

微孔自发气调包装对冠玉枇杷的保鲜效果

马佳佳, 隋思瑶, 孙灵湘, 黄桂丽, 王毓宁

(江苏太湖地区农业科学研究所, 江苏苏州 215105)

摘要: 为探讨微孔自发气调包装对枇杷品质及风味特性的影响, 本文以冠玉枇杷为试材, 分别研究了双向拉伸聚丙烯(BOPP)微孔包装与聚乙烯(PE)自粘膜普通包装在温度(6 ± 0.5)℃, 相对湿度90%~95%的冷藏环境下对枇杷感官品质、理化品质及挥发性物质的影响。结果表明, 与PE自粘膜普通包装相比, 微孔包装具有较好的自发气调效果(O_2 : 12.40%, CO_2 : 7.80%), 枇杷果实失重率仅为1.24%、腐烂率为10.00%, 商品率达90.00%; 可溶性固形物高出普通包装5.67%, 葡萄糖、果糖、山梨醇含量分别高出4.13%, 4.51%, 51.34%, 蔗糖含量低30.99%; 味觉指标中酸味高出25.04%, 甜味、鲜味分别低20.32%、27.17%。微孔包装的枇杷产生的挥发性物质少于普通包装, 对香气值贡献最大的己醛、(E)-2-己醛含量分别高出1.10倍和39.59%。结论: 微孔包装可延缓枇杷果实理化品质的下降, 降低可溶性单糖和山梨醇含量损失, 延缓味觉指标的变化, 抑制贮藏后期挥发性物质种类的增加, 保留主要香气成分含量, 在提高商品性的同时延迟枇杷风味的下降, 作为枇杷果实采后保鲜零售包装有潜在的市场前景。

关键词: 枇杷; BOPP微孔包装; PE自粘膜包装; 品质; 风味

文章篇号: 1673-9078(2020)11-137-146

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.11.0485

The Preservation Effects of Microporous Spontaneous Controlled Atmosphere Packaging on Guanyu Loquat

MA Jia-jia, SUI Si-yao, SUN Ling-xiang, HUANG Gui-li, WANG Yu-ning

(Jiangsu Taihu Agricultural Science Research Institute, Suzhou 215105, China)

Abstract: In order to study the effect of packaging methods on the qualities and flavor characteristics of loquat, the effects of biaxially stretched polypropylene (BOPP) microporous packaging and polyethylene (PE) self mucous ordinary packaging on the sensory, physical and chemical qualities and volatile substances of guanyu loquat were investigated under the cold storage environment of temperature (6 ± 0.5) °C, relative humidity 90%~95%. The results showed that compared with PE self-mucosal ordinary packaging, the microporous packaging had better spontaneous air conditioning effect (O_2 : 12.40%, CO_2 : 7.80%), the weight loss rate, decay rate, commodity rate of loquat fruit were 1.24%, 10.00%, 90.00% respectively. The soluble solids, glucose, fructose, sorbitol and sour taste were 5.67%, 4.13%, 4.51%, 51.34% and 25.04% higher than those of ordinary packaging respectively; the sucrose content, sweet and fresh taste were 30.99%, 20.32% and 27.17% lower than those of ordinary packaging respectively. The volatile substances produced by microporous packaging were less than those in ordinary packaging, and the contents of hexanal and e-2-hexanal which contributed the most to the aroma value were 1.10 times and 39.59% higher those in ordinary packaging respectively. Conclusion: microporous packaging can delay the decline of physical and chemical quality of loquat fruit, reduce the loss of soluble monosaccharide and sorbitol, delay the change of taste index, inhibit the increase of volatile substances in the late storage period, retain the content of main aroma components, improve the marketability and delay the decline of loquat flavor. It has potential market prospect as a postharvest fresh-keeping retail packaging of loquat fruit.

Key words: loquat; BOPP microporous packaging; PE self-mucosal packaging; quality; flavor

引文格式:

马佳佳, 隋思瑶, 孙灵湘, 等. 微孔自发气调包装对冠玉枇杷的保鲜效果[J]. 现代食品科技, 2020, 36(11): 137-146

MA Jia-jia, SUI Si-yao, SUN Ling-xiang, et al. The preservation effects of microporous spontaneous controlled atmosphere packaging on Guanyu loquat [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(11): 137-146

收稿日期: 2020-05-22

基金项目: 江苏省农业科技自主创新资金项目(CX(17)3029); 苏州市科技计划项目(SNG2017081)

作者简介: 马佳佳(1989-), 女, 助理研究员, 研究方向: 果蔬保鲜加工

通讯作者: 王毓宁(1979-), 男, 副研究员, 研究方向: 果蔬保鲜加工

枇杷 (*Eriobotrya japonica* Lindl.) 是蔷薇科苹果亚科枇杷属的一种常绿果树, 成熟于 5~6 月, 果肉柔软多汁、酸甜适度、口味俱佳、深受广大消费者欢迎^[1]。包装是果蔬贮运及货架期等环节保持良好品质的重要保障^[2], 枇杷物流保鲜包装材料与技术的研究对延长销售时间具有重要意义。研究证实气调包装 ($O_2:CO_2=6\%:6\%\sim 8\%$) 保鲜可以有效地延长枇杷保质期, 结合低温 (8 ± 1) °C 的协同作用对枇杷有很好的保鲜效果, 1 个月内仍具有食用和商品价值^[3]。进一步的研究发现, 气调包装可有效降低植物组织呼吸强度、延缓营养物质分解, 保持原有的形态、色泽、风味和质地^[4]。同其他保鲜技术及气调库相比, 自发气调包装操作方便, 关键是保持包装材料的气体渗透性与产品的呼吸速度相适应, 在包装微环境下实现对气体组成及比例的调节和控制, 尤其是具有可以满足运输过程中枇杷保鲜的优点。微孔包装是自发气调保鲜的一种类型, 通过改变微孔参数调节包装内气体浓度变化来降低果蔬呼吸强度, 与膜材料的透气具有完全不同的特性, 从而达到延长保鲜期的目的^[5]。微孔包装在耐 CO_2 果蔬、 CO_2 敏感果蔬及零售果蔬上均有应用, 在甜玉米^[6]、茶树菇^[7]、油麦菜^[8]、蜜柚^[9]、鸭梨^[10]、无花果^[11]等果蔬上取得了较好的保鲜效果。

本课题组对枇杷进行采后包装处理, 研究发现微孔袋维持枇杷硬度, 延缓可溶性固形物和维生素 C 含量降低以及抑制酶活力, 延缓果实衰老均具有一定的效果。金鹏等^[12]采用纳米 Ag、纳米 TiO_2 和纳米 SiO_2 改性 LDPE 包装处理能较好地抑制枇杷果实腐烂程度, 有效延缓 TSS、TA 下降, 维持较高的总酚和总黄

酮含量, 提高枇杷果实的抗氧化能力, 延长贮藏期。Villalobosa 等^[11]发现孔径 100 μm 的微孔膜能明显延迟无花果在冷藏和货架期的总挥发性物质的变化。对于枇杷采后低温贮藏结合自发气调包装处理对枇杷果肉糖组分含量, 味觉指标及挥发性物质的影响尚未见相关报道。本实验拟通过与自粘膜包装作对比, 研究微孔包装对低温贮藏的枇杷感官品质、理化品质及挥发性物质的影响, 以期减缓枇杷采后口感与风味损失的保鲜方法提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 材料与处理

冠玉枇杷, 采收于东山双湾枇杷园, 2 h 后运回农产品贮运加工实验室。BOPP 微孔包装处理: 果实采收后挑选大小与成熟度一致、无病虫害和机械伤的果实, 以每盒 2.50 kg 的包装规格盛放于纸箱, 在产地进行快速集中预冷 (预冷温度: 10 °C, 预冷时间: 25 min)。预冷结束后的枇杷进行分拣, 以果实重量 (250 ± 5) g/盒放置于塑料底托, 然后进行微孔包装 (孔径 120 μm : 孔数: 6 个, 包装规格: 25 cm $\times$ 20 cm)。PE 普通包装处理: 采收后的枇杷以同样包装重量和规格进行 PE 自粘膜包装。包装后的果实在温度 (6 ± 0.5) °C, 相对湿度 90%~95% 的环境下存放 4 周。每隔 7 天进行取样, 每次取样随机取 4 个平行。测定部分品质指标后进行冻样, 置于 -80 °C 储存。膜的基本参数如表 1 所示。

表 1 BOPP 与 PE 膜的基本参数

Table 1 Basic parameters of BOPP and PE membrane

膜种类	厚度/ μm	O_2 透过率/ ($cm^3/m^2 \cdot 24 h \cdot 0.1 MPa$)	CO_2 透过率/ ($cm^3/m^2 \cdot 24 h \cdot 0.1 MPa$)	水蒸气透过率/ ($g/m^2 \cdot 24 h$)	特点
BOPP 膜	25	1088	3637	7.31	透明度和硬度高, 防雾性好, 气体阻隔性强, 适用于零售及家庭用。
PE 膜	9	23103	/	23.06	使用广泛, 透气性比较合适, 透明度不如 BOPP

注: 表中“/”表示透气性过大, 测定值超过仪器检测阈值。

1.2 主要仪器设备

快速预冷装备, 南京韩威南冷制冷集团有限公司; Checkmate 3 型顶空分析仪, 美国 MOCON 公司; PAL-1 型数显糖度计, 日本 ATAGO 公司; pH 计, 梅特勒-托利多仪器 (上海) 有限公司; Waters1525 高效液相色谱、手动固相微萃取 (SPME) 进样装置, 德国 IKA 公司; 7890B-5977A 气相色谱-质谱联用仪,

美国 Agilent 公司; 气相色谱柱 HP-5MS; 50/30 μm DVB/CAR/PDMS 萃取纤维头, 美国 Supelco 公司; TS-5000Z 电子舌-味觉分析系统, 日本 INSENT 公司。

1.3 指标测定

1.3.1 基本指标测定: 枇杷包装内气体含量、失水率、商品率、腐烂率、可溶性固形物含量、pH 值六个基本指标测定

包装内气体含量采用顶空分析仪直接读数,失水率(%)=(贮藏前果实原始重量-贮藏后果实重量)/贮藏前果实原始重量 $\times 100\%$,商品率(%)=(0级+1级)果实数量/调查果总数 $\times 100\%$ 。(其中0级:果实完好,无任何病斑;1级:果实腐烂面积0~5%,病斑在果皮表面、硬,不影响销售,可作为商品)。可溶性固形物:对果实进行纵向对切,两边各挤出果汁滴于仪器上,测量并记录读数,取平均值。pH值:参考GB10468-1989水果和蔬菜产品pH值的测定方法,枇杷冻样经研磨解冻后取15 mL枇杷浆,在25℃时用pH计探头放置烧杯中进行测定,待数值稳定后记录读数。同一制备样品进行三次平行测定。

1.3.2 糖组分测定及甜度值的计算方法

样品前处理^[13]:对枇杷冻样进行研磨,称取2 g于离心管中,加蒸馏水定容至10 mL,涡旋振荡混匀,超声提取30 min后,在8000 r/min条件下离心10 min,收集上清液,重复离心1次,每个样品做3个平行,最终将上清液进行合并待测,经0.45 μm 微孔滤膜过滤。HPLC条件^[14]:用高效液相色谱(Waters 1525)测定糖组分含量。采用Sugarpak1色谱柱,流动相为纯水,每次进样量10 μL ,流速为0.4 mL/min,柱温为85℃,示差折光检测器检测洗脱峰。

1.3.3 枇杷果实电子舌分析^[15]

样品前处理:将40 mL样品倒入100 mL烧杯中,再加入60 mL蒸馏水进行稀释混匀后待测。电子舌检测条件:用KCl与酒石酸溶液配成Reference溶液(人工唾液)作为参比溶液。负极清洗液为水+乙醇+HCl,正极清洗液为KCl+水+乙醇+KOH。将传感器置于参比溶液中归零30 s,随后开始进行味觉指标测定。测试时间为30 s,测试完毕后用参比溶液清洗3 s,再次进行测试,测试时间30 s。每个样品重复4次,取后3次做为测试结果。

1.3.4 挥发性物质的测定^[16]

HS-SPME方法:准确称取5.00 g枇杷的冻样,置于20 mL样品瓶中,加1.50 mL饱和氯化钠溶液,然后用带有硅橡胶隔垫的瓶盖密封,放入恒温加热磁力搅拌器中,在50℃水浴平衡10 min,再将老化好的SPME针头插入顶空瓶中距离液面1 cm处,在50℃条件下萃取30 min,最后将萃取头插入GC-MS进样器中解吸5 min。GC-MS条件:HP-5MS石英毛细管柱;进样口温度250℃;升温程序:起始温度为40℃,保持4 min,以5℃/min升温到150℃,保持5 min。以10℃/min升温到250℃,保持3 min,载气:He,流速1.0 mL/min,不分流。电子电离源;离子源温度230℃;电子能量70 eV;质量扫描范围35~500 m/z 。

四级杆温度:150℃;接口温度:280℃。

组分定性定量:样品中各未知挥发性物质的定性由计算机检索与标准信息库NIST11.L进行匹配(匹配度>80%),然后根据各个物质的分子式确定化学成分;再与文献进行对比,进行二次定性。挥发性物质的定量分析采用峰面积归一化法,求得枇杷中各挥发性物质的相对含量。

1.4 数据分析

Excel 2010 统计分析数据和绘制图表。应用SAS 9.4 软件对数据进行方差分析,利用Duncan's 多重比较进行显著性分析, $p<0.05$ 表示差异显著, $p<0.01$ 表示差异极显著。

2 结果与讨论

2.1 包装方式对冷藏枇杷CO₂与O₂含量的影响

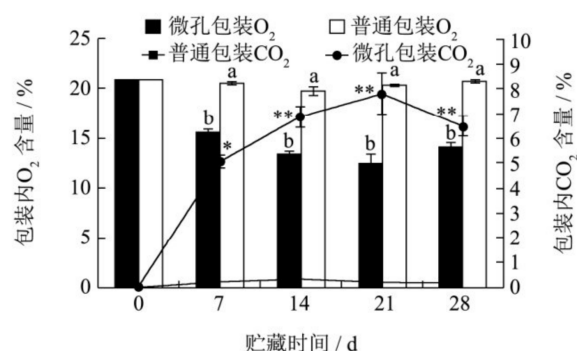


图1 包装方式对冷藏枇杷气体(O₂, CO₂)含量的影响

Fig.1 Effect of packaging method on the gas (O₂, CO₂) content of loquat during cold storage

注:不同小写字母表示同一时间处理组与对照组相比的显著差异($p<0.05$);**表示差异极显著($p<0.01$),*表示差异显著($p<0.05$),不标则为差异不显著($p>0.05$)。

枇杷经过微孔包装在冷藏过程中逐渐形成了气调微环境,如图1所示,随着贮藏时间延长,O₂被逐渐消耗含量降低,CO₂逐渐产生含量增加,在21 d时O₂含量降低至12.40%,CO₂含量升高至7.80%。前期枇杷呼吸强度较高,枇杷的呼吸作用和微孔膜的透气特性在气体含量达到峰值以后逐渐调整,而不至于产生无氧呼吸。后期枇杷呼吸强度在逐渐减弱,进入一个新的平衡阶段,导致后期氧气浓度开始呈现上升趋势,二氧化碳浓度开始下降,这与甜玉米的呼吸表现一致^[6]。自粘膜普通包装的枇杷所处环境基本维持在空气状态,O₂体积分数保持约20.46%基本不变,CO₂含量处于0.45%左右。整个贮藏过程,微孔包装的CO₂含量显著($p<0.05$)高于普通包装,O₂含量显著

($p<0.05$) 低于普通包装。

2.2 包装方式对冷藏枇杷失重率的影响

枇杷因呼吸引起的营养消耗和蒸腾失水会导致质量损失,当水分减少到一定程度,枇杷表皮表现出皱缩、萎蔫,严重的引起枇杷褐变和腐烂,进而降低枇杷的外观价值和新鲜度,失重率是枇杷保鲜的一个重要指标^[17]。由图2可知,随着冷藏时间延长,枇杷的失重率逐渐增加,普通包装的枇杷在贮藏7 d后失重率迅速上升,微孔包装的枇杷失重率在14 d后上升明显,贮藏至28 d时微孔包装的枇杷比普通包装的失重率低27.49%。整个贮藏过程,微孔包装对枇杷失重率的抑制效果显著($p<0.05$)优于普通包装。水分及内含物质的损失导致营养、风味的下降^[18],大部分果蔬的质量损失率达到5%时不具商品性,微孔包装后的枇杷失重率远低于5%,主要因为微孔包装对枇杷果实采后呼吸作用的抑制与包装的低透湿性,可以最大限度地减少冷藏期间枇杷果实的水分散失。壳聚糖/纳米 SiO_2 自发气调保鲜膜在处理枇杷时发现在贮藏期果实失重明显表现出延迟^[19]。

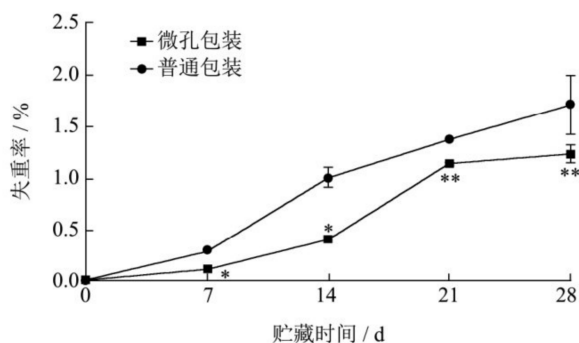


图2 包装方式对冷藏枇杷失重率的影响

Fig.2 Effect of packaging method on weight loss rate of loquat during cold storage

注:同一时间处理组与对照组相比,**表示差异极显著($p<0.01$),*表示差异显著($p<0.05$),不标则为差异不显著($p>0.05$)。

2.3 包装方式对冷藏枇杷商品率与腐烂率的影响

腐烂率和商品率是评价果实贮藏效果的两个重要指标,关系到鲜果类产品销售的经济价值高低。由图3显示,微孔包装的枇杷在14 d后商品率略有下降,腐烂率呈上升趋势,28 d贮藏结束时,普通包装的枇杷腐烂率高达30.00%,商品率下降至55.00%。微孔包装的枇杷商品率高于普通包装的枇杷35.00%,腐烂率低

了20.00%,一定程度上保证了枇杷的商品性。整个贮藏期间,微孔包装的枇杷商品率显著($p<0.05$)高于自粘膜普通包装,腐烂率显著($p<0.05$)低于自粘膜普通包装。微孔包装减少枇杷的水分损失及包装内的酸性环境有效延缓枇杷中腐败菌的滋生,而且一定程度上避免过度失水导致表皮皱缩而影响果实商品性。

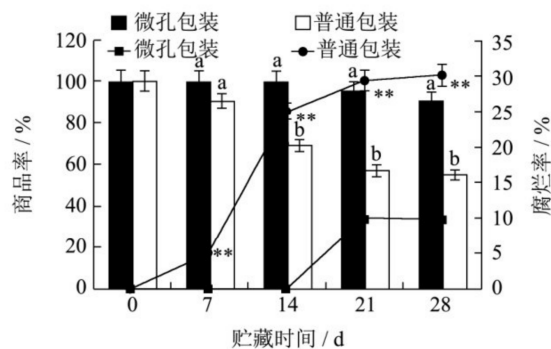


图3 包装方式对冷藏枇杷商品率与腐烂率的影响

Fig.3 Effect of packaging method on commodity rate and decay rate of loquat during cold storage

注:不同小写字母表示同一时间处理组与对照组相比的显著差异($p<0.05$);**表示差异极显著($p<0.01$),*表示差异显著($p<0.05$),不标则为差异不显著($p>0.05$)。

2.4 包装方式对冷藏枇杷可溶性固形物含量与pH值的影响

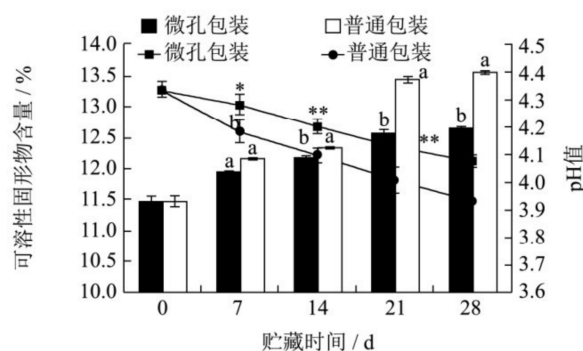


图4 包装方式对冷藏枇杷可溶性固形物含量与pH值的影响

Fig.4 Effect of packaging method on soluble solid content and pH value of loquat during cold storage

注:不同小写字母表示同一时间处理组与对照组相比的显著差异($p<0.05$);**表示差异极显著($p<0.01$),*表示差异显著($p<0.05$),不标则为差异不显著($p>0.05$)。

果实的可溶性固形物和pH值是构成果实内在品质的重要因素。可溶性固形物是枇杷果实代谢过程中碳水化合物分解的主要产物^[20],主要包括了可溶性糖类,常用来判断果实适时采收和耐贮藏性的重要指标^[21],可溶性固形物中的其他成分还是芳香成分的增强

剂。果实酸味是决定于果汁中离解的 H^+ 浓度, 一般用 pH 值来表示。由图 4 所示, 随着贮藏时间延长, 枇杷的可溶性固形物逐渐下降, 普通包装的下降速度稍快于微孔包装, 28 d 贮藏结束时微孔包装下降了 8.73%, 普通包装下降了 13.63%。整个贮藏过程, 微孔包装的枇杷可溶性固形物显著 ($p<0.05$) 高于普通包装。此外, 枇杷在冷藏过程中 pH 值逐渐上升, 果实有效酸度下降。从 21 d 开始微孔包装的枇杷果实 pH 值显著

($p<0.05$) 低于普通包装, 与此同时, 包装内 CO_2 含量达到最大值 7.80%, CO_2 气体可通过降低 pH 值来抑制微生物的生长, 降低果实呼吸速率、减少失水、抑制腐烂率上升^[22]。

2.5 包装方式对冷藏枇杷果肉中糖组分含量的影响

表 2 微孔包装与普通包装的枇杷冷藏期间糖组分含量的变化

Table 2 Changes of sugar components in loquat packed with microporous packing and self-mucous film during cold storage

项目	贮藏时间/d	蔗糖/(mg/g)	葡萄糖/(mg/g)	果糖/(mg/g)	山梨醇/(mg/g)	甜度值
微孔包装	0	44.31±0.50 ^{aA}	19.80±0.29 ^{aD}	44.20±0.33 ^{aD}	3.78±0.03 ^{aE}	137.02±1.29 ^{aA}
	7	35.45±0.47 ^{bB}	19.97±0.14 ^{aD}	42.04±0.32 ^{aE}	3.93±0.05 ^{bD}	124.56±1.15 ^{aB}
	14	22.24±0.32 ^{bC}	24.35±0.28 ^{aB}	47.20±0.47 ^{aB}	5.51±0.06 ^{aC}	124.08±1.36 ^{bC}
	21	16.48±0.29 ^{bD}	23.05±0.21 ^{bC}	44.62±0.24 ^{bC}	5.54±0.06 ^{aB}	112.92±0.89 ^{bE}
	28	13.25±0.19 ^{bE}	26.95±0.15 ^{aA}	50.48±0.36 ^{aA}	5.66±0.12 ^{aA}	122.72±0.74 ^{bD}
普通包装	0	44.31±0.50 ^{aA}	19.80±0.29 ^{aD}	44.20±0.33 ^{aD}	3.78±0.03 ^{aD}	137.02±1.29 ^{aA}
	7	36.33±0.45 ^{aB}	18.51±0.13 ^{bE}	38.12±0.21 ^{bE}	4.39±0.04 ^{aA}	117.76±0.92 ^{bE}
	14	26.01±0.41 ^{aC}	24.30±0.26 ^{bC}	46.72±0.34 ^{bC}	3.93±0.02 ^{bC}	126.35±1.20 ^{aC}
	21	25.21±0.21 ^{aD}	26.45±0.22 ^{aA}	50.64±0.36 ^{aA}	4.01±0.08 ^{bB}	133.94±1.06 ^{aB}
	28	19.20±0.26 ^{aE}	25.88±0.32 ^{bB}	48.30±0.28 ^{bB}	3.74±0.06 ^{bE}	123.34±1.00 ^{aD}

注: 不同小写字母表示同一天处理组与对照组蔗糖、葡萄糖、果糖、山梨醇、甜度值之间的显著差异 ($p<0.05$); 不同大写字母表示同一处理不同天蔗糖、葡萄糖、果糖、山梨醇、甜度值差异显著 ($p<0.05$)。

表 3 微孔包装与普通包装的枇杷冷藏期间味觉指标的变化

Table 3 Changes of taste index of loquat in microporous packaging and self-mucous film packaging during cold storage

项目	样品贮存时间/d	酸味	涩味	涩味回味	鲜味	甜味
新鲜样	0	-5.79±0.04 ^{aA}	1.27±0.02 ^A	1.57±0.04 ^A	1.58±0.01 ^E	2.63±0.01 ^E
微孔包装	7	-7.96±0.06 ^{aB}	1.18±0.01 ^{aC}	1.42±0.04 ^{aB}	2.18±0.02 ^{bD}	3.20±0.02 ^{bC}
	14	-8.33±0.13 ^{bC}	1.23±0.03 ^{aB}	1.41±0.03 ^{aC}	2.19±0.02 ^{aC}	3.02±0.02 ^{bD}
	21	-9.88±0.12 ^{aE}	0.87±0.02 ^{aD}	1.20±0.02 ^{aD}	2.65±0.03 ^{bA}	3.54±0.03 ^{bA}
	28	-9.67±0.15 ^{aD}	0.85±0.02 ^{aE}	1.13±0.02 ^{aE}	2.60±0.03 ^{bB}	3.45±0.02 ^{bB}
	7	-9.45±0.17 ^{bC}	1.07±0.02 ^{bC}	1.24±0.02 ^{bC}	2.54±0.03 ^{aC}	3.66±0.03 ^{aC}
普通包装	14	-8.21±0.10 ^{aB}	1.09±0.02 ^{bB}	1.31±0.02 ^{bB}	2.12±0.02 ^{bD}	3.45±0.02 ^{aD}
	21	-12.51±0.21 ^{bD}	0.48±0.01 ^{bD}	0.90±0.01 ^{bD}	3.41±0.04 ^{aB}	4.34±0.04 ^{aA}
	28	-12.90±0.20 ^{bE}	0.37±0.00 ^{bE}	0.90±0.01 ^{bD}	3.57±0.04 ^{aA}	4.33±0.04 ^{aB}

注: 其中 Tasteless 为无味点, 即参比溶液的输出, 参比溶液酸味的无味点为-13。不同小写字母表示同一天处理组与对照组味觉指标之间的显著差异 ($p<0.05$); 不同大写字母表示同一处理不同天味觉指标之间的差异显著 ($p<0.05$)。

果实中糖的组成是衡量果实品质的重要指标, 果实的糖组分含量以及比例对贮藏过程中风味物质品质的变化起着调控作用^[23]。枇杷成熟果实中的可溶性糖主要为果糖、蔗糖、葡萄糖和山梨醇^[13]。新鲜果实中蔗糖和果糖含量相当, 葡萄糖含量次之, 山梨醇作为枇杷运输态的光合产物^[24], 在成熟果实中的含量最低。白肉枇杷以积累蔗糖为主, 采后贮藏过程中糖含量与组成的变化主要表现为蔗糖水平的持续下降^[25], 与实

验结果得到的蔗糖呈现逐渐下降的趋势一致, 微孔包装的枇杷蔗糖含量要低于普通包装, 且在 28 d 贮藏结束时低了 30.99%, 可能与保持了活性较高的蔗糖转化酶相关^[26]。BODELÓN O G 等研究贮藏在高 CO_2 环境中的草莓时发现蔗糖含量下降趋势明显, 认为高 CO_2 在蔗糖代谢中起了重要作用, 激活蔗糖的部分水解^[27]。

枇杷果实中的果糖和葡萄糖在包装的应激环境下一开始作为呼吸底物消耗较多, 但又同时是蔗糖的分

解产物,在14 d时含量有所上升,贮藏末期由于枇杷衰老过程的进行消耗加快和蔗糖分解缓慢,果糖和葡萄糖两个糖组分含量呈现下降趋势,这与Cao^[26]研究的“宁海白”枇杷在1℃下贮藏的变化规律相一致。微孔包装的枇杷果糖和葡萄糖含量除21 d外,其余贮藏时间均高于普通包装。山梨醇含量略有增加的趋势,微孔包装的枇杷山梨醇含量总体高于普通包装。在28 d贮藏结束时微孔包装比普通包装的枇杷葡萄糖、果糖、山梨醇含量分别高出了4.13%、4.51%、51.34%。贮藏7 d内微孔包装的枇杷甜度值显著($p<0.05$)高于普通包装,14 d后要低于普通包装,可能与蔗糖含量的关系较大。

2.6 包装方式对冷藏枇杷味觉指标变化的影响

由表3可知,电子舌能准确量化枇杷果实内的酸、甜、鲜、涩、涩味回味等味觉指标,并能区分各处理间的差异^[15]。随着贮藏时间延长,枇杷果实的酸味、涩味及涩味回味均在下降,甜味与鲜味普遍增加。其中普通包装的酸味、涩味及涩味回味下降更为明显,涩味及涩味回味在整个贮藏期显著($p<0.05$)低于微孔包装,酸味除第14 d外,其余时间段显著($p<0.05$)低于微孔包装。鲜味和甜味比微孔包装增加明显,其中甜味显著($p<0.05$)高于微孔包装,鲜味除第14 d外,其余时间段显著($p<0.05$)高于微孔包装。综合评价,微孔包装较普通包装在整个贮藏期的味觉变化差异相对较小,特别是酸味、甜味及鲜味三个味觉指标变化较缓,通过味觉指标的变化反映微孔包装能够延缓枇杷口感的降低,很大程度上保持了枇杷的风味。同时,两种包装方式的枇杷在贮藏至14~21 d期间,味觉变化值均有较大的转折。

2.7 微孔包装对冷藏枇杷挥发性物质的影响

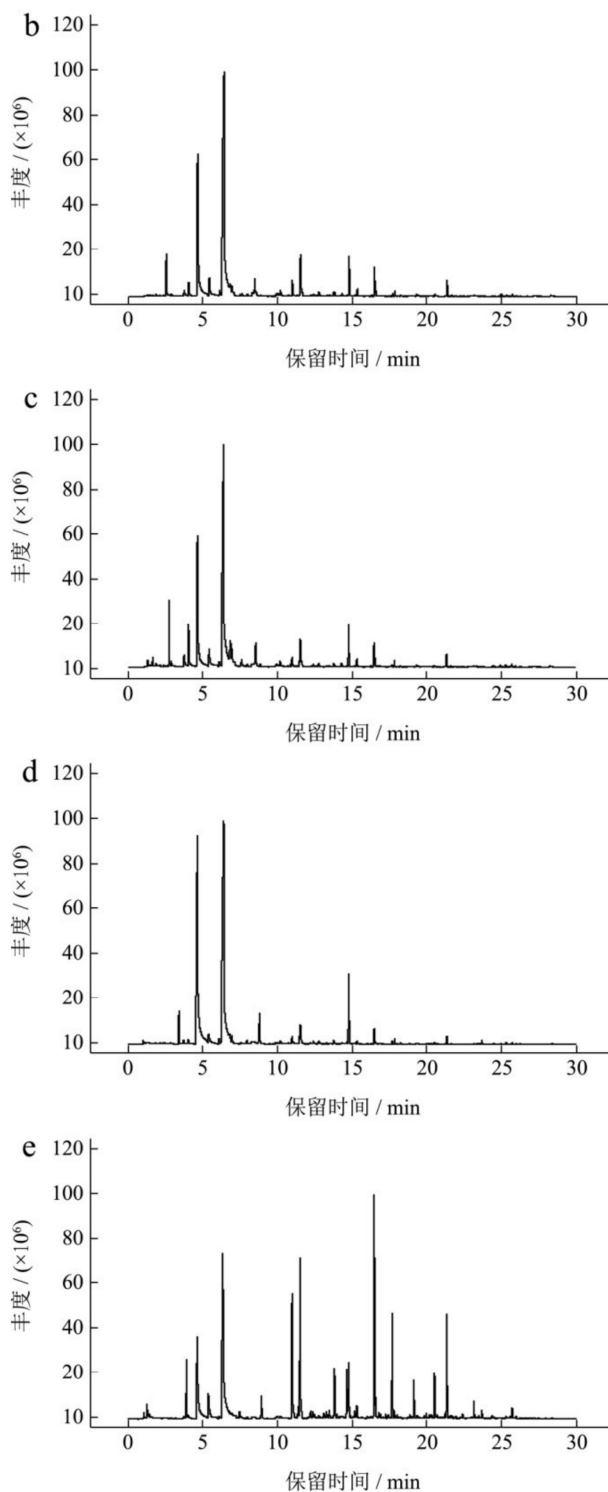
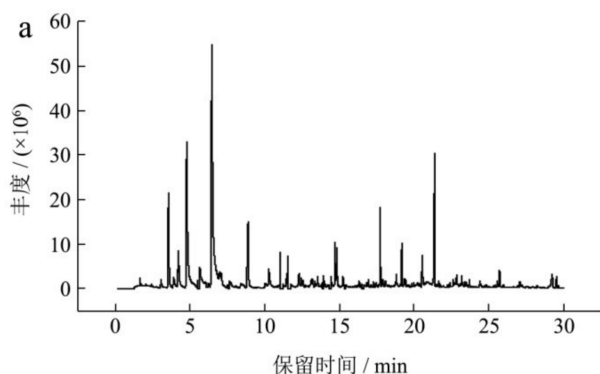


图5 新鲜样品(0 d)、微孔包装和普通包装的枇杷在14 d、28 d的挥发性物质总离子图

Fig.5 Total ionograms of volatile components in fresh samples (0 d), microporous packaging and self-mucous film packaging at 14 d and 28 d

注: a: 0 d; b: 微孔包装 14 d; c: 普通包装 14 d; d: 微孔包装 28 d; e: 普通包装 28 d。

利用 HS-SPME/GC-MS 技术检测枇杷贮藏期风味物质的种类及相对含量变化情况, 结果见表 4。枇杷在采后当天及随后 28 d 贮藏期内共检测出 54 种香气成分。新鲜采收的枇杷中检测到 37 种风味成分, 根据官能团种类主要分为醛类 15 种, 酯类 6 种, 醇类 5 种, 烷烃 3 种, 苯环类 4 种, 其他芳香族化合物 4 种, 其中醛类、酯类、醇类含量的贡献率分别为 39.37%, 27.96%, 23.94%。己醛是脂类衍生 C6 醛类物质, 相对含量最高, 为 25.83%, 2-甲基丁酸甲酯是枇杷中的特征挥发性物质, 相对含量为 16.26%, 其余物质含量均在 10% 以下, 而且有 10 种物质相对含量过低, 它们对枇杷果实香气的贡献大小有待进一步研究。

贮藏至 14 d 时, 检测到微孔包装和普通包装的枇杷挥发性物质分别为 19 和 22 种, 第 28 d 贮藏结束时, 分别为 28 和 39 种, 普通包装较微孔包装主要多了 8 种烷烃类物质、3 种酯类物质、3 种醇类物质, 醛类物质有所减少。实验发现冠玉枇杷中的挥发性物质以醛类为主要挥发性成分, 总相对含量接近 40%, 醛类以 C6 醛类己醛和(E)-2-己醛为代表, 在贮藏期间微孔包装后的枇杷(E)-2-己醛和己醛均高于普通包装, 两者总计在 14 d 和 28 d 分别高出 79.6% 和 61.99%。除己醛、(E)-2-己醛、2-甲基丁酸甲酯三种含量较多的风味成分外, 壬醛和甲苯两种物质存在于整个贮藏周期, 在 14

d 时微孔包装的相对含量要低于普通包装, 在 28 d 时两种包装形式的含量接近。甲苯与枇杷属于核果类水果相关, 其中的果核中含有苦杏仁苷、单宁等物质导致, 壬醛具有花香、柑橘味风味, 是一种比较常见的风味物质。通过贮藏过程的风味物质监测, 枇杷中己醛含量下降, (E)-2-己醛显著增加, 微孔包装的挥发性物质种类要少于自粘膜普通包装, 对香气值贡献最大的己醛、(E)-2-己醛含量要高于普通包装, 保留了枇杷果实的主要香气成分。

品种、成熟度及采后贮藏条件等都能影响果实香气的形成, 不同品种的枇杷在成熟过程中最主要差异是芳香特性, 果实的感官差异可通过挥发性物质来评估^[28], 在品种名为“Raúl”的枇杷中己醛、(E)-2-己醛、壬醛等以脂类衍生醛类为主要的挥发性成分在中熟期含量达到最高, 随着成熟度增加含量下降^[29], 冠玉枇杷同样在采后 14 d 表现出最高值后再下降的趋势。微孔包装后的枇杷风味物质种类变化比普通包装少, 改变了挥发性物质的种类, 并促进主要香气成分己醛、(E)-2-己醛物质含量的增加, 一定程度上延缓果实风味的损失, 正如参数为 100 μm, 3 孔的微孔包装在不影响无花果风味的前提下, 通过减缓生物活性促进了挥发性化合物分布的延迟, 从而提高了其在冷藏条件下的商业寿命^[11]。

表 4 微孔包装与自粘膜普通包装的枇杷冷藏期间挥发性物质的变化

Table 4 Changes of volatile compounds in loquat with microporous packaging and self-mucous film packaging during cold storage

序号	物质分类	保留时间/min	化合物	结构式	相对含量/%				
					0 d	普通包装		微孔包装	
						14 d	28 d	14 d	28 d
1	醛类 (15 种)	2.516	3-甲基丁醛	C ₅ H ₁₀ O	**	--	--	--	0.72
2		4.656	己醛	C ₆ H ₁₂ O	25.83	46.07	17.43	60.15	36.6
3		6.110	(E)-2-己醛	C ₆ H ₁₀ O	1.08	1.85	37.33	25.91	52.11
4		7.977	庚醛	C ₇ H ₁₄ O	**	--	0.56	--	**
5		8.303	(E,E)-2,4-己二醛	C ₆ H ₈ O	0.79	--	1.24	--	1.18
6		9.935	苯甲醛	C ₇ H ₆ O	0.62	1.33	**	*	--
7		11.272	(E,E)-2,4-庚二烯醛	C ₈ H ₁₄	*	*	--	*	**
8		11.470	辛醛	C ₈ H ₁₆ O	4.76	8.76	--	--	**
9		12.598	(E)-4-氧代-2-烯醛	C ₆ H ₈ O ₂	*	**	--	**	--
10		12.759	苯乙醛	C ₈ H ₈ O	**	**	0.67	0.91	**
11		13.283	(E)-2-辛醛	C ₈ H ₁₄ O	0.29	*	--	--	**
12		14.770	壬醛	C ₉ H ₁₈ O	3.95	9.21	5.63	5.51	5.78
13		17.824	癸醛	C ₁₀ H ₂₀ O	0.60	1.24	0.85	**	**
14		18.225	2,6,6-三甲基-1-环己烯-1-甲醛	C ₁₀ H ₁₆ O	**	**	0.39	**	**
15		20.675	十一醛	C ₁₁ H ₂₂ O	1.45	*	--	--	**

转下页

接上页								
16		1.885	丙酸甲酯	C ₄ H ₈ O ₂	4.11	1.71	--	*
17		2.896	丁酸甲酯	C ₅ H ₁₀ O ₂	3.41	--	1.14	--
18		4.062	2-甲基丁酸甲酯	C ₆ H ₁₂ O ₂	16.26	12.50	1.09	2.58
19		8.844	己酸甲酯	C ₇ H ₁₄ O ₂	3.86	6.92	--	*
20	酯类 (9种)	13.475	亚硫酸戊基十一烷基酯	C ₁₆ H ₃₄ O ₃ S	--	--	1.01	--
21		13.759	甲酸辛酯	C ₉ H ₁₈ O ₂	**	--	--	**
22		14.438	苯甲酸甲酯	C ₈ H ₈ O ₂	0.32	--	--	--
23		15.176	十二烷基碳酸异丁酯	C ₁₇ H ₃₄ O ₃	--	--	0.89	--
24		15.396	十八酸乙烯酯	C ₂₀ H ₃₈ O ₂	--	--	1.06	--
25		3.752	甲苯	C ₇ H ₈	1.94	5.13	0.55	1.28
26		7.608	对二甲苯	C ₈ H ₁₀	1.38	3.11	0.57	**
27	苯环类 (4种)	25.933	丁基羟基甲苯	C ₁₃ H ₂₄ O	*	**	0.37	**
28		29.491	2,6-双(1,1-二甲基乙基)-4-(1-氧代丙基)苯酚	C ₁₇ H ₂₆ O ₂	0.47	--	**	--
29		6.881	(Z)-2-己烯-1-醇	C ₆ H ₁₂ O	8.18	--	0.75	3.65
30		6.982	1-己醇	C ₆ H ₁₄ O	9.82	--	--	1.15
31		10.730	1-辛烯-3-醇	C ₈ H ₁₆ O	2.02	2.16	**	*
32		12.384	2-乙基-1-己醇	C ₈ H ₁₈ O	0.6	--	0.79	--
33	醇类 (8种)	13.299	2-丁基-1-辛醇	C ₁₂ H ₂₆	--	--	0.78	--
34		14.642	3,7-二甲基-1,6-辛二烯-3-醇	C ₁₀ H ₁₈ O	3.12	--	--	--
35		20.653	2-己基-1-癸醇	C ₁₆ H ₃₄ O	--	--	0.37	--
36		24.328	1-十四醇	C ₁₄ H ₃₀ O	--	--	0.46	--
37		11.390	癸烷	C ₁₀ H ₂₂	0.60	**	1.28	--
38		12.181	2,2,4,4,6,8,8-七甲基-壬烷	C ₁₆ H ₃₄	--	--	2.01	--
39		12.475	2-甲基-6-乙基-辛烷	C ₁₁ H ₂₄	--	--	0.76	--
40		13.117	2,6-二甲基-辛烷	C ₁₀ H ₂₂	--	--	0.50	--
41		14.658	十一烷	C ₁₁ H ₂₄	--	--	4.89	--
42	烷烃类 (13种)	14.893	4-甲基十一烷	C ₁₂ H ₂₆	--	--	0.43	--
44		16.802	3-甲基十一烷	C ₁₂ H ₂₆	--	--	0.67	--
45		17.685	十二烷	C ₁₂ H ₂₆	2.62	*	8.56	*
46		20.498	十三烷	C ₁₃ H ₂₈	**	--	3.62	--
47		21.605	1,2-二环己基丁烷	C ₁₆ H ₃₀	--	--	0.41	--
48		22.360	3-甲基-十三烷	C ₁₄ H ₃₀	--	--	0.60	--
49		23.13	十四烷	C ₁₄ H ₃₀	--	--	1.45	--
50		12.256	右旋-柠檬烯	C ₁₀ H ₁₆	1.20	--	--	--
51		12.983	β -罗勒烯	C ₁₀ H ₁₆	0.46	--	--	--
52	其他 (5种)	17.059	甘菊蓝	C ₁₀ H ₈	0.25	--	*	--
53		23.467	β -姜黄素	C ₁₅ H ₂₄	--	--	0.51	--
54		25.280	反式- β -紫罗兰酮	C ₁₃ H ₂₀ O	**	**	--	**

注：“--”表示该物质未检出或者不存在，“***”表示该物质匹配度>80%但含量过低。“*”表示参考文献有该物质，但实际测得匹配度<80%。

3 结论

3.1 风味损失是枇杷采后限制其贮藏的主要问题,冷藏条件下表现为食用品质恶化早于外观品质。激光打孔薄膜包装作为一种新型保鲜薄膜,较普通薄膜具有透气性可调、包装袋内气体组分适宜、保湿防水、且微孔膜气调保鲜方法比其他果蔬保鲜方法更卫生安全的优点。包装膜和微孔的气体透过量决定了包装内、外气体交换的速率,制备合适孔径和孔数的微孔包装有利于袋内 O_2 得到补充, CO_2 及时排出,达到适宜的气体贮藏环境,从而抑制果实的呼吸代谢强度、减少其营养消耗,延缓枇杷的衰老、延长货架期。

3.2 本实验中 BOPP 微孔包装显示出较优的保鲜效果,冷藏条件下 BOPP 微孔包装最高维持枇杷 O_2 12.40%, CO_2 7.80%的气体环境,能延缓枇杷失重率和腐烂率的下降,保持较高的可溶性固形物含量和较低的 PH 值,降低葡萄糖、果糖、山梨醇可溶性糖的含量损失,抑制味觉指标变化,保留主要香气成分含量,在提高商品性的同时延迟枇杷风味的下降。而且,微孔包装的枇杷在冷藏 21 d 后与 PE 自粘膜普通包装的品质差距加大。本实验结果为微孔包装在果蔬保鲜技术中的应用提供数据参考。微孔包装对枇杷蔗糖代谢过程及相关酶的调控机制有待进一步深入研究。

参考文献

- [1] 吴锦程,吴毕莎,陈冬倩,等.枇杷果实发育过程中山梨醇含量及相关酶活性的变化[J].热带作物学报,2014,35(10):1997-2001
WU Jin-cheng, WU Bi-sha, CHEN Dong-qian, et al. Changes of sorbitol content and related enzymes during the development of loquat fruit [J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2014, 35(10): 1997-2001
- [2] 李丹,陈欣,于佳佳.用于新鲜果蔬的不同包装材料的性能研究[J].包装工程,2018,39(21):117-120
LI Dan, CHEN Xin, YU Jia-jia. Performance of different packaging materials for fresh fruit and vegetable [J]. Packaging Engineering, 2018, 39(21): 117-120
- [3] 范晶晶,王朝丽,何娟,等.塘栖枇杷气调保鲜技术试验[J].浙江农业科学,2017,58(3):476-478
FAN Jing-jing, WANG Chao-li, HE Juan, et al. Study on the technology of controlled atmosphere preservation of Tangqi loquat [J]. Zhejiang Agricultural Science, 2017, 58(3):476-478
- [4] 郭振龙,陈湘宁,许丽,等.叶类蔬菜气调包装保鲜技术及其机理的研究进展[J].中国农学通报,2016,32(21):161-165
GUO Zhen-long, CHEN Xiang-ning, XU Li, et al. Research

progress of preservation technology and mechanism of leaf vegetables under MAP [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2016, 32(21): 161-165

- [5] 蔡佳昂,赵霞,周静,等.1-甲基环丙烯与微孔气调包装复合技术对红苕尖保鲜品质的影响[J].食品与发酵工业,2018,44(7):199-206
CAI Jia-ang, ZHAO Xia, ZHOU Jing, et al. Effects of 1-MCP and micro-porous films on quality of sweet potato leaves [J]. Food and Fermentation Industries, 2018, 44(7): 199-206
- [6] 李家政,李晓旭,王晓芸.甜玉米微孔自发气调包装应用研究[J].包装工程,2015,36(3):31-35,64
LI Jia-zhen, LI Xiao-xu, WANG Xiao-yun. Application of micro-perforated modified atmosphere packaging of sweet corn [J]. Packaging Engineering, 2015, 36(3): 31-35, 64
- [7] 赵彬,黄美娜,袁毅,等.贮藏温度对微孔膜包装茶树菇的保鲜效果影响[J].包装工程,2017,38(9):41-45
ZHAO Bin, HUANG Mei-na, YUAN Yi, et al. Effect of storage temperature on agrocybe aegerita packaged with micro-porous film [J]. Packaging Engineering, 2017, 38(9):41-45
- [8] 王晓芸,罗帅,孝培培,等.微孔包装对油麦菜贮藏品质的影响[J].北方园艺,2014,24:119-123
WANG Xiao-yun, LUO Shuai, XIAO Pei-pe, et al. Effect of micro-perforated packing on the quality of romaine lettuce during storage [J]. Northern Horticulture, 2014, 24: 119-123
- [9] 李家政,毕大鹏.不同保鲜膜包装对蜜柚冷藏效果和货架品质的影响[J].农业工程学报,2010,26(S1):315-319
LI Jia-zheng, BI Da-peng. Influence of different film packaging on storage and shelf-life quality of pumelo fruit [J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(S1): 315-319
- [10] 李家政,毕大鹏.微孔膜包装对鸭梨贮藏品质的影响(英文)[J].果树学报,2010,27(1):57-62
LI Jia-zheng, BI Da-peng. Effects of micro-perforated film packaging on the quality of Yali pear fruit (*Pyrus bretschneideri* cv. Yali) during storage [J]. Journal of Fruit Science, 2010, 27(1): 57-62
- [11] Villaobos M C, Serradilla M J, Martina A, et al. Influence of modified atmosphere packaging (MAP) on aroma quality of figs (*Ficus carica* L.) [J]. Postharvest Biology and Technology, 2018, 136: 145-151
- [12] 邵霜,王莉,凌晨,等.不同纳米改性 LDPE 膜对枇杷保鲜效果的影响[J].核农学报,2019,33(8):1527-1534
SHAO Shuang, WANG Li, LING Chen, et al. Effects of different nano modified LDPE film on the preservation quality of loquat fruit [J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences,

- 2019, 33(8): 1527-1534
- [13] 李靖,孙淑霞,陈栋,等.枇杷成熟果实中可溶性糖组分及含量分析[J].安徽农业科学,2017,45(2):89-91
- LI Jing, SUN Shu-xia, CHEN Dong, et al. Analysis of components and contents of soluble sugars in mature fruits of loquat [J]. Journal of Anhui Agriculture Science, 2017, 45(2): 89-91
- [14] 陈秀萍,邓朝军,许奇志,等.4个枇杷品种果实糖组分含量及其分布研究[J].福建农业学报,2015,30(2):141-145
- CHEN Xiu-ping, DENG Chao-jun, XU Qi-zhi, et al. The components and contents of sugars and distribution in four cultivars of loquat [J]. Fujian Journal of Agricultural Sciences, 2015, 30(2): 141-145
- [15] 郭琳琳,罗静,庞荣丽,等.基于电子舌的氯吡啶对草莓风味影响的研究[J].现代食品科技,2019,35(10):182-188
- GUO Lin-lin, LUO Jing, PANG Rong-li, et al. Electronic tongue-based study on the effect of clopidogrel phenyl urea (CPPU) on the flavor quality of strawberry [J]. Modern Food Science and Technology, 2019, 35(10): 182-188
- [16] 谢若男,马晨,张群,等.海南省芒果主产区主栽品种果实挥发性成分的对比[J].热带作物学报,2019,40(3):558-566
- XIE Ruo-nan, MA Chen, ZHANG Qun, et al. Comparative study on volatile components of mango fruit (*Mangifera indica* L.) from main producing regions of hainan province [J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2019, 40(3): 558-566
- [17] 张壹钦,郝海燕,韩延超,等.振动胁迫下PVA基微孔减振包装对草莓品质的影响[J/OL]. 中国食品学报,2019,19(11): 215-222
- ZHANG Yi-qin, GAO Hai-yan, HAN Yan-chao, et al. Effect of PVA-based microporous vibration-damping packaging on strawberry quality under vibration stress [J/OL]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology: 2019, 19(11): 215-222
- [18] 黎晓茜,龙友华,尹显慧,等.茉莉酸甲酯处理对猕猴桃软腐病菌作用机制及果实品质的影响[J].食品科学,2019,40(15): 239-248
- LI Xiao-qian, LONG You-hua, YIN Xian-hui, et al. Mechanism of action of methyl jasmonate against kiwifruit soft rot and its effect on fruit quality [J]. Food Science, 2019, 40(15): 239-248
- [19] SONG Hu-wei, YUAN Wei-ming, JIN Peng, et al. Effects of chitosan/nano-silica on postharvest quality and antioxidant capacity of loquat fruit during cold storage [J]. Postharvest Biology and Technology, 2016, 119: 41-48
- [20] 廖李,张莉会,胡杨,等.不同包装结合硅藻土负载丁香酚缓释对草莓贮藏品质的影响[J].食品科学,2019,40(19):263-271
- LIAO Li, ZHANG Li-hui, HU Yang, et al. Effect of different packaging treatments combined with eugenol-loaded diatomite on storage quality of strawberry [J]. Food Science, 2019, 40(19): 263-271
- [21] 陈学玲,张莉会,严守雷,等.包装材料对鲜切西兰花贮藏品质的影响[J].食品科学,2018,39(13):246-250
- CHEN Xue-ling, ZHANG Li-hui, YAN Shou-lei, et al. Effects of packaging materials on storage quality of fresh-cut broccoli [J]. Food Science, 2018, 39(13): 246-250
- [22] 朱丽娜,孟新涛,徐斌,等.CO₂气调包装对轮南白杏采后呼吸和色泽质地的影响[J].现代食品科技,2019,35(7):89-98
- ZHU Li-na, MENG Xin-tao, XU Bin, et al. Effect of CO₂ modified atmosphere packaging on postharvest respiration, color and texture of 'Lunnan' apricot [J]. Modern Food Science and Technology, 2019, 35(7): 89-98
- [23] Mphahlele R R, Fawole O A, Opara U L. Influence of packaging system and long term storage on physiological attributes, biochemical quality, volatile composition and antioxidant properties of pomegranate fruit [J]. Scientia Horticulturae, 2016, 211: 140-151
- [24] 蒋际谋,陈秀萍,胡文舜,等.枇杷种质资源果实糖组分及含量特征[J].园艺学报,2015,42(9):1781-1788
- JIANG Ji-mou, CHEN Xiu-ping, HU Wen-shun, et al. Characteristics of components and contents of soluble sugars in mature fruits of loquat [J]. Germplasm Acta Horticulturae Sinica, 2015, 42(9): 1781-1788
- [25] 陈秋燕,周京,张波,等.白肉枇杷与红肉枇杷成熟果实可溶性糖组成差异及其与蔗糖代谢相关酶活性的关系[J].果树学报,2010,27(4):616-621
- CHEN Qiu-yan, ZHOU Jing, ZHANG Bo, et al. Sugar composition difference between white-and red-fleshed loquat fruits and its relation with activities of sucrose-metabolizing enzymes [J]. Journal of Fruit Science, 2010, 27(4): 616-621
- [26] CAO Shi-feng, YANG Zhen-feng, ZHENG Yong-hua. Sugar metabolism in relation to chilling tolerance of loquat fruit [J]. Food Chemistry, 2013, 136(1): 139-143
- [27] Bodelón G, Blanch M, Sanchez-ballesta M T, et al. The effects of high CO₂ levels on anthocyanin composition, antioxidant activity and soluble sugar content of strawberries stored at low nonfreezing temperature [J]. Food Chemistry, 2010, 122(3): 673-678

- influence of surfactants and cosurfactants on emulsion stability and foam quality [J]. *Langmuir*, 1991, 7(7): 1370-1377
- [6] Levine S, Bowen B D, Partridge S J. Stabilization of emulsions by fine particles I. Partitioning of particles between continuous phase and oil/water interface [J]. *Colloids & Surfaces*, 1989, 38(2): 325-343
- [7] TAN Huan, SUN Guan-qing, LIN Wei, et al. Gelatin particle-stabilized high internal phase emulsions as nutraceutical containers [J]. *Acs Applied Materials & Interfaces*, 2014, 6(16): 13977
- [8] Aveyard R, Binks B P, Clint J H. Emulsions stabilised solely by colloidal particles [J]. *Advances in Colloid & Interface Science*, 2003, 100-102: 503-546
- [9] McTigue W C B, Perry S L. Design rules for encapsulating proteins into complex coacervates [J]. *Soft Matter*, 2019, 15(15): 3089-3103
- [10] Barbosa L R S, Ortore M G, Spinozzi F, et al. The importance of protein-protein interactions on the pH-induced conformational changes of bovine serum albumin: a small-angle X-ray scattering study [J]. *Biophysical Journal*, 2010, 98(1): 147-157
- [11] Deep S, Ahluwalia J C. Interaction of bovine serum albumin with anionic surfactants [J]. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 2001, 3(20): 4583-4591
- [12] LI Zi-fu, XIAO Man-da, WANG Jian-fang, et al. Pure protein scaffolds from Pickering high internal phase emulsion template [J]. *Macromolecular Rapid Communications*, 2013, 34(2): 169-174
- [13] Al-Malah K I, Azzam M O J, Omari R M. Emulsifying properties of BSA in different vegetable oil emulsions using conductivity technique [J]. *Food Hydrocolloids*, 2000, 14(5): 485-490
- [14] LIANG Han-ning, TANG Cuan-he. Pea protein exhibits a novel Pickering stabilization for oil-in-water emulsions at pH 3.0 [J]. *LWT - Food Science and Technology*, 2014, 58(2): 463-469
- [15] Gallier S, Gragson D, Jime Nez-Flores R, et al. Using confocal laser scanning microscopy to probe the milk fat globule membrane and associated proteins [J]. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 2010, 58(7): 4250-4257
- [16] Salis A, Bostro M M, Medda L, et al. Measurements and theoretical interpretation of points of zero charge/potential of BSA protein [J]. *Langmuir*, 2011, 27(18): 11597-11604
- [17] JIAO Bo, SHI Ai-ming, WANG Qiang, et al. High internal phase pickering emulsions stabilized solely by peanut protein microgel particles with multiple potential applications [J]. *Angewandte Chemie-international Edition*, 2018, 57(30): 9274-9278
- [18] LIU Fu, TANG Chuan-he. Emulsifying properties of soy protein nanoparticles: Influence of the protein concentration and/or emulsification process [J]. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 2014, 62(12): 2644-2654
- [19] CHEN Qiu-hong, ZHENG Jie, XU Yan-teng, et al. Surface modification improves fabrication of pickering high internal phase emulsions stabilized by cellulose nanocrystals [J]. *Food Hydrocolloids*, 2018, 75: 125-130
- [20] Kim K H, Kim S, Ryu J, et al. Processable high internal phase Pickering emulsions using depletion attraction [J]. *Nature Communications*, 2017, 8: 14305
- [21] Jafari S M, HE Ying-he, Bhandari B. Optimization of nano-emulsions production by microfluidization [J]. *European Food Research & Technology*, 2007, 225(5-6): 733-741
- [22] CHEN Xiao-wei, WANG Jin-mei, GUO Jian, et al. Hierarchical high internal phase emulsions and transparent oleogels stabilized by quillaja saponin-coated nanodroplets for color performance [J]. *Food & Function*, 2017, 8(2): 823-831

(上接第 146 页)

- [28] Besada C, Salvador A, Sdiri S, et al. A combination of physiological and chemometrics analyses reveals the main associations between quality and ripening traits and volatiles in two loquat cultivars [J]. *Metabolomics*, 2013, 9(2): 324-336
- [29] Besada C, Sanchezb G, Gila R, et al. Volatile metabolite profiling reveals the changes in the volatile compounds of new spontaneously generated loquat cultivars [J]. *Food Research International*, 2017, 100: 234-243