

CO₂ 气调包装对轮南白杏采后呼吸和色泽质地的影响

朱丽娜¹, 孟新涛², 徐斌², 潘俨^{2,3}, 木志杰⁴

(1.新疆农业大学食品科学与药学学院, 新疆乌鲁木齐 830052)(2.新疆农业科学院农产品贮藏加工研究所, 新疆乌鲁木齐 830091)(3.自治区特色林果产业国家地方联合工程研究中心加工分中心, 新疆乌鲁木齐 830091)(4.湖南固鲜科技有限公司, 湖南长沙 410116)

摘要:通过不同体积分数 CO₂ 气调包装处理, 探讨 CO₂ 对轮南白杏采后生理和品质的影响, 为生产上探寻简易的轮南白杏气调包装保鲜技术提供依据。在 (1±1) °C 冷藏环境下, 使用高 (1.50%~2.00% CO₂)、中 (2.50%~3.00% CO₂)、低 (3.50%~4.00% CO₂) 三种不同透气性膜包装果实, 分析比较贮藏 36 d 包装内乙烯积累量、果实乙烯释放量和不同途径呼吸速率、果皮色度和质地物性与未处理的差异。结果表明, 贮期不同体积分数 CO₂ 气调包装均不同程度地降低了果实乙烯释放量和包装内乙烯积累量。降低了果实总呼吸、糖酵解途径 (Embden-Meyerhof-Parnas, EMP)、磷酸戊糖途径 (phosphopentose pathway, PPP) 和交替途径 (alternative pathway, AP) 呼吸速率, 呼吸峰值延迟 6~24 d, 峰值降低 12.89%~38.62%。较好地保持了果实色泽和质地, 有效抑制果实软腐率、失重率的上升, 较好地维持轮南白杏采后品质。其中, 中透气包装 (2.50%~3.00% CO₂) 鲜杏的保鲜效果最好。

关键词: 气调包装; 轮南白杏; 采后; 呼吸; 色泽; 质地

文章编号: 1673-9078(2019)07-89-98

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2019.7.013

Effect of CO₂ Modified Atmosphere Packaging on Postharvest Respiration,

Color and Texture of 'Lunnan' Apricot

ZHU Li-na¹, MENG Xin-tao², XU Bin², PAN Yan^{2,3}, MU Zhi-jie⁴

(1.College of Pharmacy and Food Science, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)(2.Institute of Agro-production storage and processing, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830091, China)(3.Autonomous Region Specialized Forest Fruit Industry National and Local Joint Engineering Research Center Processing Sub-center, Urumqi 830091, China)(4.Hunan Guxian Technology Co. Ltd., Changsha 410116, China)

Abstract: In order to provide basis for simple and efficient atmosphere packaging of 'Lunnan' apricot, the effects of CO₂ concentration on postharvest physiology and quality of 'Lunnan' apricot were investigated using different concentrations of CO₂ modified atmosphere packaging. The fruits were treated using bags with high (1.50%~2.00% CO₂), medium (2.50%~3.00% CO₂) and low (3.50%~4.00% CO₂) gas transmission rate during storage at (1±1) °C. The difference of ethylene accumulation in the bag, ethylene release rate and respiration rate by different pathways in the fruit, pericarp Chroma and texture were compared with the control. The results showed that different concentrations of CO₂ modified atmosphere packaging during storage period reduced the ethylene release rate and ethylene accumulation in the package to different degrees. The different concentrations of CO₂ modified atmosphere packaging reduced the total respiration in glycolysis pathway (EMP), pentose phosphate pathway (PPP), and alternating pathway (AP), and the respiratory peak was delayed by 6~24 days and the peak value was reduced by 12.89%~38.62%. The modified atmosphere packaging could keep the color and texture unchanged, and retard soft decay and weight loss effectively, and the storage quality of the 'Lunnan' apricot was well retained. Among the three treatments, medium gas transmission (2.50%~3.00% CO₂) was the most effective method in terms of overall quality retention of apricots.

Key words: modified atmosphere packaging (MAP); 'Lunnan' apricot; postharvest; respiratory; color; texture

收稿日期: 2019-02-12

项目基金: 国家公益性行业 (农业) 科研专项 (201303075)

作者简介: 朱丽娜 (1993-), 女, 研究生在读, 研究方向: 果蔬贮藏及物流工程

通讯作者: 潘俨 (1979-), 男, 博士, 副研究员, 研究方向: 农产品贮藏保鲜

轮南白杏属普通杏 (*Prunus armeniaca* L.) 中亚品种群 (Central Asian), 又称小白杏, 是新疆最具区域特色的鲜食杏品种之一。其主要产区是新疆库车县和轮台县, 至 2016 年的种植面积约 $2.66 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 年产量约 $2.38 \times 10^5 \text{ t}^{[1]}$, 是新疆杏为数不多的鲜食外销商品种。其表皮光滑, 果肉细腻, 口感绵甜、酸而不“尖”,

与华北杏相比,存在明显的品质差异^[2-4]。轮南白杏成熟期短,采后果实后熟、果肉软化和色泽转黄较快,耐贮性和商品性明显下降,鲜果常温货架期只有 1~3 d^[5],是新疆杏采后易腐难销的共性问题。目前鲜杏采后贮运保鲜以冷藏为主,较多开展气调贮藏、减压贮藏、涂膜保鲜和气体熏蒸等技术研究^[6-9]。气调包装(modified atmosphere packaging, MAP)是近年来研究较多的一种保鲜方式,该技术是采用具有气体阻隔性能的包装材料包装食品,维持包装内 O₂、CO₂ 体积分数的动态平衡,防止食品在物理、化学、生物等方面发生质量下降或减缓质量下降的速度,从而延长食品货架期,提升食品价值^[10,11]。

气调包装保鲜技术对草莓、枇杷、核桃青果、枸杞、花椰菜等品种^[12-16]果实的采后品质调控较为显著。低温条件果实采后呼吸强度、耗氧量明显降低^[17,18]。现有气调包装技术是同时控制 O₂ 和 CO₂ 两个主变量条件,气调改变果实采后生理和品质的效应,是否可通过 CO₂ 单一变量的条件控制,实现低成本等同的技术效应。因此,本试验设计接近大气中 O₂ 体积分数结合不同体积分数 CO₂ 气调包装低温试验条件,观测果实包装内乙烯积累量和果实采后乙烯释放量,果肉组织总呼吸、糖酵解途径、三羧酸循环途径、磷酸戊糖途径、细胞色素途径和交替途径的呼吸速率,果皮色泽,果肉硬度、胶黏性、内聚性和咀嚼性。以探知 CO₂ 的单控气调包装模式的效应,对果实采后呼吸主路径和电子传递主链的影响效应,对延缓色泽转黄、质地软化的调控作用,为气调包装生理和品质调控机制及技术优化的深入研究提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

轮南白杏于 2017 年 6 月 22 日采自新疆轮台县杏产业技术示范园(41°48'43.29"E, 84°11'45.53"N),采收和分选出达到可采、果面底色均为黄绿色、抽检可溶性固形物含量为 8.00%~10.00%的鲜杏 500.00 kg,产地预冷至果实中心温度 5~8℃,经冷藏车 8 h 等温运输至新疆农业科学院试验冷库。再次分选出无机械伤的杏果用于气调包装试验。

1.2 处理设置

对照使用开孔率为 3.00%~4.00%的多孔透气 PET (Polyethylene terephthalate, 聚对苯二甲酸乙二醇酯)盒包装果实。气调包装处理使用厚度分别为 35.00、35.00 和 65.00 μm,对应气体透过量分别为 2×10^4 、

1.2×10^4 和 5×10^3 cm³/(m²·d·Pa)的 PE (Polyethylene, 聚乙烯)膜,分别制成 18.00 cm×17.00 cm 的高透气、中透气和低透气的包装袋,动态平衡后对应 CO₂ 体积分数为 1.50%~2.00%、2.50%~3.00%、3.50%~4.00%。每袋(盒)装 10 果、约 150.00 g,每处理各包装约 100.00 kg 果实。鲜杏样品分装后转入(1±1)℃冷藏库继续降温,至 5 d 后果实中心温度和包装袋内气体比例趋于稳定后,设取样点开始取样检测。每处理设 3 个重复,每 6 d 检测包装内 O₂、CO₂ 体积分数和乙烯积累量,果实乙烯释放量、不同途径呼吸速率,果皮色泽,果肉组织质地物性,失重率和软腐率。

1.3 仪器设备

15.09%乙烯标准气体,大连大特气体有限公司; HT-D400 袋式气调包装机 瑞安市华腾机械有限公司; Checkmate3 顶空分析仪 丹麦 Densensor 公司; Agilent 7890B 气相色谱仪,安捷伦科技(中国)有限公司; WSC-2 色差计,北京光学仪器厂; TMS-Pro 质构仪,美国 FTC 公司; Oxytherm 型 Clark 液相氧电极仪,英国汉莎科技仪器公司; Centrifuge 5810 R 型高速冷冻离心机,德国 Eppendorff 公司。

1.4 检测指标及方法

使用顶空分析仪测定各包装内 O₂ 和 CO₂ 体积分数;参考曹建康^[19]的气相色谱仪法测定果实乙烯释放量和包装内乙烯积累量;参考潘俨等^[20]的液相氧电极仪法测定和计算果肉组织总呼吸、糖酵解途径(Embden-Meyerhof-Parnas, EMP)、三羧酸循环途径(tricarboxylic acid cycle, TCAC)、磷酸戊糖途径(phosphopentose pathway, PPP)、细胞色素途径(cytochrome pathway, CP)和交替途径(alternative pathway, AP)呼吸速率;采用 WSC-2 型色差计测定果面亮度值 L*、红绿值 a*、黄蓝值 b*和色彩饱和度 C* ; 参照宋肖琴、Muskovics G、袁成龙等的质构仪法^[21-23]测定果肉组织的硬度、胶黏性、内聚性和咀嚼性。失重率和软腐率的测定采用称重法。

1.5 数据处理

使用 SigmaPlot 12.5 软件作图,采用 SPSS 19.0 统计分析软件进行变量间 Pearson 相关分析,采用 Duncan 法和配对 T 检验法进行显著性和方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同包装内 O₂ 和 CO₂ 体积分数的变化

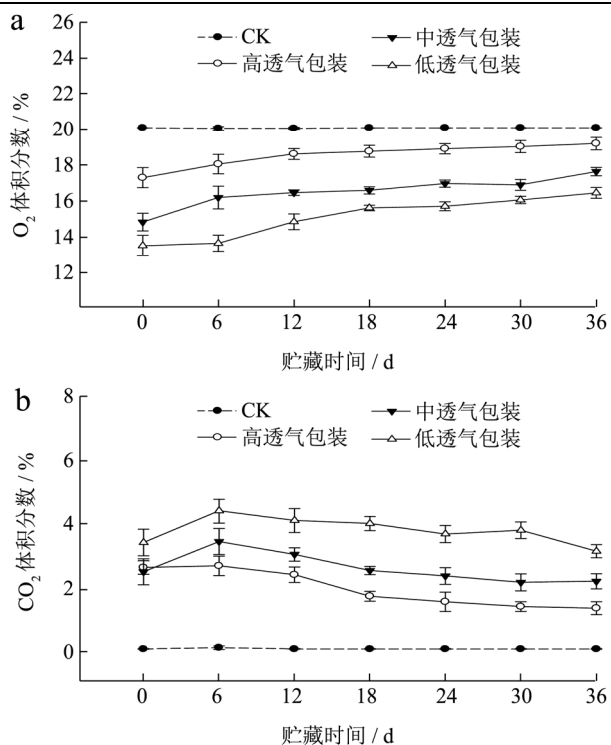
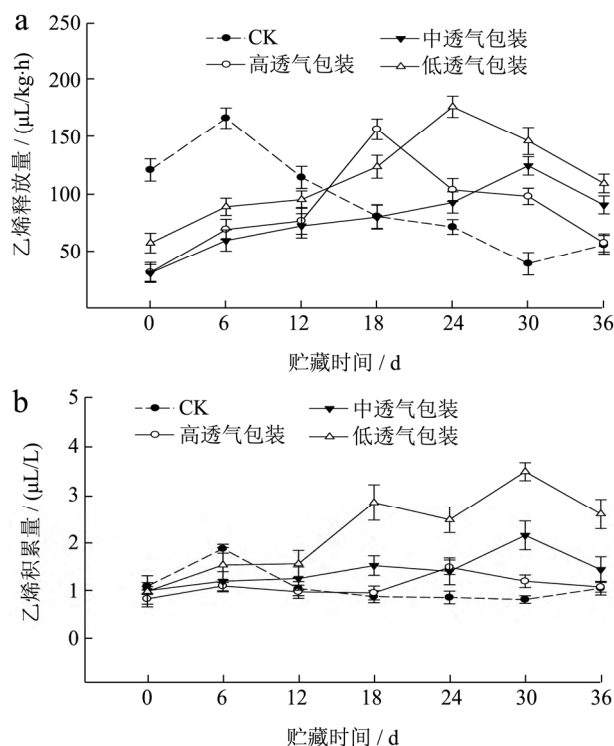
图1 不同包装内 O₂ (a) 和 CO₂ (b) 体积分数的变化Fig.1 The changes of O₂ (a) and CO₂ (b) concentrations in different packages

图 1a 所示, CK 包装盒内 O₂ 体积分数保持约 20.10% 基本不变。在贮藏 6 d 后, 高、中、低透气包装袋内 O₂ 体积分数呈线性平行的变化趋势, 并保持动态平衡为 18.30%~18.90%、16.30%~16.60%、15.50%~15.80% ($p<0.05$), 较 CK 降低 5.97%~22.89% ($p<0.01$)。图 1b 所示, CK 包装盒内 CO₂ 体积分数保持约 0.10% 基本不变。在贮藏 6 d 后, 高、中、低透气包装袋内 CO₂ 体积分数呈平行下降趋势, 并保持动态平衡为 1.50%~2.00%、2.50%~3.00%、3.50%~4.00% ($p<0.05$), 较 CK 升高 15~40 倍 ($p<0.01$)。包装膜的气体透过量决定了包装内、外气体交换的速率, 选择合适的透气性膜有利于袋内 O₂ 得到补充, CO₂ 及时排出, 达到适宜的气体贮藏环境^[24,25]。O₂ 的功能是为了维持适当的呼吸作用, CO₂ 的功能是通过降低 pH 值来抑制微生物的生长, 降低果实呼吸速率、减少失水^[26]。

2.2 不同体积分数 CO₂ 包装对鲜杏乙烯释放量和包装内乙烯积累量的影响

图 2a 所示, CK 与高、中、低透气包装果实乙烯释放量分别在贮藏 6、18、30、24 d 出现乙烯高峰, 中透气包装果实乙烯峰值相对最低, 较 CK 降低 25.12% ($p<0.05$)。低透气包装果实乙烯峰值较 CK 升

高 6.05% ($p>0.05$)。图 2b 所示, CK 与高、中、低透气包装内乙烯积累量分别在贮藏 6、24、30、30 d 达到峰值。高透气包装内乙烯积累量较 CK 降低 20.74% ($p<0.05$); 中、低透气包装内乙烯积累量较 CK 升高 0.15 倍和 0.86 倍, 低透气包装内乙烯积累量峰值相对最高 ($p<0.01$)。有研究表明^[27], CO₂ 是乙烯的竞争性抑制剂, 适当提高袋内 CO₂ 体积分数有利于阻碍乙烯与受体的结合, 从而抑制果实乙烯的释放, 减缓营养物质和呼吸底物的消耗。张辉等^[28]研究表明, CO₂ 熏蒸处理可更好地抑制杏果内源乙烯的产生和降低呼吸速率, 延缓了杏果的成熟和衰老。本试验进一步证实了这一观点, 气调包装抑制了果实乙烯释放量, 延缓了包装内乙烯积累量峰值出现时间。CK 果实在低温贮藏 6 d 时均出现峰值, 说明 3.00%~4.00% 的多孔透气 PET 盒还不足以在果实跃变期有效交换和排出果实释放的乙烯。普通包装贮运中, 包装内应适当增加乙烯吸附剂或增加开孔率来降低包装内乙烯积累量。

图2 不同体积分数 CO₂ 包装对鲜杏乙烯释放量 (a) 和包装内乙烯积累量 (b) 的影响Fig.2 Effect of different concentration of CO₂ packaging on ethylene release rate (a) from apricots and ethylene accumulation in packaging (b)

2.3 不同体积分数 CO₂ 包装对鲜杏不同呼吸途径的影响

2.3.1 不同体积分数 CO₂ 包装对鲜杏总呼吸、

糖酵解途径、三羧酸循环和磷酸戊糖途径呼吸速率的影响

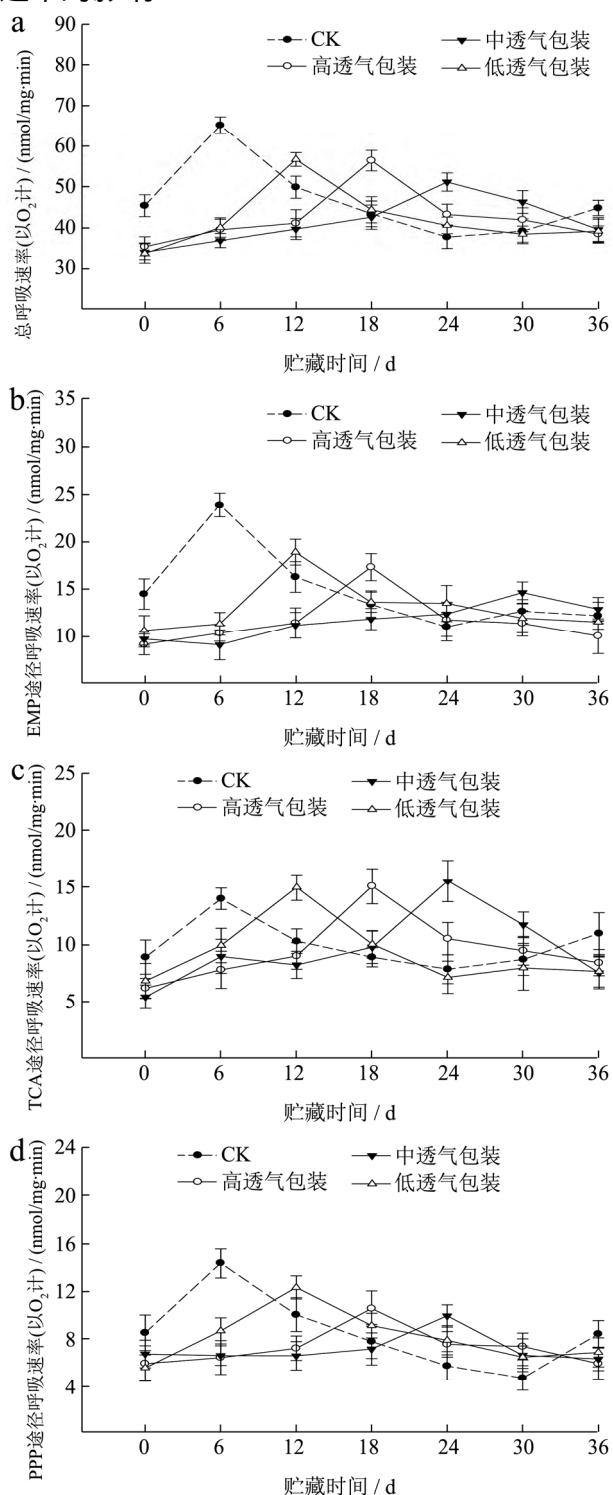


图3 不同体积分数CO₂包装对鲜杏总呼吸速率(a)、糖酵解途径(b)、三羧酸循环(c)和磷酸戊糖途径(d)呼吸速率的影响

Fig.3 Effect of different concentration of CO₂ packaging on total respiration rates (a), EMP respiration rates (b), TCAC respiration rates (c) and PPP respiration rates (d) of apricots

图3a显示,CK与高、中、低透气包装果实总呼

吸速率分别在贮藏6、18、24、12 d出现呼吸峰。高、中、低透气包装果实总呼吸速率峰值较CK降低13.32%、23.68%、12.89% ($p < 0.05$),中透气包装果实总呼吸速率峰值相对最低 ($p < 0.01$)。图3b显示,CK与高、中、低透气包装果实EMP途径呼吸速率分别在贮藏6、18、30、12 d出现呼吸峰。高、中、低透气包装果实EMP途径呼吸峰值较CK降低27.45%、38.62%、20.84% ($p < 0.01$)。图3c显示,CK与高、中、低透气包装果实TCAC途径呼吸速率分别在贮藏6、18、24、12 d出现呼吸峰。高、中、低透气包装果实TCAC途径呼吸峰值较CK升高0.07倍、0.11倍、0.07倍 ($p > 0.05$)。图3d显示,CK与高、中、低透气包装果实PPP途径呼吸速率分别在贮藏6、18、24、12 d出现呼吸峰。高、中、低透气包装果实PPP途径呼吸峰值较CK降低26.59%、30.91%、14.24% ($p < 0.05$),中透气包装果实PPP途径呼吸峰值相对最低 ($p < 0.01$)。

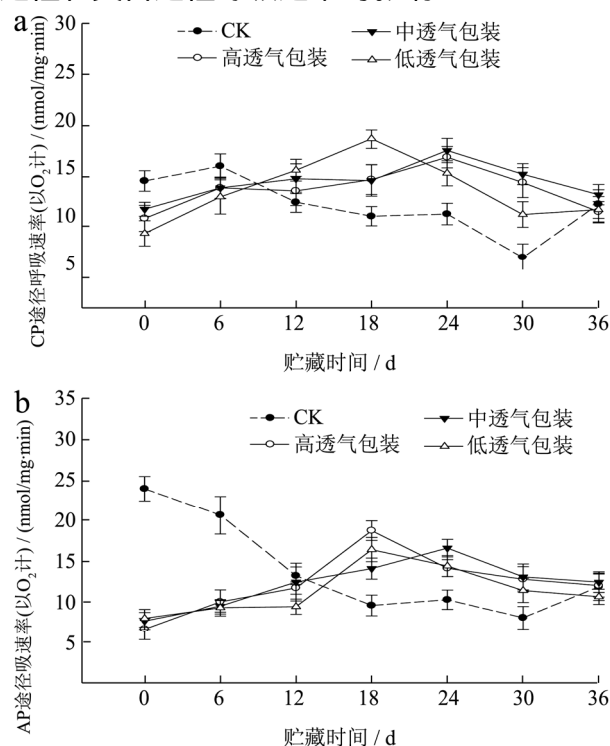
2.3.2 不同体积分数CO₂包装对鲜杏细胞色素途径和交替途径呼吸速率的影响

图4 不同体积分数CO₂包装对鲜杏细胞色素途径(a)和交替途径(b)呼吸速率的影响

Fig.4 Effect of different concentration of CO₂ packaging on CP respiration rates (a) and AP respiration rates (b) of apricots

图4a显示,CK与高、中、低透气包装果实CP途径呼吸速率分别在贮藏6、24、24、18 d出现呼吸峰。高、中、低透气包装果实CP途径呼吸峰值较CK升高0.06倍、0.10倍、0.17倍 ($p > 0.05$)。图4b显示,

在贮藏期间, CK 果实 AP 途径呼吸速率由 23.88 nmol/(mg·min) 直线下降, 贮藏 30 d 时降至最低 8.03 nmol/(mg·min)。在贮藏期间, 高、中、低透气包装果实 AP 途径呼吸速率分别在贮藏 18、24、18 d 出现呼吸峰, 较 CK 峰值降低 31.49%、21.73%、30.74% ($p<0.05$)。

在贮藏 36 d 时, CK 果实 CP 和 AP 途径呼吸速率明显回升, 可能是果实发生软化腐烂, 微生物大量繁殖, 使得电子传递链呼吸强度增加, 是果实自身的一种保护性反应。可能是受 CO_2 处理影响, 气调包装鲜杏的呼吸主路径由糖酵解途径转换为三羧酸循环, 电子传递链以细胞色素途径为主。

2.4 不同体积分数 CO_2 包装对鲜杏色泽和质地的影响

2.4.1 不同体积分数 CO_2 包装对鲜杏色泽的影响

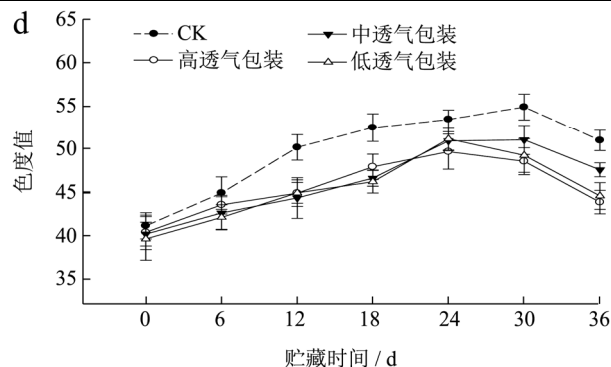
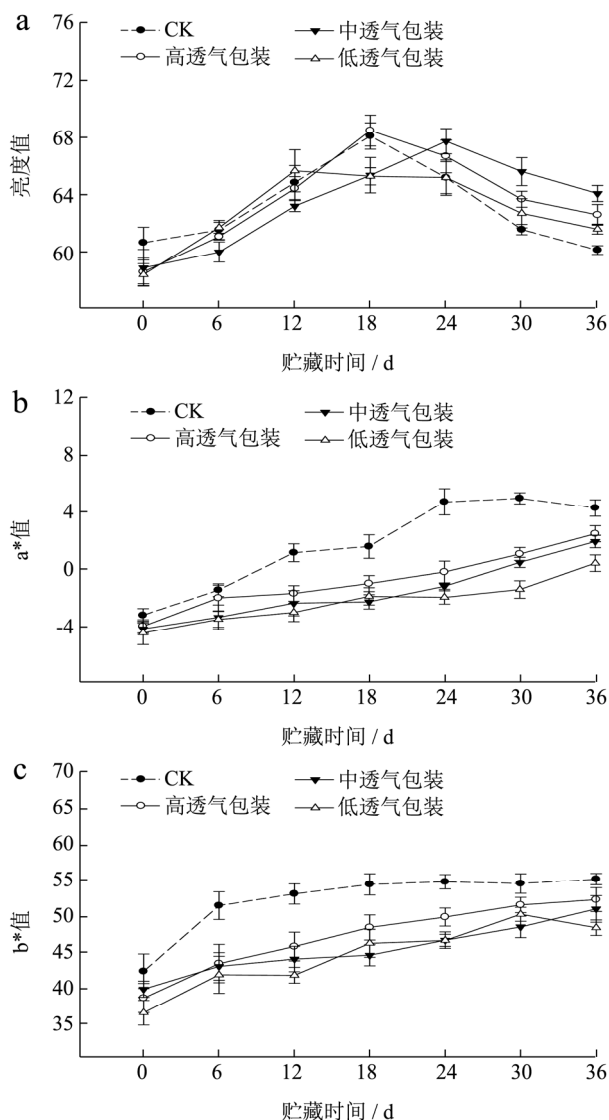


图5 不同体积分数 CO_2 包装对鲜杏色泽的影响

Fig.5 Effect of different concentration of CO_2 packaging on the color of apricot

图 5a 所示, CK 与高、中、低透气包装果实亮度值分别在贮藏 18、18、24、12 d 时达到最大值, 至贮藏结束降低 12.00%、9.00%、5.00%、6.00% ($p>0.05$)。气调包装果实的亮度值保持较好但略低于 CK, 可能是 CO_2 溶解于果实表皮组织中的水分、脂质等, 引起果实色泽明亮度略有下降。通常情况下, 可采成熟度的杏果在贮藏期间完成后熟, 类胡萝卜素和花色苷含量增加, 叶绿素含量会下降甚至完全消失, 最终呈现其成熟后的外观色泽^[29]。图 5b 所示, CK 与高、中、低透气包装果实红绿值分别在贮藏 6、24、24、30 d 后转为正值 ($p<0.01$), 低透气包装果实红绿值相对最低 ($p<0.05$)。图 5c 所示, 在贮藏 6 d 后, CK 果实黄蓝值保持约 53.90 较高水平, 而高、中、低透气包装果实黄蓝值分别保持约 48.52、46.25、45.80, 较 CK 降低 9.98%、14.19%、15.03% ($p<0.05$)。图 5d 所示, CK 与高、中、低透气包装果实色度值在贮藏 24~30 d 达到最大值, 较贮藏 0 d 时升高 33.00%、23.00%、27.00%、29.00%。贮藏 6~24 d 时, CK 果实色度值相对最高 ($p<0.05$)。

2.4.2 不同体积分数 CO_2 包装对鲜杏质地的影响

硬度反应的是杏果实在外力作用下发生形变所需要的屈服力的大小, 感官上指牙齿挤压样品的力量值。图 6a 所示, CK 果实贮藏 36 d (12.34 N) 较贮藏 0 d (21.91 N) 的果肉硬度降低 43.68%。高、中、低透气包装果实硬度在贮藏末期保持约 15.60、18.50、20.40 N 较低水平, 较贮藏 0 d 下降 41.11%、25.91%、16.27% ($p<0.05$)。CK 在贮藏 6 d 后, 果实硬度相对最低 ($p<0.01$)。

果实的胶黏性与原果胶含量有关, 原果胶含量越高, 胶黏性越大。图 6b 所示, CK 果实胶黏性由 14.16 N 直线下降, 至贮藏 30~36 d 降至约 8.40 N, 降低 40.68%。高、中、低透气包装果实胶黏性在贮藏 18~24

d 保持较高水平, 贮藏末期降低至 11.10、12.70 和 13.50 N, 较贮藏 0 d 降低 25.40%、17.96%和 10.89% ($p>0.05$)。在贮藏 12 d 后, CK 果实胶黏性相对最低 ($p<0.01$)。

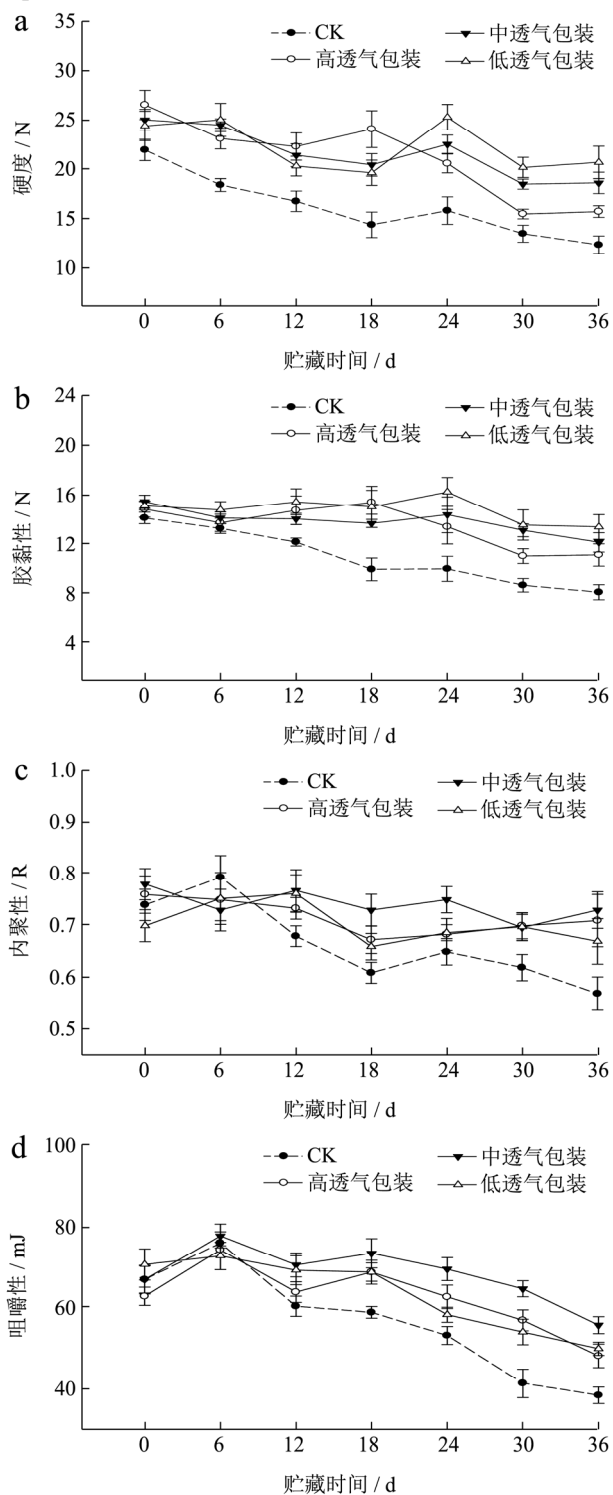


图6 不同体积分数 CO₂ 包装对鲜杏硬度 (a)、胶黏性 (b)、内聚性 (c)、咀嚼性 (d) 的影响

Fig.6 Effect of different concentration CO₂ packaging on hardness (a), tackiness (b), cohesiveness (c) and chewiness (d) of apricots

内聚性是指咀嚼果肉时, 果实抵抗牙齿咀嚼破坏所表现出的样品内部的结合力, 体现了细胞分子之间的结合力大小, 具有使果实保持完整的特点。图 6c 所示, 各处理果实内聚性均呈下降趋势。CK 果实内聚性在贮藏 12 d 后相对最低 ($p<0.05$), 高、中、低透气包装果实内聚性基本保持在 0.70~0.80 R 之间 ($p>0.05$)。

咀嚼性是模拟牙齿将固体样品咀嚼成吞咽稳定状态时所需要的能量, 它综合反映了果实对咀嚼的持续抵抗作用。图 6d 所示, 在贮藏期间, 各处理果实内聚性均呈下降趋势。CK 与高、中、低透气包装果实咀嚼性分别降低 49.57%、35.32%、28.39%和 31.55% ($p<0.05$)。CK 果实咀嚼性在贮藏 12~36 d 相对最低 ($p<0.01$)。

乙烯高峰的出现刺激了杏果实呼吸强度的增加, 同时伴随着类胡萝卜素的积累和可溶性果胶的增加^[30]。气调包装通过 CO₂ 处理抑制了乙烯和各途径呼吸速率, 调控了果实的软化进程。这与刘红锦等^[31]、王伟等^[32]、赵迎丽等^[33]使用气调包装处理其他杏品种的贮藏结果基本一致。

2.5 不同体积分数 CO₂ 包装对鲜杏失重率的影响

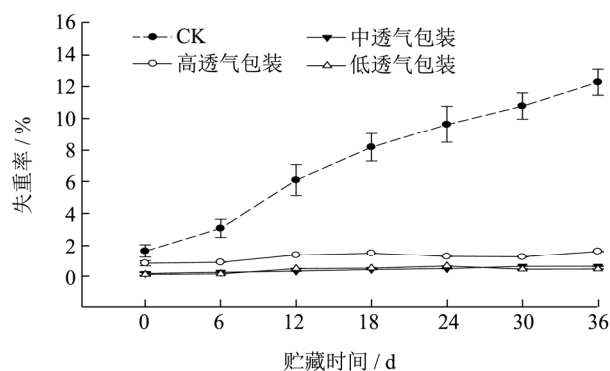


图7 不同体积分数 CO₂ 包装对鲜杏失重率的影响

Fig.7 Effect of different concentration of CO₂ packaging on the weight loss of apricot

轮南白杏是呼吸跃变型果实, 采后呼吸作用较强, 其失重主要是由于蒸腾失水和呼吸消耗。由图 7 可知, CK 果实在贮藏 6 d 后, 失重率迅速上升。至贮藏结束, CK 与高、中、低透气包装果实失重率分别为 12.29%、1.63%、0.67%和 0.49% ($p<0.01$)。说明 CK 果实在贮藏过程中失水严重, 导致果皮表面皱缩, 影响果实品质。CO₂ 能抑制轮南白杏果实采后蒸腾和呼吸作用, 更有效的减少其水分散失。

2.6 不同体积分数 CO₂ 包装对鲜杏软腐率的影响

影响

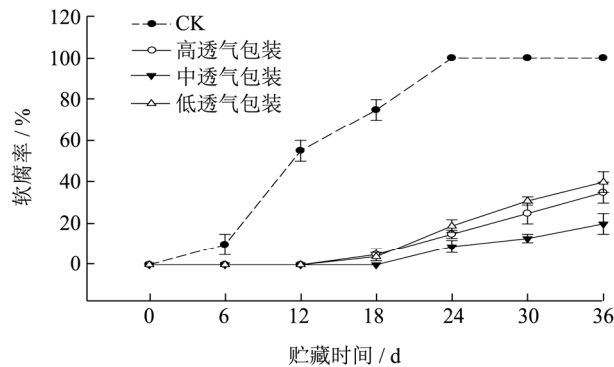


图 8 不同体积分数 CO₂ 包装对鲜杏软腐率的影响

Fig.8 Effect of different concentration of CO₂ packaging on the soft decay rate of apricot

表 1 CK 和气调包装果实的乙烯释放量、色泽质地及不同途径呼吸速率的相关分析

Table 1 Correlation analysis of ethylene production rate, color and texture and different pathway respiration rates of fruit in control and modified atmosphere packaging

指标	处理	乙烯释放量	呼吸途径				
			糖酵解 EMP	三羧酸循环 TCAC	磷酸戊糖 PPP	细胞色素途径 CP	交替途径 AP
乙烯释放量	CK		0.816**	0.586*	0.7958*	0.785**	0.783**
	MAP		0.555**	0.359**	0.360**	0.402**	0.624**
亮度值	CK	-0.111	-0.210	-0.335	-0.187	-0.176	-0.485*
	MAP	0.635**	0.627**	0.681**	0.547**	0.653**	0.808**
红绿值	CK	-0.819**	-0.587**	-0.336	-0.641**	-0.739**	-0.880**
	MAP	0.311*	0.125	0.151	-0.093	0.153	0.421**
黄蓝值	CK	-0.475*	-0.199	-0.005	-0.254	-0.506*	-0.820**
	MAP	0.508**	0.151	0.181	-0.007	0.272*	0.572**
色度值	CK	-0.759**	-0.487*	-0.327	-0.593**	-0.735**	-0.953**
	MAP	0.740**	0.423**	0.432**	0.239	0.536**	0.677**
硬度	CK	0.741**	0.499*	0.186	0.499*	0.644**	0.859**
	MAP	-0.134	-0.158	-0.173	0.047	-0.170	-0.297*
胶黏性	CK	0.855**	0.593**	0.269	0.566**	0.695**	0.841**
	MAP	0.153	0.195	0.072	0.320*	0.070	-0.054
内聚性	CK	0.868**	0.714**	0.466*	0.622**	0.641**	0.767**
	MAP	-0.506**	-0.157	-0.067	-0.077	-0.037	-0.484**
咀嚼性	CK	0.914**	0.737**	0.412	0.689**	0.731**	0.713**
	MAP	-0.251*	0.056	0.229	0.264*	0.259*	-0.056

注：**在 0.01 水平（双侧）显著相关；*在 0.05 水平（双侧）显著相关。

在贮藏 6 d 后，随着乙烯释放量的大幅降低，CK 果实各途径呼吸速率和色泽质地均出现同步降低。相关性结果显示（表 1），CK 果实的各途径呼吸速率和色泽质地与乙烯释放量显著相关。说明不同体积分数 CO₂ 抑制了果实乙烯释放量和呼吸速率，延缓了果面

轮南白杏果实采后易受微生物侵染而软化腐烂，软腐主要是链格孢（*Alternaria* Nees）和根霉（*R.stolonifer*）引起的微生物病害。由图 8 可知，各处理果实的软腐率随贮藏期的延长而增加。CK 果实软腐率在贮藏 6 d 后迅速升高，在贮藏 12 d 时，软腐率达到 55.00%（ $p<0.01$ ），已失去商品价值。在贮藏 30 d 时，高、低透气包装果实软腐率为 25.00%和 31.00%，显著高于中透气包装（ $p<0.05$ ）。至贮藏结束，中透气包装果实的软腐率仅为 20.00%。气调包装更有效地延缓轮南白杏的软化腐烂速率、保持果实品质，可能与 CO₂ 能够有效抑制微生物的生长和乙烯的释放有关。

2.7 不同处理鲜杏的乙烯释放量、色泽质地及

不同途径呼吸速率的相关分析

色泽转黄，保持果实质地。

亮度值 L*表示果面光泽明亮度和饱满度；红绿值 a*和黄蓝值 b*表示果皮色泽变化，绿的呈色物质主要是叶绿素，红和蓝的呈色物质主要是合成花色苷和类胡萝卜素的部分中间产物，黄的呈色物质主要是类胡

萝卜素;色度值 C^* 表示果实颜色的鲜艳程度^[34,35]。相关性结果显示,气调包装果实的红绿值与 AP 呼吸速率显著正相关 ($\text{Sig}<0.01$),黄蓝值与 CP 和 AP 呼吸速率显著正相关 ($\text{Sig}<0.05$ 或 0.01),可能是 CO_2 抑制了电子传递的产能和放热,影响了鲜杏叶绿素降解、类胡萝卜素和花色苷积累。尤其低透气包装果实在贮藏末期仍未完全退绿,说明气调包装袋内 CO_2 体积分数不宜过高。

杏果实在采后成熟过程中,质地的下降与果胶、纤维素等细胞壁多糖的降解密切相关^[36]。CK 果实质地贮藏 6 d 后均大幅下降,与果实各途径呼吸速率同步降低,同步效应可能会引起底物消耗过量,加快果实品质劣变。气调包装果实的硬度和内聚性下降趋势基本一致,与 AP 途径呼吸速率显著负相关 ($\text{Sig}<0.05$ 或 0.01),说明 AP 途径也参与果实跃变成熟的调控^[37]。气调包装果实胶黏性与果实 PPP 呼吸速率显著正相关 ($\text{Sig}<0.05$),可能是 PPP 路径作为主要的有氧呼吸路径受到抑制,降低了果胶的降解速率。气调包装果实咀嚼性与 PPP 和 CP 途径显著正相关 ($\text{Sig}<0.05$),在贮藏期后期降低较快,可能是呼吸底物被氧化分解进入呼吸链,增强了细胞色素途径,使果实细胞分子间结合力降低。

3 结论

在 (1 ± 1) 贮藏温度下,气调包装使果实产生了差异化的采后色泽和质地品质变化,说明 CO_2 对乙烯和各呼吸路径产生了一定调控作用。其中,中透气包装鲜杏的保鲜效果最好。说明使用体积分数 2.50%~3.00% CO_2 处理达到可采成熟度的鲜杏能有效抑制其乙烯释放量,降低不同路径呼吸速率,延缓果面色泽转黄,维持果实较好质地,抑制果实软腐率和失重率的上升,从而延长果实采后贮藏期。

参考文献

- [1] 新疆维吾尔自治区统计局.2017 新疆统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2017
Statistic bureau of Xinjinag Uyгур Antonomous Region. Xinjiang Statistical Yearbook 2017 [M]. Beijing: China Statistical Press, 2017
- [2] 何天明.中国普通杏 (*Prunus armeniaca*) 种质资源遗传多样性及紫杏 (*P. dasycarpa*) 起源研究[D].泰安:山东农业大学,2006
HE Tian-ming. Study on genetic diversity of Chinese common apricot (*Prunus armeniaca*) germplasm and origin of purple apricot (*Prunus dasycarpa*) [D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2006
- [3] 张君萍,高疆生,李疆,等.新疆杏与华北杏果实主要营养成分比较分析[J].新疆农业科学,2006,43(2):140-144
ZHANG Jun-ping, GAO Jiang-sheng, LI Jiang, et al. Comparison analyzis on main nutritive component of Xinjiang apricot and north china apricot [J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2006, 43(2): 140-144
- [4] 孙家正,张大海,张艳敏,等.新疆栽培杏风味物质组成及其遗传多样性[J].园艺学报,2010,37(1):17-22
SUN Jia-zheng, ZHANG Da-hai, ZHANG Yan-min, et al. Genetic diversity and constituents of flavor in southern Xinjiang apricot cultivars [J]. Acta Horticulturae Sinica, 2010, 37(1): 17-22
- [5] 张婷,车凤斌,马燕翔,等.新疆主栽杏品种动态运输模拟试验[J].新疆农业科学,2010,47(8):1485-1491
ZHANG Ting, CHE Feng-bin, MA Yan-xiang, et al. A brief summary on dynamic transportation simulation of the major commercia varieties of Xinjiang apricot [J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2010, 47(8): 1485-1491
- [6] Fan X, Xi Y, Zhao H, et al. Improving fresh apricot (*Prunus armeniaca*, L.) quality and antioxidant capacity by storage at near freezing temperature [J]. Scientia Horticulturae, 2018, 231: 1-10
- [7] 于军,马美湖,侯旭杰,等. OHAA 涂膜保鲜剂在小白杏贮藏保鲜中的应用研究[J].食品科技,2011,36(11):48-54
YU Jun, MA Mei-hu, HOU Xu-jie, et al. Applied study of preservation and fresh-keeping effects of apricot processed by OHAA preservative coating [J]. Food Science and Technology, 2011, 36(11): 48-54
- [8] 刘路.杏果采后生理及贮藏保鲜技术的研究[D].石河子:石河子大学,2010
LIU Lu. Study on postharvest physiology and storage techniques of apricot fruits [D]. Shihezi: Shihezi University, 2010
- [9] 王伟,张有林.减压处理对采后杏果实软化的生理控制效应[J].西北植物学报,2008,28(1):131-135
WANG Wei, ZHANG You-lin. Control of hypobaric treatment on softening of postharvest apricot fruits [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2008, 28(1): 131-135
- [10] Caleb O J, Opara U L, Witthuhn C R. Modified atmosphere packaging of pomegranate fruit and arils: a review [J]. Food & Bioprocess Technology, 2012, 5(1): 15-30
- [11] Rakesh Kumur, Gurdarshan Singh. Changes in quality of broccoli stored under modified atmosphere packaging in polymeric films [J]. International Journal of Current

- Microbiology and Applied Sciences, 2017, 6(7): 924-937
- [12] Chen F, Wu G, Li C. Effects of modified atmosphere packaging on respiration and quality attributes of loquat fruit during cold storage [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2003, 19(5): 147-151
- [13] Xiao G, Zhang M, Luo G, et al. Effect of modified atmosphere packaging on the preservation of strawberry and the extension of its shelf-life [J]. International Agrophysics, 2004, 18(2): 1-7
- [14] 马惠玲,宋淑亚,马艳萍,等.自发气调包装对核桃青果的保鲜效应[J].农业工程学报,2012,28(2):262-267
MA Hui-ling, SONG Shu-ya, MA Yan-ping, et al. Effects of modified atmosphere package on preservation of green walnut fruit [J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(2): 262-267
- [15] 王瑞庆,冯建华,魏雯雯,等.1-MCP 处理和气调包装对枸杞鲜果低温贮藏品质的影响[J].农业工程学报,2012,28(19): 295-300
WANG Rui-qing, FENG Jian-hua, WEI Wen-wen, et al. Effect of 1-methylcyclopropene and modified atmosphere packaging on quality retention during cold-temperature storage of *Lycium barbarum* fruit [J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(19): 295-300
- [16] Jia C G, Xu C J, Jia W, et al. Effect of modified atmosphere packaging on visual quality and glucosinolates of broccoli florets [J]. Food Chemistry, 2009, 114(1): 28-37
- [17] 严灿,刘升,贾丽娥,等.不同贮藏温度对草莓呼吸强度及品质的影响[J].制冷学报,2015,36(5):37-42
YAN Can, LIU Sheng, JIA Li-e, et al. Effect of different storage temperature on respiration rate and quality of strawberry [J]. Journal of Refrigeration, 2015, 36(5): 37-42
- [18] 张长峰,徐步前.温度对薄膜包装中气体浓度和香蕉呼吸强度的影响[J].食品科学,2004,25(4):174-177
ZHANG Chang-feng, XU Bu-qian. Study on respiration intensities of bananas sealed in LPDE bags stored at different temperatures [J]. Food Science, 2004, 25(4): 174-177
- [19] 曹健康,姜微波,赵玉梅.果蔬采后生理生化实验指导[M].北京:中国轻工业出版社,2007
CAO Jian-kang, JIANG Wei-bo, ZHAO Yu-mei. Fruit and vegetable post-harvest physiology and biochemistry experimental guidance [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007
- [20] 潘俨,车凤斌,董成虎,等.模拟运输振动对新疆杏呼吸途径和品质的影响[J].农业工程学报,2015,31(3):333-339
PAN Yan, CHE Feng-bin, DONG Cheng-hu, et al. Effects of simulated transport vibration on respiratory pathways and qualities of Xinjiang apricot fruit [J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(3): 333-339
- [21] 宋肖琴,张波,徐昌杰,等.采后枇杷果实的质构变化研究[J].果树学报,2010,27(3):379-384
SONG Xiao-qin, ZHANG Bo, XU Chang-jie, et al. Texture profile analysis of postharvest loquat fruit [J]. Journal of Fruit Science, 2010, 27(3): 379-384
- [22] Muskovics G, Felföldi J, Kovács E, et al. Changes in physical properties during fruit ripening of Hungarian sweet cherry (*Prunus avium*, L.) cultivars [J]. Postharvest Biology & Technology, 2006, 40(1): 56-63
- [23] 袁成龙,董晓颖,李培环,等.TPA 质构分析硬肉桃果实采后质地变化[J].食品科学,2013,34(20):273-276
YUAN Cheng-long, DONG Xiao-ying, LI Pei-huan, et al. Texture profile analysis of postharvest loquat fruit [J]. Journal of Fruit Science, 2013, 34(20): 273-276
- [24] 陈于陇,王生有,徐玉娟,等.高阻隔膜高氧气调包装对桑果品质的影响[J].现代食品科技,2014,30(3):87-92
CHEN Yu-long, WANG Sheng-you, XU Yu-juan, et al. Effect of high atmospheric oxygen packaging on the postharvest quality of mulberry fruits [J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 30(3): 87-92
- [25] Pretel M T, Souty M, Romojaro F. Use of passive and active modified atmosphere packaging to prolong the postharvest life of three varieties of apricot (*Prunus armeniaca*, L.) [J]. European Food Research & Technology, 2000, 211(3): 191-198
- [26] Costa C, Lucera A, Conte A, et al. Effects of passive and active modified atmosphere packaging conditions on ready-to-eat table grape [J]. Journal of Food Engineering, 2011, 102(2): 115-121
- [27] 郭园园,鲁晓翔,李江阔,等.自发气调包装对青皮核桃采后生理及品质的影响[J].食品科学,2014,35(4):217-221
GUO Yuan-yuan, LU Xiao-xiang, LI Jiang-kuo, et al. Effects of film packaging treatments on physiological metabolism and quality of postharvest green walnuts [J]. Journal of Fruit Science, 2014, 35(4): 217-221
- [28] 张辉,逢焕明,王静,等.CO₂ 熏蒸对杏果呼吸速率及内源乙烯的影响[J].食品研究与开发,2009,30(10):127-129
ZHANG Hui, PENG Huan-ming, WANG Jing, et al. Effect of CO₂ fumigation on respiration rate and source of ethylene for the apricot fruit [J]. Food Research and Development, 2009, 30(10): 127-129
- [29] 张圣仓.杏果实着色的生理生化特性研究[D].咸阳:西北农

- 林科技大学,2012
- ZHANG Sheng-cang. Study on coloring physiological and biochemical characteristics in apricot fruits [D]. Xianyang: Northwest A&F University, 2012
- [30] 张秋云.基于转录组学杏果实风味、色泽品质形成相关基因挖掘及转录调控网络解析[D].重庆:西南大学,2017
- ZHANG Qiu-yun. Gene mining and analyzation of transcriptionally regulated network related to apricot flavor and color quality based on transcriptomics [D]. Chongqing: Southwest University, 2017
- [31] 刘红锦,胡花丽,李鹏霞,等.不同气体组合对杏果实贮藏品质的影响[J].江苏农业学报,2009,25(4):171-175
- LIU Hong-jin, HU Hua-li, LI Peng-xia, et al. Effects of O₂ and CO₂ concentrations on the storage quality of apricot fruit [J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2009, 25(4): 171-175
- [32] 王伟,刘红锦,王毓宁,等.气调贮藏对金太阳杏贮藏品质的影响[J].江苏农业学报,2011,27(2):171-175
- WANG Wei, LIU Hong-jin, WANG Yu-ning, et al. Effects of controlled atmosphere on quality of Golden-sun apricot during storage [J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2011, 27(2): 171-175
- [33] 赵迎丽,王春生,闫根柱,等.气调对凯特杏冷藏及货架后品质及色泽的影响[J].山西农业科学,2015,43(2):192-195,203
- ZHAO Ying-li, WANG Chun-sheng, YAN Gen-zhu, et al. Effect of controlled atmosphere on the postharvest fruit storage quality and fruit color of 'Katy' apricot [J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2015, 43(2): 192-195, 203
- [34] 王武.套袋对柑橘果实外观色泽和内在品质的影响[D].重庆:西南大学,2006
- WANG Wu. Effect of bagging fruit on the color and quality of citrus fruit [D]. Chongqing: Southwest University, 2006
- [35] 王丹.夏橙果实成熟过程中果皮色泽变化的规律研究[D].武汉:华中农业大学,2016
- WANG Dan. Research on the rules of the peel color changes during 'Cutter Valenci' fruit ripening [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2016
- [36] Crépin Ella Missang, Maingonnat J F, Renard C M G C, et al. Apricot cell wall composition: Relation with the intra-fruit texture heterogeneity and impact of cooking [J]. Food Chemistry, 2012, 133(1): 45-54
- [37] Xu F, Yuan S, Zhang D W, et al. The role of alternative oxidase in tomato fruit ripening and its regulatory interaction with ethylene [J]. Journal of Experimental Botany, 2012, 63(15): 5705-5716

(上接第266页)

- [14] 洗燕萍,郭新东,杜志峰,等.奶瓶中双酚A、烷基酚及烷基酚聚氧乙烯醚残留量的高效液相色谱-荧光测定法[J].现代食品科技,2008,24(5):493-495
- XIAN Yan-ping, GUO Xin-dong, DU Zhi-feng, et al. Determination of bisphenol A, alkylphenols and alkylphenol ethoxylates residues in nursing bottle by hplc-rf [J]. Modern Food Science and Technology; 2008, 24(5): 493-495
- [15] 梁锡镇,隋海霞,李丹,等.液相色谱-三重四极杆质谱同时测定食品接触材料中双酚A、双酚F与双酚S的迁移量[J].分析测试学报,2018,1:87-91
- LIANG Xi-zhen, SUI Hai-xia, LI Dan, et al. Determination on migration of bisphenol A, bisphenol F and bisphenol S in food contact materials by liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Journal of Instrumental Analysis, 2018, 1: 87-91
- [16] 史晓梅,陈士恒,章晴,等.分散固相萃取-气相色谱法快速测定食用植物油中66种农药残留[J].中国粮油学报,2016,31(7):132-137
- SHI Xiao-mei, CHEN Shi-heng, ZHANG Qing, et al. Rapid determination of 66 pesticides residues in edible vegetable oil by dispersive solid phase extraction method-gas chromatography [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2016, 31(7): 132-137
- [17] 向平,沈敏,卓先义.液相色谱-质谱分析中的基质效应[J].分析测试学报,2009,28(6):753-756
- XIANG Ping, SHEN Min, ZHUO Xian-yi. Matrix effect in liquid chromatographic-mass spectrometric analysis [J]. Journal of Instrumental Analysis, 2009, 28(6): 753-756