

不同内包装方式对模拟运输过程中水蜜桃品质的影响

黎春红^{1,2}, 周宏胜¹, 张雷刚¹, 罗淑芬¹, 胡花丽¹, 李鹏霞¹

(1. 江苏省农业科学院农产品加工研究所, 江苏南京 210014) (2. 沈阳农业大学食品学院, 辽宁沈阳 110866)

摘要: 机械损伤是导致水蜜桃运输品质下降的重要原因之一, 而合理的包装方式对水蜜桃的品质保持效果显著。本实验参考公路运输标准, 于常温 (23±1 °C, 相对湿度 70%~80%) 条件下模拟不同距离的快递运输, 以‘白凤’水蜜桃为试材, 在外包装相同的条件下, 研究了 5 种内包装方式 (P1~P5) 对运输过程中水蜜桃品质的影响。结果表明: 采用珍珠棉+保鲜膜的内包装方式 (P5) 能保持水蜜桃较高的硬度和可溶性固形物含量, 降低失重与呼吸强度, 减轻果肉褐变, 减缓 L^* 值的下降速率, 维持较高的过氧化氢酶 (catalase, CAT)、抗坏血酸过氧化物酶 (ascorbate peroxidase, APX)、过氧化物酶 (peroxidase, POD) 活性, 并保持组织较低的苯丙氨酸解氨酶 (phenylalanineammonialyase, PAL) 活性。综合新鲜程度、风味及口感等感官品质因素, P5 包装处理对运输过程中水蜜桃的防护与保鲜效果最为显著, 为最适宜水蜜桃采后流通的内包装方式。

关键词: 水蜜桃; 内包装; 模拟运输; 抗性相关酶

文章编号: 1673-9078(2017)12-177-183

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2017.12.027

Effects of Different Inner-Packages Treatments on the Quality of Juicy Peach Fruits during Simulated Transportation

LI Chun-hong^{1,2}, ZHOU Hong-sheng¹, ZHANG Lei-gang¹, LUO Shu-fen¹, HU Hua-li¹, LI Peng-xia¹

(1. Institute of Agro-product Processing, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China)

(2. College of Food Science, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China)

Abstract: Mechanical damage is one of the main reasons for the decline of fruits and vegetables quality during transportation, while the inner-package is the key factor for quality of them during the process. In the experiment, the effects of cushioning materials and five inner-packages types on mechanical bruising of packaged peach fruits (the ‘baifeng’ cultivar) were investigated under the conditions of ambient temperature (23±1 °C) and relative humidity of 70%~80%. In order to screen out the most suitable inner-package for peaches, different distances of express transportation was simulated according to the standard of highway transportation. The results indicated that the inner-package of EPE and film (P5) could retard the reduction of firmness, slow down the decrease of soluble solid content (TSS) and L^* value, alleviate browning degree of juicy peach fruits, suppress the increase of weight loss and respiration rate, and remain the higher resistant enzymes activities of APX (ascorbate peroxidase), POD (peroxidase) and CAT (catalase). Moreover, PAL (phenylalanineammonialyase) activities were kept in a relatively low level. Considering the factors of the freshness, flavor and taste, the P5 inner-package exhibited the best capacity for vibration reduction and fresh-keeping of juicy peach fruits. In conclusion, the P5 package method was the most appropriate inner-package treatment for postharvest circulation of juicy peach fruits.

Key words: juicy peach fruits; inner-package; simulated transportation; resistant enzymes

果蔬从采收到销售的各个环节会遭受不同程度的挤压、碰撞和振动等胁迫, 造成组织结构破坏、外观品质降低、营养成分损失和机械损伤的发生等问题^[1]。

收稿日期: 2017-06-26

基金项目: 江苏省农业自主创新资金[CX(15)1048]

作者简介: 黎春红 (1992-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 果蔬保鲜

通讯作者: 李鹏霞 (1976-), 女, 博士, 研究员, 研究方向: 果蔬保鲜与加工

另外, 机械损伤还可引起生理代谢紊乱及微生物侵染, 加速果蔬的衰老、腐烂, 致使采后运输流通损耗严重^[2]。据统计, 果蔬采后运输流通过程中由于机械损伤而造成的损失率高达 25%~45%^[3]。水蜜桃属于呼吸跃变型果实^[4], 采后后熟速度快, 水分含量高, 质地绵软多汁, 在运输中极易产生机械损伤, 是造成水蜜桃采后流通过程中品质降低的主要原因。因此研究有效的减振包装方式以减轻运输流通中水蜜桃的机械损伤

迫在眉睫。

包装是果蔬采后贮运保鲜的重要措施,可有效减缓果蔬运输过程中遭受的机械损伤,已被广泛应用于果蔬中长途运输及电商物流环节^[5],受到了越来越多研究者的关注。周然等^[6]检测了不同内包装(纸袋和网套包装)的黄花梨运输后机械损伤情况,发现网套比纸袋包装具有更好的保护作用。卢立新等^[7]研究了不同缓冲衬垫对箱装水晶梨运输振动损伤的影响,结果表明瓦楞纸板衬垫与隔挡可减小梨果实损伤率15%~25%,而瓦楞纸板衬垫、隔挡及网罩的联合包装方式则可减小损伤率35%~45%。Fadiji等^[8]采用随机振动模拟运输环境,探索不同内包装方式对苹果机械损伤的影响,结果表明泡沫托盘防护效果优于纸浆托盘。Barchi等^[9]研究了模拟振动下批把的机械损伤,发现包装箱的位置对损伤的影响较小,而采用隔热衬垫可降低损伤。

目前,泡沫箱和纸箱常用作桃果实的外包装,具有便于堆垛,易于运输的优点,但泡沫箱及纸箱的粘弹性较小,易受到堆码、运输工具和路面等各种冲击力,会对水蜜桃产生较大的振动损伤^[10],可见施加合适的内包装材料,人为降低运输过程中水蜜桃品质的损耗就显得尤为必要。但已开展的不同包装方式对运输过程中水蜜桃品质影响的研究,大多集中在对外包装的探讨,而关于内包装方式的研究还不够系统。另外,运输过程中的包装方式更多的关注于材料的减震性,对材料的保鲜效果关注较少。因此本实验参考公路运输标准,模拟不同距离的快递运输,研究了不同缓冲包装材料、保鲜材料及其复合内包装方式对水蜜桃振动损伤的防护效果,以确定最适于水蜜桃运输流通的内包装方式,旨在为水蜜桃的采后流通提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 材料

“白凤”水蜜桃:采于江苏省农业科学院,1 h内运至实验室预冷,挑选大小均匀,成熟度基本一致,形状规则且无机械损伤、无病虫害的果实进行试验。

瓦楞纸箱:楞高2 mm,楞数78个/300 mm,纸箱尺寸390 mm×270 mm×100 mm;保鲜膜:CO₂的渗透系数为174697.36 mL/(m²·d);O₂的渗透系数为79367.57 mL/(m²·d);透湿率为17.41 g/(m²·d)(相对湿度50%);网套:网状的EPS发泡材料;纸袋:三边封口型加厚白纸;珍珠棉:环保型EPE珍珠棉。

1.2 仪器与设备

FT-011型手持硬度测试计,意大利Affri公司;PAL-1型手持数显折光仪,日本Atago公司;CR-400色差测定仪,日本柯尼卡美能达公司;ZD/YH-F全能微电脑垂直振动台,上海一华仪器设备有限公司;Technologies 7280A气相色谱仪,美国Agilent公司。

1.3 方法

1.3.1 处理

经预冷、分拣后的供试水蜜桃,随机分为7组,每组60个果实,分装为5箱,每箱单层摆放12个水蜜桃。在外包装均采用瓦楞纸箱的条件下,以不运输(CK1)和不包装(CK2)为对照,设置保鲜膜(P1)、网套(P2)、纸袋(P3)、珍珠棉(P4)、珍珠棉+保鲜膜(P5)5种包装运输方式(图1)。除CK1外,将其余处理组纸箱置于振动台上模拟运输,采用分层堆码,每隔2 h将各处理纸箱换层(为了消除堆叠方式对各处理组水蜜桃品质的影响),每天振动18 h。振动台模拟随机振动,频率采用5~55 Hz,强度为15%~45%,5 Hz和55 Hz分别设置1800 S,扫频速度为每分钟1/2个倍频程^[11,12]。模拟运输期间每隔2 d取样一次,测定水蜜桃各项品质指标的变化。

1.3.2 测定项目与方法

1.3.2.1 呼吸强度测定

从各处理中随机选取2个水蜜桃(每个处理3个平行),置于4.5 L乐扣盒室温密闭1 h,抽取1 mL气体于气相色谱仪测定,呼吸强度以mg/(kg·h)为单位。

1.3.2.2 失重率计算

用电子天平称取果实重量,每次测定8个果实,重复测定3次,根据式(1)计算失重率。

$$\text{失重率}(\%) = \frac{\text{运输前的质量} - \text{测定时的质量}}{\text{运输前的质量}} \times 100$$

1.3.2.3 硬度测定

用刀片在果实最大横径处选对角位置切去1 cm²的果皮后,在去皮处用果实硬度计测定,每次测定10个果实。

1.3.2.4 可溶性固形物(TSS)含量测定

用手持折光仪在果实最大横径处选对角位置取样测定,每次测10个果实。

1.3.2.5 色度测定

用刀片在果实最大横径处选对角位置去皮后,在去皮处用色差计测定,每次测定10个果实。

1.3.2.6 褐变度测定

参考 Jiang 等^[13]的方法, 略有改动。称取 2 g 样品研磨后加入 10 mL 0.1 mol/L 磷酸缓冲液 (pH 7.5), 匀浆, 4 °C 10000 r/min 离心 20 min。于 410 nm 波长处测定上清液吸光值, 计算褐变度。

1.3.2.7 感官评价

感官指标采用观察品尝法, 由 15 人组成的品评小组根据表 1 对水蜜桃的新鲜程度、风味及口感等感官品质因素进行评定。



图 1 水蜜桃的包装运输方式

Fig.1 Various packages and transportation treatments for juicy peach fruits

注: CK1 不运输、CK2 不包装、P1 保鲜袋、P2 网套、P3 纸袋、P4 珍珠棉、P5 珍珠棉+保鲜膜包装

1.3.2.8 CAT、APX 及 POD 活性测定

酶液的提取: 称取 2 g 样品研磨后加入 5 mL 50 mmol/L 磷酸缓冲液 (pH 7.8, 另含 0.1 mmol/L EDTA, 0.3% Triton X-100 和 4% PVP), 匀浆, 4 °C 10000 r/min 离心 20 min, 上清即为酶提取液。

CAT、APX 及 POD 活性测定参考 Mohamed 等^[14]的方法, 略有改动。CAT 活性测定: 取 200 μL 酶提取液和 2 mL 0.05 mol/L 磷酸缓冲液 (pH 7.0) 于 25 °C

水浴预热 5 min, 加入 1 mL 0.2% H₂O₂, 立即于 240 nm 波长处扫描, 以 1 min 内 ΔOD₂₄₀ 减少 0.01 为一个酶活单位 (U), 以 U/g 表示 CAT 活性单位。

APX 活性测定: 取 2 mL 50 mmol/L 磷酸缓冲液 (pH 7.0), 1 mL 2 mmol/L H₂O₂, 0.6 mL 0.5 mmol/L ASA 和 300 μL 酶提取液, 于 290 nm 波长处测定 3 min 内吸光值变化。以 1 min 内 ΔOD₂₉₀ 减少 0.01 为一个酶活单位 (U), 以 U/g 表示 APX 活性单位。

过氧化物酶 (POD) 活性测定: 将 200 μL 酶提取液加入 2 mL 0.05 mol/L 愈创木酚中, 于 30 °C 水浴平衡 5 min, 然后加入 1 mL 0.2% 的 H₂O₂, 混匀, 1 min 后扫描 470 nm 波长处吸光值变化, 以 1 min 内 ΔOD₄₇₀ 减少 0.01 为一个酶活性单位 (U), 以 U/g 表示 POD 活性单位。

1.3.2.9 苯丙氨酸解氨酶 (PAL) 活性测定

酶液的提取: 称取 2 g 样品研磨后加入 5 mL 10 mmol/L 硼酸缓冲液 (pH 8.8, 另含 0.1 mmol/L EDTA, 0.3% Triton X-100 和 4% PVP), 匀浆, 4 °C 10000 r/min 离心 20 min, 上清即为酶提取液。

苯丙氨酸解氨酶 (PAL) 活性测定参考 Chen 等^[15]的方法, 略有改动。反应体系为 4 mL, 包括 0.02 mol/L L-苯丙氨酸 1.0 mL、0.1 mol/L 硼酸缓冲液 (pH 8.8) 2.0 mL、稀释 10 倍的酶提取液 1.0 mL, 摇匀后于 30 °C 水浴保温反应 60 min 后, 加入 6 mol/L HCl 溶液 0.2 mL 终止反应, 于 290 nm 波长处扫描, 以每小时 ΔOD₂₉₀ 增加 0.01 为一个酶活单位 (U), 以 U/g 表示 PAL 活性单位。

1.4 数据处理及分析

采用 Excel 2007 软件统计数据, 所有数据为 3 次以上重复试验的平均值±标准误差; 采用 SPSS 21.0 对数据进行差异显著性分析, 数据处理间差异显著性检验采用 Duncan 法; 并用 Origin 8.5 及 Excel 2007 软件绘制作图。

表 1 感官评价的评分标准

Table 1 Criteria for sensory evaluation of juicy peach fruits

感官指标	评分				
	1~2	3~4	5~6	7~8	9~10
新鲜程度	严重萎蔫表皮皱缩	稍有萎蔫表皮微皱	轻微失水光泽暗淡	较新鲜略有光泽	表皮新鲜有光泽
色泽	近核及表皮严重褐变	近核及表皮明显褐变	近核及表皮轻微褐变	色泽基本正常	色泽正常无褐变
风味	有明显异味	无桃香味	桃香味较淡	桃香味较浓	桃香味浓郁
口感	组织无汁严重变绵	组织稀软汁少变绵	组织较稀软汁略少	组织较密多汁稍软	组织致密多汁较脆

2 结果与分析

2.1 呼吸强度

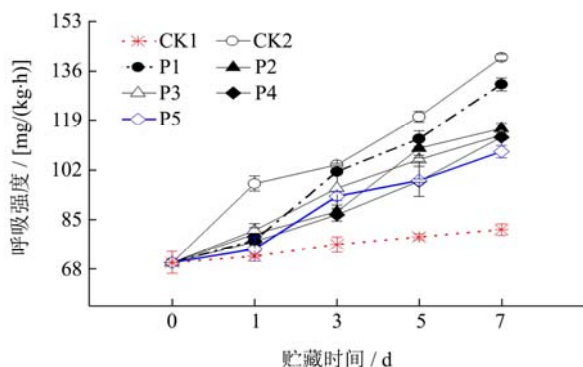


图2 不同内包装方式对模拟运输过程中水蜜桃呼吸强度的影响

Fig.2 Effects of different inner-packages on the respiration rate of juicy peach fruits during simulated transportation

呼吸作用与果实的后熟衰老和振动胁迫密切相关。水蜜桃在运输期间呼吸作用旺盛, 随着时间的延长, 呼吸强度呈现持续上升趋势(图2)。这同其他学者在杏果实^[16]和猕猴桃^[17]等的研究结果一致。这是果实对胁迫的应激反应, 增强自身呼吸强度以抵抗外界逆境条件。相对于CK2, 各内包装方式对呼吸强度均起到了一定的抑制效果, 其中P4和P5处理组在整个运输期间都保持着相对较低的呼吸强度, 运输至7d时, P5处理组水蜜桃呼吸强度上升了35.17%, 仅为CK1的2.53倍, 并极显著低于P1、P2、P3、CK2 ($p < 0.01$)。

2.2 失重率

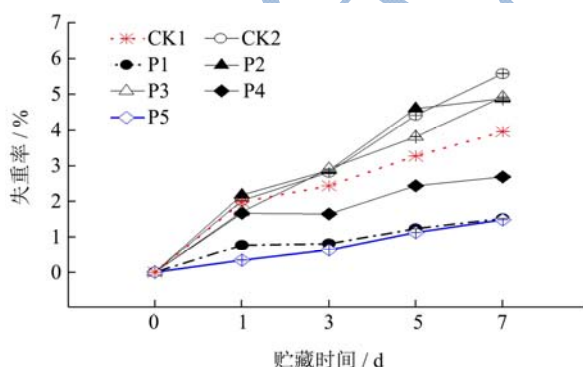


图3 不同内包装方式对模拟运输过程中水蜜桃失重率的影响

Fig.3 Effects of different inner-packages on the weight loss rate of juicy peach fruits during simulated transportation

在果蔬的贮藏流通中, 失重率超过5.00%, 通常会有皱缩萎蔫现象发生, 商品性大大降低。随运输时间延长, 水蜜桃失重率呈现上升趋势(图3), 这主要是由于采后呼吸作用导致果实水分的散失。至运输结

束, P1和P5处理组水蜜桃的失重率最低, 仅为1.50%, 极显著低于其余处理组 ($p < 0.01$), 这是由于P1与P5处理组的保鲜膜具有较好的保水性; 而其余处理组果实长期裸露于空气中, 水分大量散失, 后期果皮皱缩, 尤其是P2、P3、CK2组水蜜桃在第7d时失重率已超过5.00%。可见, 在水蜜桃运输过程中, P1与P5内包装方式在降低果实失重率方面有较明显效果。

2.3 硬度

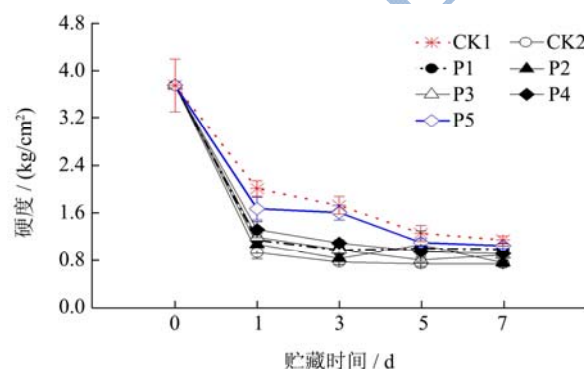


图4 不同内包装方式对模拟运输过程中水蜜桃硬度的影响

Fig.4 Effects of different inner-packages on the firmness of juicy peach fruits during simulated transportation

果肉硬度是衡量鲜果品质和贮藏性状的重要指标。随运输时间的延长, 水蜜桃果肉硬度呈不断下降的趋势(图4)。运输至3d, CK2组果肉硬度下降了79.37%, 同期CK1组果实硬度仅下降了53.94%, 可见振动胁迫是加速水蜜桃后熟软化的重要原因。这同Lee等^[18]以番茄为试材所得的研究结果一致, Lee认为软化是振动胁迫引起相关降解细胞壁的酶活增加的结果, 振动胁迫刺激呼吸强度增加也同样可加速软化。但运输期间, 经不同内包装处理的果肉硬度均高于对照组CK2, 且CK1及P5处理组始终保持着较高的果肉硬度, 在运输中期(1、3、5d)显著高于其余处理组 ($p < 0.05$)。

2.4 可溶性固形物

不同内包装处理的水蜜桃TSS含量随运输时间的延长, 大体呈现逐渐下降的趋势(图5); 而CK1果实的TSS含量在第3d以后略有上升, 可能是由于失水加剧, 可溶性固形物浓缩所致。运输前期(0~3d), 各包装处理的水蜜桃可溶性固形物含量逐渐下降, 主要是因为果实自身代谢导致营养物质被消耗, 可溶性固形物减少, 但变化幅度较小; 3d后运输组水蜜桃TSS含量呈现明显的下降趋势, 这可能是由于水蜜桃在运输过程中均产生了不同程度的机械损伤, 呼吸作用加剧, 消耗大量的营养成分, 导致可溶性固形物含

量大幅减少。运输至 7 d, CK2 组水蜜桃 TSS 含量降低了 18.94%, 下降速率最大, 这可能是由于 CK2 没有采取任何减振措施, 运输造成的机械伤最为严重, 这与李莹等^[19]在研究机械伤对草莓果实 TSS 含量的变化趋势保持一致; 而 P5 内包装处理组 TSS 含量仅下降了 9.93%, 机械损伤程度较轻, 与其余振动处理组相比, P5 内包装方式维持水蜜桃较高的 TSS 含量。

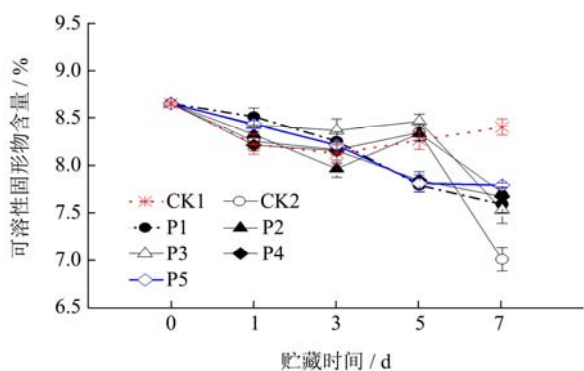


图5 不同内包装方式对模拟运输过程中水蜜桃可溶性固形物的影响

Fig.5 Effects of different inner-packages on the soluble solids contents of juicy peach fruits during simulated transportation

2.5 果肉 L*值及褐变度

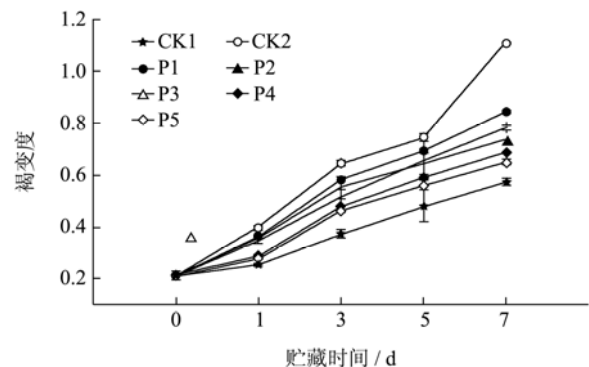
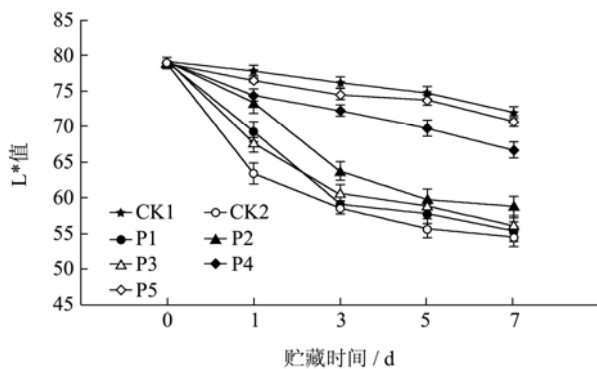


图6 不同内包装方式对模拟运输过程中水蜜桃果肉 L*值及褐变度的影响

Fig.6 Effects of different inner-packages on the L*value and browning degree of juicy peach fruits during simulated transportation

各处理组水蜜桃在运输期间均遭受了不同程度的机械损伤, 导致果肉出现程度不一的褐变。在色差体系中, L*值表示明度, L*值越大, 果肉颜色越浅, 反之则越深。水蜜桃运输期间 L*值呈逐渐下降趋势, 褐变度与 L*值的变化趋势恰好相反 (图 6), 这同肖丽娟等^[20]在研究振动胁迫对水蜜桃褐变指数的影响趋势基本一致。其中 CK2、P1、P2、P3 处理组的 L*值大幅下降, 果肉褐变度明显升高; 而 P4、P5 处理组水蜜桃 L*值下降较为缓慢, 褐变度保持最低水平。运输至 7 d, P5 处理组水蜜桃的 L*值比 CK2 组高 22.75%, 褐变度相较于 CK2 组降低了 41.32%, 且 P5 处理组与 CK1 对照组果实的 L*值及褐变度相当, 无显著性差异 ($p>0.05$)。可见, P5 内包装方式能有效减轻运输过程中水蜜桃果肉褐变的现象。

2.6 感官评价

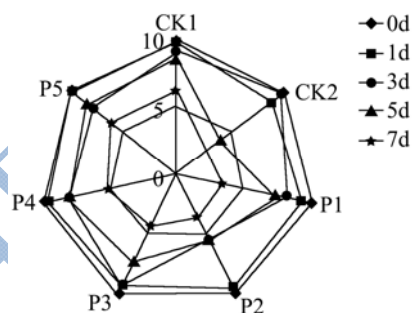


图7 不同内包装方式对模拟运输过程中水蜜桃感官评价的影响

Fig.7 Effects of different inner-packages on the sensory evaluation of juicy peach fruits during simulated transportation

随运输时间的延长, 水蜜桃品质呈下降的趋势 (图 7)。而经不同内包装处理的水蜜桃风味、口感均明显优于 CK2。由于果皮失水干皱、果肉褐变、机械损伤严重、软化等原因, CK2 在运输 5 d 后基本丧失商品价值; 但不同内包装处理间的保鲜效果也存在一定差异, 综合水蜜桃新鲜程度、色泽、风味和口感等感官指标, 各处理的品质保持效果依次为: P5>P4>P3>P2>P1。至运输结束, P5 处理组水蜜桃的感官品质极显著优于 P1、P2、P3、P4 ($p<0.01$), 且与 CK1 处理组并无显著差异。可见, P5 内包装方式能维持水蜜桃运输期间相对较高的综合感官品质。

2.7 CAT、APX、POD 及 PAL 活性

振动胁迫是导致水蜜桃运输品质下降的主要原因, 而水蜜桃组织 CAT、APX、POD 及 PAL 抗性相关酶的活性水平能在一定程度上反映某种内包装方式

对振动胁迫的防御能力。

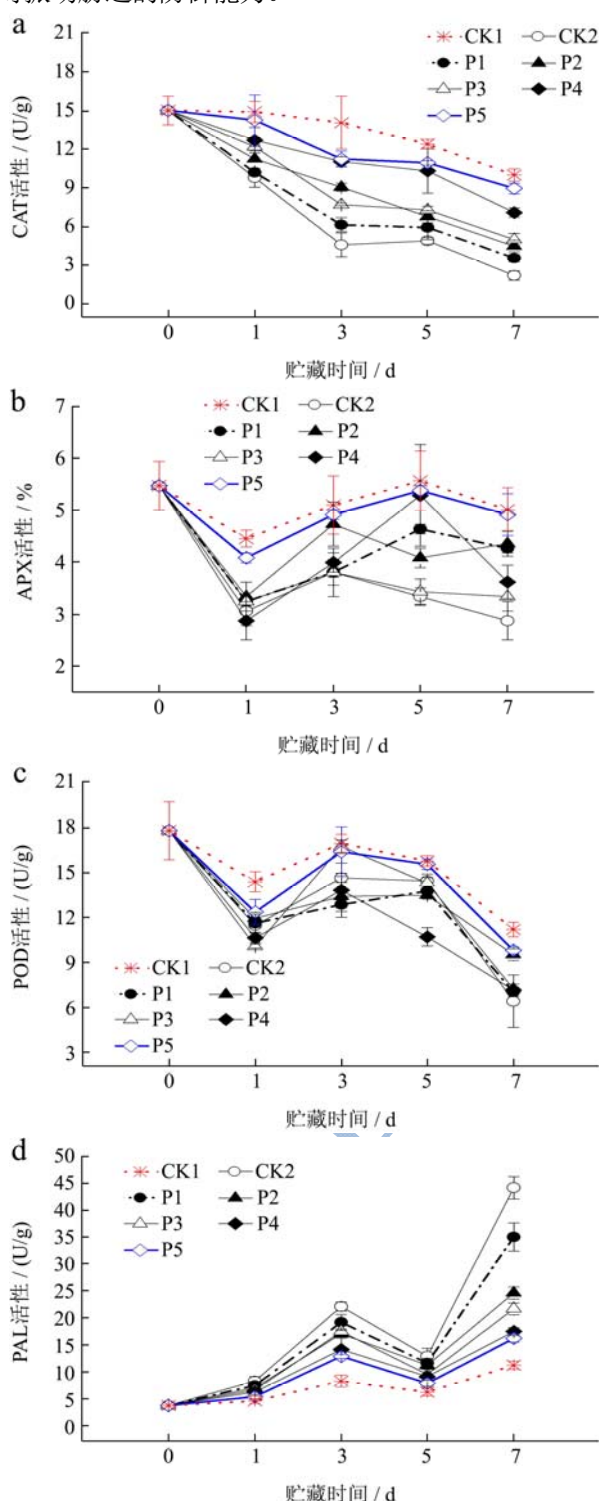


图8 不同内包装方式对模拟运输过程中水蜜桃CAT (a)、APX (b)、POD (c) 和 PAL (d) 活性的影响

Fig.8 Effects of different inner-packages on the CAT (a), APX (b), POD (c) and PAL (d) activities of juicy peach fruits during simulated transportation

运输期间,水蜜桃CAT活性呈下降趋势(图8a),但CK1、P5处理组活性下降较慢,在运输的第7d显著高于其余处理组($p < 0.05$)。APX和CAT的活性水

平与抗性呈正相关,协同参与 H_2O_2 的清除,可降低 H_2O_2 对膜系统的氧化伤害^[21]。运输期间,水蜜桃APX活性呈降-升-降的波动趋势(图8b),运输至7d,P1、P2、P3、P4、P5处理组APX活性分别降低了21.98%、20.33%、39.01%、33.88%和10.07%,P5处理组始终保持着水蜜桃较高的APX活性($p < 0.05$)。以上分析表明,CK1及P5处理组的CAT及APX活性始终保持较高水平,且两者的活性变化趋势与王艳颖^[22]等在遭受机械损伤的苹果中的研究结果一致。

POD可催化细胞壁中大分子物质的交联,以加固细胞壁、增强对逆境的防御能力。运输期间,水蜜桃POD活性变化趋势同APX类似(图8c),P5处理组始终保持着较高的POD活性。PAL是苯丙烷类代谢中的关键酶和限速酶,植物在遭受机械损伤等逆境时,防御系统特别是苯丙烷类代谢被激活,导致PAL活性迅速上升。运输期间,水蜜桃PAL活性大体呈上升趋势(图8d),运输后期(5~7d),各处理组PAL活性急剧上升,这可能是由于运输期间遭受到的机械伤在水蜜桃组织内部不断累积,后期机体抗性降低明显,苯丙烷类代谢被激活所致。期间,CK2对照组PAL活性一直处于最高水平,且在7d时与各处理组有显著性差异($p < 0.05$),而品质保持较好的CK1及P5处理组的PAL活性始终处于较低水平,这可能是由于CK2对照组的水蜜桃遭受到的机械损伤程度远远超出PAL抗性酶的保护能力,而CK1及P5能以较低的PAL活性维持水蜜桃的品质,这与李正国等^[23]研究发现柑橘果实受机械损伤后,果皮中PAL活性明显高于对照的结论保持一致。

3 结论

机械振动胁迫能明显加速水蜜桃果实的成熟衰老进程,而合理的包装方式可较好的保持水蜜桃运输过程中的品质,本研究中,保鲜膜、网套、纸袋和珍珠棉等对水蜜桃的运输品质的保持均有一定的效果,而采用缓冲包装材料与保鲜膜复合的内包装方式(P5)处理的水蜜桃在运输期间各项生理指标及感官品质均明显优于单一内包装处理组P1、P2、P3和P4,两种技术的结合可明显减轻果蔬在运输中遭受到的机械损伤,在一定程度上减缓了水蜜桃硬度和可溶性固形物含量的降低,抑制了失重及呼吸强度,减轻了果肉褐变,延缓了 L^* 值的下降速率,维持了较高的抗性相关酶CAT、APX、POD活性,并保持了组织较低的PAL活性。综合各内包装方式在运输期间对水蜜桃的保鲜减振效果、成本投入与经济效益,P5内包装方式在水蜜桃的运输流通中具有极大的推广价值。

参考文献

- [1] Li Z, Thomas C. Quantitative evaluation of mechanical damage to fresh fruits [J]. Trends in Food Science & Technology, 2014, 35(2): 138-150
- [2] 俞雅琼,董明,王旭东,等.机械损伤对砀山酥梨采后生理生化变化的影响[J].保鲜与加工,2011,11(3):10-15
YU Ya-qiong, DONG Ming, WANG Xu-dong, et al. Effects of mechanical damage on postharvest physiology and biochemistry of Tangshan pear [J]. Storage and Process, 2011, 11(3): 10-15
- [3] 周然,李云飞.不同强度的运输振动对黄花梨的机械损伤及贮藏品质的影响[J].农业工程学报,2007,23(11):255-259
ZHOU Ran, LI Yun-fei. Effects of different strengths of transport vibration on mechanical damage and storage quality of Huanghua pears [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2007, 23(11): 255- 259
- [4] 邓小蓉,李冀新,赵志永,等.不同处理方式对蟠桃常温运输及货架期品质的影响[J].保鲜与加工,2016,16(4):36-40
DENG Xiao-rong, LI Ji-xin, ZHAO Zhi-yong, et al. Effects of different treatments on the quality of flat peach during the transportation and shelf life at normal temperature [J]. Storage and Process, 2016, 16(4): 36-40
- [5] 黄国霞,钟运技,陈铁英,等.蔬菜保鲜过程中营养成分的变化[J].现代食品科技,2012,28(7):792-795
HUANG Guo-xia, ZHONG Yun-ji, CHEN Tie-ying, et al. Changes in nutrients of two vegetables with fresh-keeping treatment [J]. Modern Food Science and Technology, 2012, 28(7): 792-795
- [6] 周然,闫丽萍,李云飞,等.不同内包装的黄花梨运输振动分析和损伤检测[J].武汉理工大学学报,2010,32(18):133-137
ZHOU Ran, YAN Li-ping, LI Yun-fei, et al. Analysis of transport vibration and mechanical damage of Hhuanghua pears with different inner-packages [J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2010, 32(18): 133-137
- [7] 卢立新,黄祥飞,华岩.基于模拟运输条件的梨果实包装振动损伤研究[J].农业工程学报,2009,25(6):110-114
LU Li-xin, HUANG Xiang-fei, HUA Yan. Effect of packaging methods on vibration bruising of pear fruits by simulated transport tests [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2009, 25(6): 110-114
- [8] Fadiji T, Coetzee C, Chen L, et al. Susceptibility of apples to bruising inside ventilated corrugated paperboard packages during simulated transport damage [J]. Postharvest Biology & Technology, 2016, 118: 111-119
- [9] Barchi, Berardinelli A, Guarnieri A. Damage to loquats by vibration simulating intra-state transport [J]. Biosystems Engineering, 2002, 82(3): 305-312
- [10] 张蕾,张琳.三种不同缓冲包装结构对油桃品质的影响[J].包装工程,2005,26(6):25-27
ZHANG Lei, ZHANG Lin. Study on three cushion packagings of nectarine [J]. Packaging Engineering, 2005, 26(6): 25-27
- [11] GB/T 4857.23-2012,运输包装件基本试验第 23 部分:随机振动试验方法[S]
GB/T 4857.23-2012, Basic tests for transport packages-part 23: random vibration test method [S]
- [12] Fang L, Meng G. Three-dimension finite element simulation for a PCB assembly under random vibration loading [J]. Journal of Vibration & Shock, 2012, 31(20): 61-64
- [13] Jiang J, Jiang L, Luo H B, et al. Establishment of a statistical model for browning of fresh-cut lotus root during storage [J]. Postharvest Biology and Technology, 2014, 92(3): 164-171
- [14] Mohamed S A, Awad M A, Alqurashi A D. Antioxidant activity, antioxidant compounds, antioxidant and hydrolytic enzymes activities of 'Barhee' dates at harvest and during storage as affected by preharvest spray of some growth regulators [J]. Scientia Horticulturae, 2014, 167: 91-99
- [15] Chen Y, Zeng L, Sheng K, et al. γ -Aminobutyric acid induces resistance against *Penicillium expansum*, by priming of defence responses in pear fruit [J]. Food Chemistry, 2014, 159: 29-37
- [16] 刘峰娟,秦宗权,沈艾彬,等.振动胁迫对杏果实品质的影响[J].食品科学,2011,32(10):266-270
LIU Feng-juan, QIN Zong-quan, SHEN Ai-bin, et al. Effect of mechanical vibration stress on the quality of apricot fruits [J]. Food Science, 2011, 32(10): 266-270
- [17] 李正国,苏彩萍,王贵禧.振动胁迫对猕猴桃果实成熟衰老生理的影响[J].农业工程学报,2000,16(4):142-143
LI Zheng-guo, SU Cai-ping, WANG Gui-xi. Effect of mechanical vibration stress on postharvest physiology of kiwi-fruit [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2000, 16(4): 142-143
- [18] Lee E, Sargent S A, Huber D J. Physiological changes in Roma-type tomato induced by mechanical stress at several ripeness stages [J]. Hortscience A Publication of the American Society for Horticultural Science, 2007, 42(5): 1237-1242
- [19] 李莹,任艳青,闫化学,等.机械伤对草莓果实理化品质的影响[J].食品科技,2013,4:17-23

- LI Ying, REN Yan-qing, YAN Hua-xue, et al. Effect of mechanical stress on physical and chemical quality of strawberry [J]. Food Science and Technology, 2013, 4: 17-23
- [20] 肖丽娟,曾凯芳,曾凡坤,等.振动胁迫对水蜜桃采后生理的影响[J].保鲜与加工,2006,6(1):21-22
- XIAO Li-juan, ZENG Kai-fang, ZENG Fan-kun, et al. Effect of mechanical vibration stress on postharvest physiology of peach fruits [J]. Storage and Process, 2006, 6(1): 21-22
- [21] Vuleta A, Manitsevic J S, Tucic B. Adaptive flexibility of enzymatic antioxidants SOD, APX and CAT to high light stress: the clonal perennial monocot *Iris pumila* as a study case [J]. Plant Physiology & Biochemistry, 2016, 100: 166
- [22] 王艳颖,胡文忠,庞坤,等.机械损伤对富士苹果抗氧化酶活性的影响[J].食品与机械, 2007,23(5):31-35
- WANG Yan-ying, HU Wen-zhong, PANG Kun, et al. Effects of mechanical damage on the activities of antioxidant enzymes in fuji apples [J]. Food & Machinery, 2007, 23(5): 31-35
- [23] 李正国,高雪,樊晶,等.奉节脐橙果实苯丙氨酸解氨酶活性及其基因表达与果皮褐变的关系[J].植物生理与分子生物学学报,2006,32(3):381-386
- LI Zheng-guo, GAO Xue, FAN Jing, et al. The relationship between activity and gene expression of phenylalanine-ammonialyase and peel pitting in 'Fengjie' navel orange fruits [J]. Journal of Plant Physiology and Molecular Biology, 2006, 32(3): 381-386