.7 包装材料对温州蜜柑贮藏期菌落总数的影响

储藏期间的温州蜜柑菌落总数结果(图6)可知,随着贮藏时间的推移,各组温州蜜柑的菌落总数有波动,但总体呈逐渐上升的趋势。包装袋内的气体环境对微生物的生长起着关键作用,高浓度的 O_2 有利于好氧菌的生长,高浓度的 CO_2 会阻碍好氧细菌的繁殖,利于厌氧菌的生长。分析可知,PE和PVC组菌落总数显著低于OPP和CK

组($P<0.05$),表明 PE 薄膜可以较好地抑制包装袋内微生物的增殖。

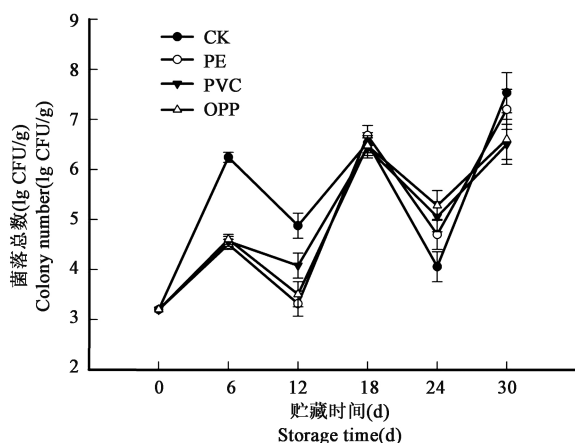


图 6 不同包装方式对温州蜜柑菌落总数的影响

Fig.6 Effects of different packaging treatments on bacteria colony number of *Citrus unshiu*.

2.8 包装材料对温州蜜柑贮藏期质构参数指标的影响

TPA 试验是采用二次压缩的方法来模拟人类牙齿咀嚼食物的过程,TPA 试验提供的参数与

食品咀嚼特性相关^[22]。由表 2 可知,在 TPA 试验中,不同材料包装的柑橘在贮藏期内果实 TPA 参数存在一定差异。PVC 组咀嚼性和硬度最小,分别为 89.81 MJ 和 29.53 N,显著低于其他包装组($P<0.05$),口感较差,其次是 OPP 组,咀嚼性和硬度最大的为 PE 组;3 组包装组和 CK 组果实凝聚性在 0.38~0.41 之间,各组之间没有显著差异($P>0.05$);柑橘贮藏期各组弹性值在 7.16~10.11 之间,弹性最高的是 PE 组,显著高于其余各组($P<0.05$),口感较好,弹性最低的是 PVC 组,其次是 OPP 组;PVC 组胶粘性最低,为 12.08 N,其次是 OPP 组,胶粘性最高的为 PE 组,口感较好,各包装组之间无显著性差异($P>0.05$);回复性值在 18.80~19.55 之间,各组之间无显著差异($P>0.05$)。

在剪切试验中,采用最大剪切力和剪断功两个试验指标来研究不同包装组贮藏期柑橘的质构特性。PE 组最大剪切力最小,为 18.31 N,口感较好,各包装组之间最大剪切力无显著差异($P>0.05$);PVC 组剪断功最小,为 111.89 N,OPP 组剪断功最大,为 164.67 N,口感较好^[23](表 2)。

表 2 不同包装材料对温州蜜柑 TPA 的影响

Table 2 Effects of different packaging treatments on TPA indexes of *Citrus unshiu*.

性状 Character	CK	PE	PVC	OPP
咀嚼性(MJ) Chewiness(MJ)	121.05±46.27 bc	171.45±25.35 a	89.81±43.75 c	130.60±33.07 b
硬度(N) Hardness(N)	39.37±10.34 ab	45.07±2.13 ab	29.53±7.89 c	38.24±6.24 b
凝聚性 Cohesiveness	0.38±0.06 a	0.38±0.04 a	0.41±0.04 a	0.41±0.07 a
弹性 Springiness	8.16±0.96 b	10.11±0.52 a	7.16±1.58 b	8.40±1.51 b
胶粘性(N) Gumminess(N)	14.02±3.92 a	16.97±1.72 a	12.08±3.44 a	15.00±2.53 a
回复性 Resilience	16.38±2.39 a	18.80±1.46 a	19.48±2.10 a	19.40±3.41 a
最大剪切力(N) Maximum shear force(N)	25.26±5.85 a	18.31±3.22 b	20.03±3.05 b	21.57±1.39 ab
切断功(MJ) Cutting work(MJ)	155.06±30.78 a	150.41±40.66 ab	111.89±13.70 b	164.67±32.30 a

注: 同行中小写字母表示在 $P<0.05$ 水平上差异显著。

Note: Different lowercase letters in the same row indicate significant difference at $P<0.05$ level.

2.9 主成分分析结果

利用 SPSS 软件进行主成分分析,得到特征值、贡献率和累计方差贡献率(表 3)。可见,前 6 个成分的累计贡献率达到 91.186%,说明前 6 个成分足以说明数据的变化趋势,因此选取前 6 个主成分作为有效成分。

由表 4 可以看出,硬度(X_1)系数、弹性(X_3)系数、胶粘性(X_4)系数和咀嚼性(X_5)系数在第 1

主成分中较大,且均为正值;凝聚性(X_2)系数、回复性系数(X_6)和 Vc 含量(X_7)系数在第二主成分中较大,亦为正值,说明硬度(X_1)、内聚性(X_2)、弹性(X_3)、胶粘性(X_4)、咀嚼性(X_5)、回复性(X_6)和 Vc 含量(X_7)这七个指标对果实储藏的贡献率较大,其值越大,果实越耐贮藏。感官评分(X_8)在 6 个主成分中均为正值,说明其值越大,果实越耐贮藏。剪断功(X_9)系数在第 2 主成分

中绝对值最大,且为负值,最大剪切力(X_{12})在第3主成分中绝对值最大,亦为负值,说明剪断功和最大剪切力值越大,果实越不耐贮藏。糖酸比(X_{10})系数在第3、4主成分中数值较大,且为正值,说明糖酸比(X_{10})系数影响了果实的贮藏特性,且为正相关关系。失重率(X_{11})系数在前3个主成分中较大,且为负值,说明果实水分和糖类等

营养物质的损失会缩短果实的贮藏期。 CO_2 含量(X_{13})系数在第2、3主成分中数值较大,且为正值,说明包装袋内一定浓度的 CO_2 有利于果实贮藏。菌落总数(X_{14})系数在第1主成分中绝对值较大,且为负值,说明菌落总数(X_{14})影响了果实的贮藏特性。

表3 主成分分析的特征值

Table 3 Eigenvalues of principal component analysis.

主成分 Principal component	特征值 Characteristic value	贡献率 Contribution rate	累计方差贡献率 Accumulative contribution rate
1	4.461	31.87%	31.87%
2	2.787	19.91%	51.77%
3	2.282	16.30%	68.07%
4	1.75	12.50%	80.57%
5	0.875	6.25%	86.82%
6	0.612	4.37%	91.19%
7	0.58	4.14%	95.33%
8	0.31	2.22%	97.54%
9	0.179	1.28%	98.82%
10	0.069	0.49%	99.31%
11	0.062	0.44%	99.76%
12	0.027	0.20%	99.95%
13	0.005	0.04%	99.99%
14	0.002	0.01%	100%

表4 主成分分析的特征向量

Table 4 Eigenvectors of principal component analysis.

分量 Component	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
X_1 : 硬度 Hardness	0.89	-0.355	-0.128	-0.031	0.023	-0.016
X_2 : 凝聚性 Flocculability	-0.217	0.788	-0.154	0.404	0.307	0.134
X_3 : 弹性 Elastic	0.844	0.074	-0.044	0.433	-0.158	0.04
X_4 : 胶粘性 Gumminess	0.933	0.119	-0.23	0.095	0.1	-0.012
X_5 : 咀嚼性 Chewiness	0.909	0.144	-0.183	0.316	0.005	0.054
X_6 : 回复性 Resilience	0.062	0.859	0.226	0.337	0.196	0.001
X_7 : Vc 含量 Vc content	-0.22	0.539	-0.437	-0.178	-0.432	0.468
X_8 : 感官评分 Sensory evaluation	0.365	0.057	0.494	0.631	0.193	0.35
X_9 : 剪断功 Snipping power	0.086	-0.674	0.327	0.279	0.333	0.238
X_{10} : 糖酸比 Sugar acid ratio	0.053	-0.224	0.589	0.612	-0.324	0.084
X_{11} : 失重率 Weight loss rate	-0.613	-0.413	-0.44	0.396	-0.238	0.019
X_{12} : 最大剪切力 Maximum shear force	-0.405	-0.16	-0.731	0.136	0.426	-0.024
X_{13} : CO_2	-0.421	0.429	0.644	0.075	-0.026	-0.26
X_{14} : 菌落总数 Bacteria colony number	-0.548	-0.291	0.265	0.336	0.167	0.339

2.10 综合评价模型的构建

由上述可知,前6个主成分已经基本保留了所有指标的信息,因此可以用6个变量 Z_1 、 Z_2 、 Z_3 、 Z_4 、 Z_5 和 Z_6 代替原来的14个指标,依据表4中的特征向量为 A_1 、 A_2 、 A_3 、 A_4 、 A_5 和 A_6 ,根据公式 $Z_i = A_i X_i$ 计算出6个主成分,其中 $X_1 \sim X_{14}$ 分别表示硬度、凝聚性、弹性、胶粘性、咀嚼性、回复性、Vc含量、感官评价、剪断功、糖酸比、失重率、最大剪切力、 CO_2 和菌落总数标准化后的数据。同时,选取6个主成分的方差贡献率 α_1 、 α_2 、 α_3 、 α_4 、 α_5 和 α_6 作为权数,构建综合评价模型如下式所示,将各数据分别代入,结果如图7所示。

$$F = \alpha_1 Z_1 + \alpha_2 Z_2 + \alpha_3 Z_3 + \alpha_4 Z_4 + \alpha_5 Z_5 + \alpha_6 Z_6$$

其中 F 为综合评价指标。

由图7可知,果实在贮藏期间,未包装的柑橘果实 F 值整体呈急剧下降趋势,在第18d F 值为-2.86,且果皮干瘪,出现异味,失去食用价值。PVC组和OPP组在贮藏0~6d F 值出现短暂下降,出现果皮变软的现象,后期 F 值逐渐趋于稳定,可能与包装内水蒸汽不能及时排出,在一定程度上对果实起到了保鲜效果。OPP组在贮藏期间 F 值始终高于PVC组,说明OPP薄膜对果实的保鲜效果优于PVC薄膜。PE组在贮藏期间中后期 F 值呈缓慢上升,说明这一阶段果实尚处在后熟期,PE薄膜有效地延长了果实的贮藏期,储藏效果最好。

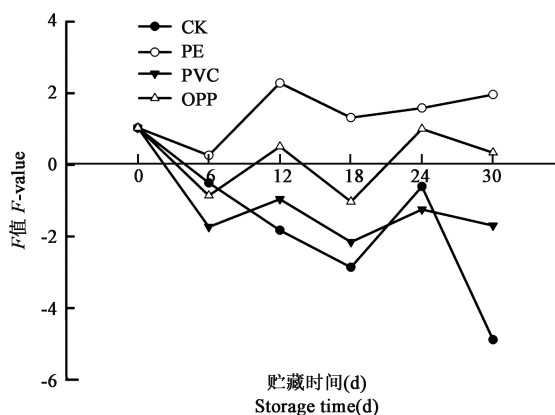


图7 不同包装方式下温州蜜柑综合评价指标 F 值的变化

Fig.7 F value of different packaging treatments on *Citrus unshiu*.

3 讨论

不同包装材料和材料的不同阻隔性能均会对温州蜜柑贮藏品质造成不同程度的影响。张俊等^[24]用玻璃瓶、马口铁、高阻隔软包装和普通塑料瓶等包装材料对温州蜜柑罐头贮藏品质的影响进行研究,在同一温度下,普通塑料瓶的柑橘营养成分损失最多,高阻隔软包装(PE)中的橘瓣罐头的色泽较好,与PE薄膜具有高阻氧性有关,这与本研究中温州蜜柑感官品质较好的结果一致。另外,PE组可以保持较高的糖酸比,也与PE薄膜的高阻氧性能有关,PE薄膜的高阻水性能,可以有效地降低失重率,减少水分流失。在贮藏过程中,PE组和OPP组 CO_2 浓度维持在1%~3%之间,且OPP组更加稳定,具有较好的气体调节能力,PE组次之。 CO_2 浓度过高,容易诱发果实无氧呼吸, CO_2 浓度过低,会加剧有氧呼吸,均会造成营养物质快速消耗,适宜的 CO_2 浓度也可以抑制菌落的增殖。从TPA试验和剪切试验结果来看,PE组的咀嚼性、硬度、弹性和胶粘性参数值最大,最大剪切力最小,口感较好。结果表明,三种包装材料均能一定程度地保持果实品质,减少营养物质流失,延长果实的贮藏时间。另外,在所测机械性能指标中,PE薄膜优于OPP薄膜。PE薄膜还具有较好的抗拉伸强度,在对果实进行热封时不易变形,且PE薄膜价格要低于OPP薄膜。因此可以选用PE薄膜对温州蜜柑进行包装贮藏。

目前在柑橘的贮藏保鲜中,主要应用化学防腐剂和保鲜剂^[25],针对柑橘薄膜包装贮藏保鲜研究较少。而长期依赖单一化学防腐保鲜剂,部分病原菌会对此类保鲜剂产生抗药性^[26]。本研究使用薄膜袋对柑橘进行包装,可以有效防止柑橘果实之间病虫害的交叉感染,并且不会产生食品安全问题。为了寻找更方便、更有效、更绿色的柑橘贮藏保鲜方法,今后可从物理和生物综合防治的方向入手进行相关研究^[27]。本试验定性分析了三种不同类型薄膜对温州蜜柑的贮藏效果,发现PE薄膜对温州蜜柑贮藏有更好的保鲜效果,为今后柑橘包装机的研制提供理论依据。

参 考 文 献

- [1] 陈中建,金小燕,倪德华,等.柑橘采后储藏保鲜技术的研究

- 与讨论[J].北京农业,2015(11):68-88.
- [2] 廖 伟.柑橘采后储藏保鲜技术研究进展[J].物流管理,2011(49):28-29.
 - [3] 胡西琴,邵蒲芬,王日葵.柑橘不同厚度薄膜袋单果包装贮藏试验[J].中国柑橘,1988,17(4):34-35.
Hu X Q, Shao P F, Wang R K. Packing storage test of single fruit in different thickness film bag of citrus[J]. Chin. Citrus, 1988, 17(4): 34-35.
 - [4] 黄复瑞,吴金苏,黄 波,等.不同类型薄膜在温州蜜柑贮藏中的应用[Z].北京:中国学术期刊电子杂志出版社,1994.
Huang F R, Wu J S, Huang B, et al.. Application of different types of thin films in storage of *Citrus unshiu* [Z]. Beijing: China Academic Journal Electronic Publishing House, 1994.
 - [5] 解淑慧,邵兴锋,王鸿飞.纳米保鲜包装对柑橘果实贮藏品质的影响[J].食品工业科技,2014(1):326-329.
Xie S H, Shao X F, Wang H F. Effect of nanocomposite—based packaging on the postharvest quality of *Citrus* fruit [J]. Sci. Technol. Food Ind., 2014(1): 326-329.
 - [6] 周 然.黄花梨运输振动损伤与冷藏品质变化的试验研究[D].上海:上海交通大学,博士学位论文,2007.
Zhou R. Experimental study on vibration damage and cold storage quality of Huanghua pear transport [D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University, Doctor Dissertation, 2007.
 - [7] Obenland D, Collin S, Mackey B, et al.. Storage temperature and time influences sensory quality of mandarins by altering soluble solids, acidity and aroma volatile composition [J]. Postharvest Biol. Technol., 2011, 59: 187-193.
 - [8] 赵 镭,刘 文,汪厚银.食品感官评价指标体系建立的一般原则与方法[J].中国食品学报,2008,8(3):121-124.
Zhao L, Liu W, Wang H Y. General principles and methods for establishing food sensory evaluation index system [J]. Chin. Food Sci. Technol., 2008, 8(3): 121-124.
 - [9] 葛武鹏.山羊乳营养特性及对嗜酸乳杆菌增酸发酵性能的研究[D].西安:西北农林科技大学,博士学位论文,2008.
Ge W P. Nutritional characteristics of goat milk and its acidophilic fermentation performance to *Lactobacillus acidophilus* [D]. Xian: Northwest Agriculture and Forestry University, Doctor Dissertation, 2008.
 - [10] 何义仲,陈兆星,刘润生,等.不同贮藏方式对赣南纽荷兰脐橙果实品质的影响[J].中国农业科学,2014,47(4):736-748.
He Y Z, Chen Z X, Liu R S, et al.. Effects of different storage methods on the quality of navel orange fruits [J]. Chin. Agric. Sci., 2014, 47(4): 736-748.
 - [11] 冯双庆,赵玉梅.果蔬保鲜技术及常规测试方法[M].北京:化学工业出版社,2001.
Feng S Q, Zhao Y M. Technology of fruit and vegetable preservation and routine test method [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2001.
 - [12] 中华人民共和国卫生部. GB 4789.2-2010 食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定 [S]. 北京:中国标准出版社,2010.
Ministry of Health of the People's Republic of China. GB 4789.2-2010 Determination of the total colony number of food microbiology inspection in national food safety standards [S]. Beijing: Chinese Standard Press, 2010.
 - [13] 纪宗亚.质构仪及其在食品品质检测方面的应用[J].食品工程,2011(3):22-25.
Ji Z Y. Texture analyzer and its application in food quality detection [J]. Food Engin., 2011(3): 22-25.
 - [14] 左 婷.基于高光谱图像技术的夏橙质构特性检测方法研究[D].武汉:华中农业大学,硕士学位论文,2015.
Zuo T. Research on texture characteristics detection of summer orange based on hyperspectral image technology [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, Master Dissertation, 2015.
 - [15] 王海科.科技论文中平均差、标准差、标准误和误差线的正确使用[J].和田师范专科学校学报,2013,32(2):118-121.
Wang H K. Correct use of mean deviation, standard deviation, standard error and error line in scientific papers [J]. J. Hetian Normal Coll., 2013, 32(2): 118-121.
 - [16] 丁晓波,张 华,刘世尧,等.柑橘果品营养学研究现状[J].园艺学报,2012,39(9),1687-1702.
Ding X B, Zhang H, Liu S Y, et al.. Current status of *Citrus* nutrition research [J]. Acta Hortic. Sin., 2012, 39(9), 1687-1702.
 - [17] 王 明.不同温度和薄膜包装处理对山楂贮藏生理及品质的影响[D].河北保定:河北农业大学,硕士学位论文,2015.
Wang M. Effects of different temperatures and film packaging on storage physiology and quality of hawthorn [D]. Hebei Baoding: Hebei Agricultural University, Master Dissertation, 2015.
 - [18] Pongener A, Mahajan B V C, Singh H. Effect of different packaging films on storage life and quality of peach fruits under cold storage conditions [J]. Indian J. Hortic., 2011, 68(2): 240-245.
 - [19] Mangaraj T K, Goswami D K, Panda D K. Modeling of gas transmission properties of polymeric films used for MA packaging of fruits [J]. J. Food Sci. Technol., 2015, 52(9): 5456-5469.
 - [20] Mahajan B C, Singh N, Kumar M. Effect of different packaging films on shelf life and quality of pear fruits under super market conditions [J]. HortFlora Res. Spectrum, 2013, 2(1): 68-71.
 - [21] 单云辉,邵海燕,房祥军,等.不同包装材料对草莓果浆贮藏品质的影响[J].食品科学,2018,39(13):251-257.
Shan Y H, Gao H Y, Fang X J, et al.. Effects of different packaging materials on storage quality of strawberry pulp [J]. Food Sci., 2018, 39(13): 251-257.
 - [22] 程学勋,林洁文,黄 敏,等.质构仪及其在食品研究中的应用简介[J].广东化工,2012,39(9):164-165.
Cheng X X, Lin J W, Huang M, et al.. Texture analyzer and its application in food research [J]. Guangdong Chem. Ind., 2012, 39(9): 164-165.
 - [23] 田 欣,陈 斌,王 勇,等.不同温度和薄膜包装对鲜切胡萝卜货架期品质的影响[J].食品工业科技,2007,28(7):183-185.
Tian X, Chen B, Wang Y, et al.. Effects of different temperatures and film packaging on shelf life quality of fresh-cut carrots [J]. Food Ind. Sci. Technol., 2007, 28(7): 183-185.

- [24] 张俊,曹江娜,郑平,等.包装和贮藏条件对柑橘罐头营养和感官品质的影响[A].见:中国食品科学技术学会第十一届年会论文集[C].杭州,2014.
Zhang J, Cao J N, Zheng P. Effects of packing and storage conditions on nutrition and sensory quality of canned citrus[A]. In: Eleventh Symposium of Chinese Food Science Technology Annual Conference [C]. Hangzhou, 2014.
- [25] 王友海,费甫华,湛丹丹,等.宜昌柑橘贮藏保鲜现状、问题及对策建议[J].湖北农业科学,2017,56(18):3519-3522.
Wang Y H, Fei F H, Zhan D D, *et al.*. Present situation, problems and countermeasures of citrus storage and preservation in Yichang [J]. Hubei Agric. Sci., 2017, 56(18): 3519-3522.
- [26] 段赞赞.柑橘产区主要采后病原菌的调查和抗药性分析[D].武汉:华中农业大学,硕士学位论文,2015.
Duan Z Z. Investigation and drug resistance analysis of main postharvest pathogenic bacteria in citrus growing areas [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, Master Dissertation, 2015.
- [27] 吴思梦,刘冰,蒋军喜,等.生防链霉菌 ML27 和柑橘内生放线菌 P3Y2 原生质体融合研究[J].中国农业科技导报,2017,19(3):31-36.
Wu S M, Liu B, Jiang J X, *et al.*. Protoplast fusion of biocontrol *Streptomyces* ML27 and endophytic actinomycetes P3Y2 from Citrus [J]. J. Agric. Sci. Technol., 2017, 19(3): 31-36.

(责任编辑:李爱花 温小杰)