

气调包装对软枣猕猴桃品质的影响

孙兴盛¹, 银徐蓉¹, 周福慧¹, 蒋海峰¹, 姜爱丽¹, 胡文忠¹, 李江阔²

(1.大连民族大学 生命科学学院, 生物技术与资源利用教育部重点实验室, 辽宁 大连 116600; 2.国家农产品保鲜工程技术研究中心(天津), 天津市农产品采后生理与贮藏保鲜重点实验室, 天津 300384)

摘要: 目的 研究自发气调处理对采后软枣猕猴桃果实品质的影响。方法 将软枣猕猴桃置于塑料气调箱内, 气调处理组果实放入气调箱封盖处理, 对照组进行不封盖处理, 于4℃下贮藏64 d, 每16 d对软枣猕猴桃呼吸代谢及抗性相关指标进行测定, 即气调箱内CO₂和O₂含量, 可溶性固形物(TSS)、丙二醛(MDA)、总酚含量, 及抗氧化相关酶活性等指标。结果 自发气调处理能够使CO₂和O₂含量维持在适宜的贮藏范围内, 从而保持较高的TSS和总酚含量, 抑制MDA含量及多酚氧化酶(PPO)活性, 增强过氧化物酶(POD)、苯丙氨酸解氨酶(PAL)和过氧化氢酶(CAT)活性。结论 贮藏48~64 d, 自发气调处理软枣猕猴桃的最适宜气体环境为体积分数3%左右的CO₂和体积分数16%左右的O₂, 保持了软枣猕猴桃较好品质的机制, 通过诱导果实的苯丙烷及抗氧化代谢实现。

关键词: 软枣猕猴桃; 自发气调; 贮藏保鲜

中图分类号: TB485.2; TB489 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2019)19-0073-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.19.010

Effect of Modified Atmosphere Packaging on Quality of *Actinidia Arguta*

SUN Xing-sheng¹, YIN Xu-rong¹, ZHOU Fu-hui¹, JIANG Hai-feng¹, JIANG Ai-li¹,
HU Wen-zhong¹, LI Jiang-kuo²

(1.Key Laboratory of Biotechnology and Resource Utilization, Ministry of Education, College of Life Science, Dalian Minzu University, Dalian 116600, China; 2.Tianjin Key Laboratory of Postharvest Physiology and Storage of Agricultural Products, National Engineering and Technology Research Center for Preservation of Agricultural Products (Tianjin), Tianjin 300384, China)

ABSTRACT: The paper aims to study the effect of modified atmosphere treatment on the quality of postharvest *actinidia arguta* fruit. The *actinidia arguta* was placed in a sealed air conditioning preservation experiment box and an opened air conditioning preservation experiment box (serving as control), and then stored at 4℃ for 64 d. The respiratory metabolism and resistance indexes such as the concentration of CO₂ and O₂ in the box, the contents of total soluble solids (TSS), malondialdehyde (MDA) as well as total phenolic, and antioxidant enzyme activity were analyzed every 16 d. The results showed that modified atmosphere treatment could maintain proper CO₂ and O₂ concentration to maintain higher TSS and total phenolic contents, inhibit MDA content and polyphenol oxidase (PPO) activity as well as enhance the activities of peroxidase (POD), phenylalanine ammonia lyase (PAL) and catalase (CAT). Therefore, during the storage of 48~64 d, the most suitable gas environment for modified atmosphere treatment of *actinidia arguta* is about 3% CO₂ volume fraction and 16% O₂ volume fraction. The mechanism for maintaining the quality of *actinidia arguta* is based on inducing phe-

收稿日期: 2019-07-25

基金项目: “十三五”国家重点研发计划(2016YFD0400903); 辽宁省食品产业校企联盟项目(2018LNSPLLM0106)

作者简介: 孙兴盛(1995—), 男, 硕士, 主攻采后生物学与技术。

通信作者: 姜爱丽(1971—), 女, 博士, 教授, 主要研究方向为采后生物学与技术。

nylpropanoid and antioxidant metabolism.

KEY WORDS: *actinidia arguta*; modified atmosphere; storage preservation

软枣猕猴桃 (*Actinidia arguta*) 属于猕猴桃科 (*Actinidiaceae*) 猕猴桃属 (*Actinidia*)^[1], 富含 Vc 和酚类物质^[2-3], 其 Vc 含量是柑橘的 10 倍、苹果的 80 倍^[4], 具有较高的抗氧化能力, 可以有效清除活性氧自由基, 对人体健康有益, 因此越来越受到消费者的青睐^[5]。由于软枣猕猴桃为呼吸跃变型浆果, 且果实表面无绒毛覆盖, 极易失水皱缩, 严重地影响了果实的外观及营养品质, 因此, 软枣猕猴桃的保鲜问题是制约其发展的瓶颈问题。

气调包装 (MAP) 被认为是目前最先进和最有效的果蔬保鲜方法之一。塑料箱式气调属于自发式气调, 是一种简单、无毒害且高效的果蔬保鲜作用技术, 是根据果蔬的生理特性和自身呼吸, 并利用气调包装膜的透过性, 来自发调节箱内 CO₂ 和 O₂ 的含量, 使果蔬处于适宜的气体微环境中^[6]。

气调包装在果蔬保鲜上的应用较为广泛, Saito 等^[7]在气调包装保鲜芦笋的研究中指出, 包装内 O₂ 体积分数为 1%~6%, 可延缓芦笋的失水率及 Vc 的降解。相关研究也证实, 低氧的气调包装可以抑制鲜切洋葱的呼吸作用^[8]。综上所述, 合理的气调包装能够有效地降低果蔬呼吸作用、蒸腾作用, 使果蔬生理活动降至最低, 从而大大降低果蔬的品质损失和质量损失。文中对新鲜的软枣猕猴桃进行气调包装处理, 以期对软枣猕猴桃贮藏保鲜提供参考。

1 实验

1.1 材料与仪器

主要材料: 实验所用软枣猕猴桃品种为“桓优 1 号”, 采自辽宁省农业职业技术学院猕猴桃基地; 选择采摘 TSS 含量在 6.5% 左右的八分熟软枣猕猴桃, 采后立即运回实验室, 挑选大小均一、无病虫害及机械损伤的软枣猕猴桃备用。苯丙氨酸、愈创木酚、聚乙烯吡咯烷酮、甲醇溶液、福林酚溶液、三氯乙酸、硫代巴比妥酸、邻苯二酚, 均为分析纯, 购自天津科密欧化学试剂有限公司。

主要仪器: UV-2600 型紫外可见分光光度计, 日本岛津公司; TGL-20M 型台式高速冷冻离心机, 湖南湘仪离心机仪器有限公司; PAL-1 型糖度计, 日本 ATAGO 公司; F-940 型 O₂/CO₂ 手持式气体分析仪, 美国 FELIX 公司。

1.2 方法

1) 样品处理。将采后软枣猕猴桃装入塑料气调箱内, 每箱约装 1.0 kg, 放入温度为 (4±1) °C 的冷

库中开盖预冷 24 h。预冷结束后, 分别对冷库内的塑料气调箱进行 2 种处理: 气调处理组, 把塑料气调箱封盖; 对照组, 塑料气调箱不封盖。2 组于 (4±1) °C 下贮藏, 每组均为 20 箱, 每次取样时各组分别取 3 箱作为重复, 以 16 d 为周期进行各项指标的测定。

2) 塑料气调箱结构。塑料气调箱 (长 0.28 m×宽 0.22 m×高 0.12 m), 前后 2 个面各有 3 个通气口 (长 0.2 m×宽 0.15 m, 气孔间距 0.15 m), 配备气调元件, 塑料气调箱内置 2 个手提篮 (长 0.20 m×宽 0.12 m×高 0.11 m)。

3) CO₂ 和 O₂ 含量的测定。采用 F-940 型 O₂/CO₂ 手持式气体分析仪, 每 16 d 对箱内 O₂ 和 CO₂ 含量进行一次测定。

4) TSS 含量的测定。采用便携式手持折光仪进行测定, 将软枣猕猴桃榨汁过滤后, 取滤液直接测定。每个处理重复测定 3 次, 取其平均值。

5) MDA 含量的测定。参照 Jin 等^[9]的方法, 稍加修改, 测定其在 450, 532, 600 nm 波长处的吸光度值, 重复 3 次。

6) 总酚含量的测定。参照 Rosa 等^[10]的方法, 并加以改进。

7) POD, PPO, PAL 活性的测定。参照 Chen 等^[11]的方法测定 POD 和 PPO 活性, 参照 Gong 等^[12]的方法测定 PAL 活性, 分别以 1 min 内每克果实在 460, 398, 290 nm 处吸光度增加 1 为 1 个酶活力单位, 结果以 U 表示, 重复 3 次。

8) CAT 活性的测定。参照赵蕾等^[13]的方法测定 CAT 活性。以 1 min 内每克果实在 240 nm 处吸光值变化 1 为 1 个酶活单位, 结果以 U 表示, 重复 3 次。

1.3 统计分析

所有结果取 3 次测定结果的平均值。利用 Excel 2010 和 SPSS 17.0 软件进行数据统计和差异显著性分析 ($p < 0.05$); 采用 Origin 8.0 软件作图。

2 结果与分析

2.1 气调箱透气系数比 (β) 的特性

塑料气调箱的规格是根据 MAP 的建模进行选择的。试验材料所用的果蔬吸收或放出的 i 组分气体的增量, 与通过气调箱进入或透出的 i 组分气体量之和, 等于气调箱内 i 组分气体增量^[14-15]:

$$\frac{dn_{O_2}}{dt} = \left[\frac{P_{O_2}}{d} A (P_{O_2}^{out} - P_{O_2}^{in}) - mR_{O_2} \right] / V \quad (1)$$

$$\frac{dn_{\text{CO}_2}}{dt} = \left[\frac{P_{\text{CO}_2}}{d} A (P_{\text{CO}_2^{\text{in}}} - P_{\text{CO}_2^{\text{out}}}) - mR_{\text{CO}_2} \right] / V \quad (2)$$

式中： n_{O_2} ， n_{CO_2} 为气调箱内 O_2 ， CO_2 的物质的量； P_{O_2} ， P_{CO_2} 为 O_2 ， CO_2 透过气调箱透气材料的渗透系数； A 为气调箱透气材料的表面积； d 为气调箱透气材料的厚度； m 为果蔬产品的质量； $P_{\text{O}_2^{\text{out}}}$ ， $P_{\text{O}_2^{\text{in}}}$ 分别为外界环境中与气调箱内的 O_2 分压； $P_{\text{CO}_2^{\text{out}}}$ ， $P_{\text{CO}_2^{\text{in}}}$ 分别为外界环境中与气调箱内的 CO_2 分压； R_{O_2} ， R_{CO_2} 为果蔬产品 O_2 ， CO_2 呼吸速率； V 为气调箱内的自由体积。

式(1)和(2)经过整理计算，可得 $P_{\text{O}_2^{\text{in}}}$ 和 $P_{\text{CO}_2^{\text{in}}}$ 之间的相互关系为：

$$C_{\text{CO}_2^{\text{in}}} = C_{\text{CO}_2^{\text{out}}} + \frac{P_{\text{O}_2}}{P_{\text{CO}_2}} (C_{\text{O}_2^{\text{out}}} - C_{\text{O}_2^{\text{in}}}) \frac{R_{\text{CO}_2}}{R_{\text{O}_2}} \quad (3)$$

式中： $C_{\text{CO}_2^{\text{out}}}$ 和 $C_{\text{O}_2^{\text{out}}}$ 为常数； $\frac{R_{\text{CO}_2}}{R_{\text{O}_2}}$ 是呼吸熵(Q)，

是一个近似值； $\frac{P_{\text{O}_2}}{P_{\text{CO}_2}}$ 为选定包装膜的常数，并被定

义为 $\frac{1}{\beta}$ ，所以式(3)可以表示为：

$$C_{\text{CO}_2^{\text{in}}} = \left(C_{\text{CO}_2^{\text{out}}} + \frac{Q}{\beta} \times C_{\text{O}_2^{\text{out}}} \right) - \frac{Q}{\beta} \times C_{\text{O}_2^{\text{in}}} \quad (4)$$

根据上述方程式(4)可推导出：

$$\beta = \frac{C_{\text{O}_2^{\text{in}}}}{C_{\text{CO}_2^{\text{in}}}} Q \quad (5)$$

经典包装设计中，设定的条件为静态，MAP 包装的压力是常数，并且 P_{O_2} 和 P_{CO_2} 分压值的变化都为 0，代表气调包装的气体达到动态平衡。当包装内达到动态平衡时，气体环境为 CO_2 体积分数为 3%， O_2 体积分数为 16.4%，由气流法求得 $R_{\text{CO}_2} = 286.16 \text{ mL}/(\text{kg} \cdot \text{h})$ ， $R_{\text{O}_2} = 1141.79 \text{ mL}/(\text{kg} \cdot \text{h})$ ， $Q = 0.25$ ，带入式(5)，求得 $\beta = 1.25$ ，该结果与 Mahajan 等^[16]报道的薄膜透气系数比(β)相近，说明该气调原件适用于软枣猕猴桃的贮藏。

2.2 气调箱中气体含量的变化

在果实的贮运期间，其所处的微环境气体含量影响着果实的代谢^[17]。贮藏期间 CO_2 与 O_2 含量的变化见图 1，可知气调处理组软枣猕猴桃果实在贮藏期间 CO_2 含量呈上升趋势， O_2 含量呈下降趋势，而对照组软枣猕猴桃果实的 CO_2 含量和 O_2 含量保持不变。在贮藏至 48 d 时，气调处理组 CO_2 体积分数达到 3.02%， O_2 体积分数为 16.40%，原因可能是果实离开植株后产生后熟现象，继续代谢活动。在贮藏的 48~64 d，

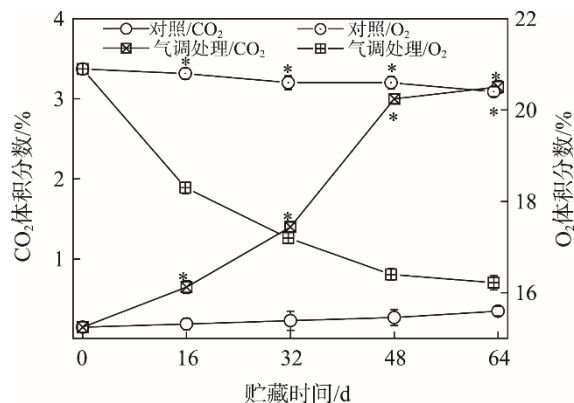


图1 贮藏期间 CO_2 与 O_2 含量的变化
Fig.1 Changes in CO_2 and O_2 concentrations during storage of *actinidia arguta*

箱式气调中 CO_2 与 O_2 含量相对稳定。结果表明，软枣猕猴桃在塑料箱式气调处理中自发形成的贮藏条件为 CO_2 体积分数为 3.02%~3.15%， O_2 体积分数为 16.40%~16.22%，与对照组相比，经过气调的处理组，通过高 CO_2 低 O_2 的贮藏条件，达到了延缓软枣猕猴桃代谢的效果，从而有效地抑制果实成熟和衰老。

2.3 自发气调对软枣猕猴桃 TSS 含量的影响

软枣猕猴桃是典型的呼吸跃变型果实，TSS 的成分主要是可溶性糖，其可以参与果实的呼吸代谢，是果蔬成熟衰老的重要指标^[18]。自发气调对软枣猕猴桃 TSS 含量的影响见图 2。由图 2 可知，软枣猕猴桃的可溶性固形物含量在整个贮藏过程中呈现上升趋势，可能是果实后熟过程中淀粉转化为可溶性糖的结果。根据数据显示，对照组始终高于气调处理组，在贮藏的第 16~48 天差异显著 ($P < 0.05$)。气调处理组和对照组软枣猕猴桃在贮藏第 64 天时，TSS 含量分别比初始值高出 34.07% 和 26.37%，说明对照组软枣猕猴桃代谢较为旺盛，TSS 含量消耗较多，气调处理能有效延缓果实的成熟衰老。

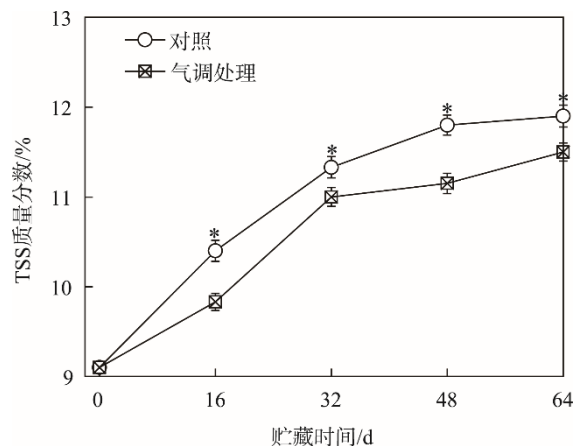


图2 自发气调对软枣猕猴桃 TSS 含量的影响
Fig.2 Effect of modified atmosphere package on TSS content of *actinidia arguta*

2.4 自发气调对软枣猕猴桃总酚含量的影响

总酚具有清除自由基能力及延缓脂质氧化降解等多种功效,也是果实中重要的功能性成分^[19-21]。自发气调对软枣猕猴桃总酚含量的影响见图3,在贮藏周期内,气调处理组软枣猕猴桃和对照组的总酚含量均呈先上升后下降的趋势,且气调处理组总酚含量始终显著高于对照组($P < 0.05$),且在贮藏第48天,气调处理组比对照组总酚含量高55.23%,说明自发气调有利于总酚的积累,增强果实的抗性,保持果实的营养品质和较高的抗氧化能力。

2.5 自发气调对软枣猕猴桃 PPO 活性的影响

PPO 是植物中广泛存在的催化酚类物质氧化的酶类,其活性的增加是果实内部组织开始走向衰老的重要特征^[22]。软枣猕猴桃在贮藏期间,样品 PPO 活性都呈现出先上升后下降的趋势,在第48天时都达到最大值,且对照组的 PPO 活性峰值是气调处理组的1.26倍($P < 0.05$),表明气调处理能够抑制软枣猕猴桃的 PPO 活性,进而降低果实褐变程度,维持果

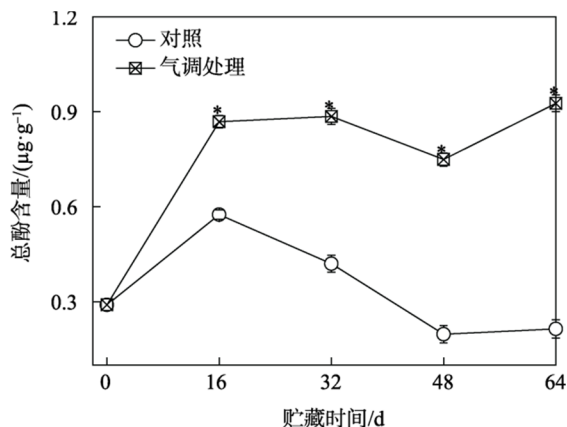


图3 自发气调对软枣猕猴桃总酚含量的影响

Fig.3 Effect of modified atmosphere package on total phenolic content of *actinidia arguta*

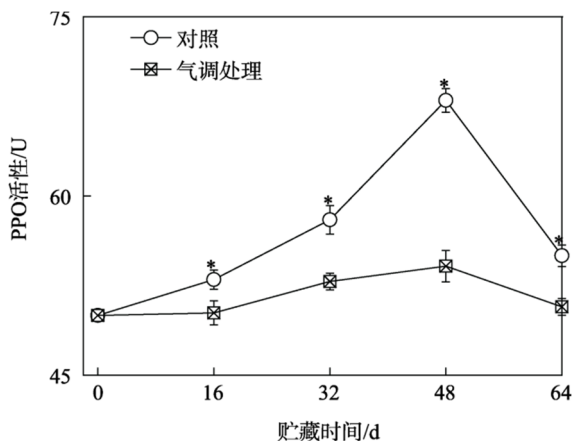


图4 自发气调对软枣猕猴桃 PPO 活性的影响

Fig.4 Effect of modified atmosphere package on PPO activity of *actinidia arguta*

实较好的品质。

2.6 自发气调对软枣猕猴桃 MDA 含量的影响

MDA 是膜质过氧化的产物,可表明过氧化反应中活性氧自由基对细胞膜的损伤程度^[23],同时也是衡量膜脂过氧化程度的重要指标^[24]。自发气调对软枣猕猴桃 MDA 含量的影响见图5,由图5可知,在第64天时 MDA 质量摩尔浓度从初始值的 0.33 nmol/g (MF) 升至 0.56 nmol/g (MF),而气调处理组 MDA 含量随贮藏时间延长缓慢上升。在贮藏过程中,处理组的 MDA 含量始终小于对照组,这说明自发气调可以降低软枣猕猴桃细胞受损程度,减缓膜脂过氧化进程,在一定程度上抑制软枣猕猴桃的衰老。

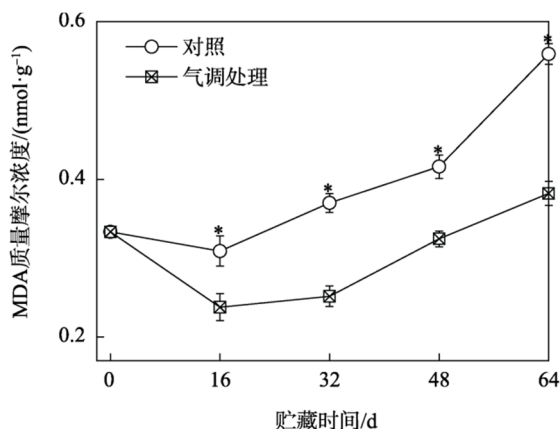


图5 自发气调对软枣猕猴桃 MDA 含量的影响

Fig.5 Effect of modified atmosphere package on MDA content of *actinidia arguta*

2.7 自发气调对软枣猕猴桃 POD, CAT 和 PAL 活性的影响

POD 是植物在逆境条件下酶促防御系统的一种关键酶,其作用是清除细胞内的活性氧,同时能避免活性氧在植物体内的产生和积累^[22]。自发气调对软枣猕猴桃 POD, CAT, PAL 活性的影响见图6。如图6a所示,2组软枣猕猴桃的 POD 活性呈先上升后下降的趋势,自发气调处理组果实的 POD 活性始终高于对照组,且在贮藏的第32~64天差异显著($P < 0.05$)。果实的 POD 活性在贮藏的第48天时达到峰值,对照组与气调处理组果实 POD 活性分别为 35.6 U 和 54.4 U。这说明自发气调处理能够有效提高软枣猕猴桃果实的 POD 活性,延缓果实衰老,保持较好的采后品质。

H_2O_2 在 CAT 的作用下可分解成 H_2O 和分子氧,进而减少由 H_2O_2 对果蔬组织造成的氧化伤害^[25]。由图6b可知, CAT 活性在贮藏周期内呈先降低后升高再降低的趋势,对照组和气调处理组分别在贮藏第32天和第48天时达到峰值,且气调处理组果实的 CAT 活性显著高于对照组($P < 0.05$)。结果说明气调

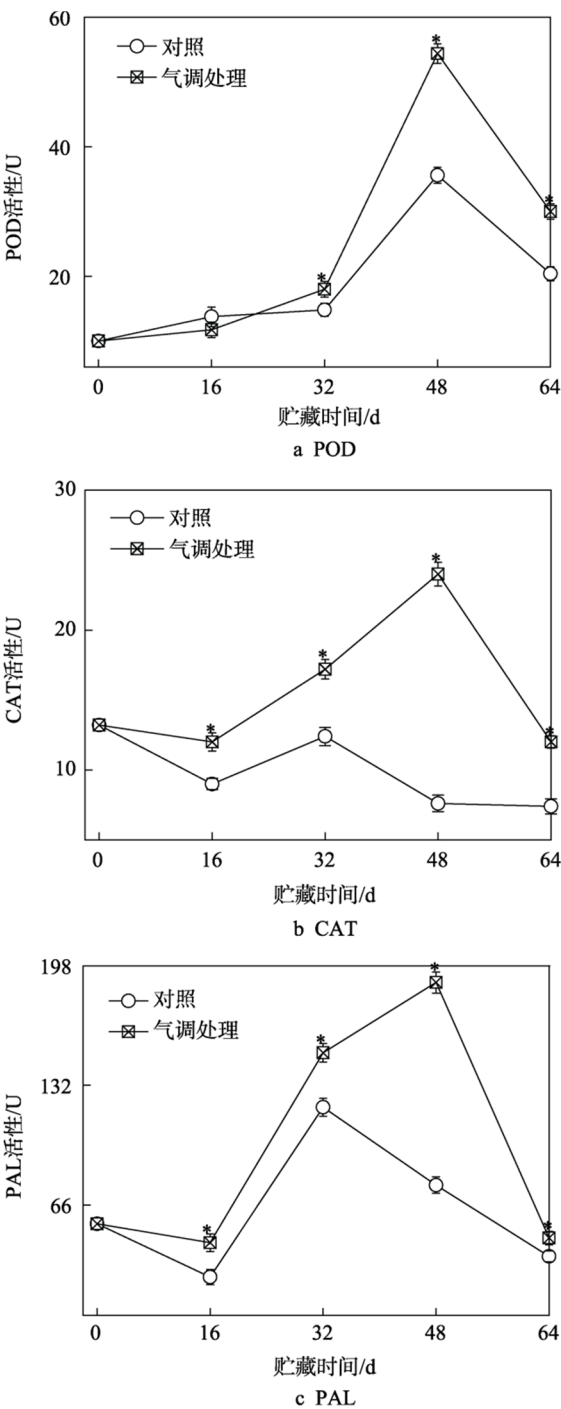


图 6 自发气调对软枣猕猴桃 POD, CAT, PAL 活性的影响

Fig.6 Effect of modified atmosphere package on POD, CAT, and PAL activity of *actinidia arguta*

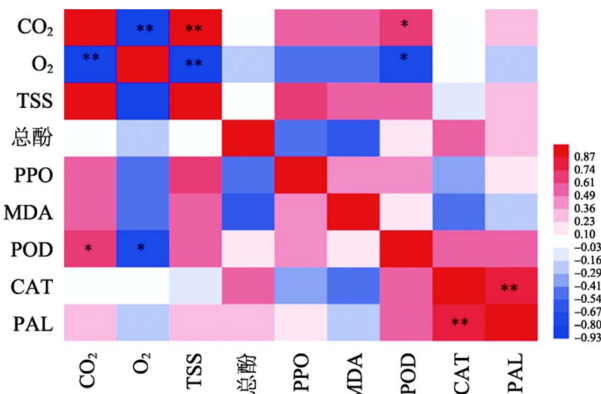
处理能有效提高软枣猕猴桃的 CAT 活性, 有利于清除细胞内过量的 H_2O_2 , 从而降低细胞伤害。

PAL 是果蔬体内的主要防御酶之一, 与果蔬的抗逆境胁迫和抗病性密切相关^[26]。如图 6c 所示, 随着贮藏的延长, PAL 活性呈现先降低后升高再降低的趋势。对照组和气调处理组分别在第 32 和 48 d 时达到峰值, 且气调处理组 PAL 活性峰值是对照组的 1.57 倍 ($P<0.05$)。结果表明气调处理能有效降低软枣猕

猴桃果实受伤害程度, 延长果实的贮藏期。

2.8 Pearson 相关性矩阵

各指标 Pearson 相关性矩阵见图 7。软枣猕猴桃果实的 TSS 含量与气调箱内 CO_2 和 O_2 含量呈极显著负相关 ($P<0.01$); CO_2 和 O_2 含量和 POD 活性呈高度正相关 ($P<0.05$); 与总酚含量、MDA 含量及 PPO 活性呈显著负相关。通过研究发现, 气调包装处理可通过提高果实的抗性来延缓其衰老, 从而能够保持较好的果实采后品质。



注: **和*表示数值间相关性达到 $P<0.01$ 和 $P<0.05$ 水平

图 7 各指标 Pearson 相关性矩阵
Fig.7 Pearson correlation matrix of each indicator

3 讨论

果蔬产品采后仍有序地进行一系列的生命代谢活动, 呼吸作用是果蔬采后最主要的生命活动之一, 是提供各种代谢活动所需能量的基本保证^[27]。研究表明, 高浓度 CO_2 箱式气调可使蓝莓果实呼吸速率减慢, 明显抑制腐烂的发生, 具有很好的保鲜效果^[28], 此外, 气调处理可抑制猕猴桃的呼吸强度^[29], 也可以抑制小白菜的呼吸强度和衰老进程, 保持营养物质的含量^[30]。有研究发现 CO_2 气调贮藏能够抑制荔枝果肉的软化, 延缓荔枝感官品质、果皮果肉色差值的下降^[31]。本研究发现, 气调处理软枣猕猴桃在贮藏 36 d 后 CO_2 体积分数达 3% 以上, 但对果实无伤害, 说明软枣猕猴桃适合气调贮藏, 且体积分数为 3% 左右的 CO_2 可以抑制 TSS 含量的下降及 PPO 活性的上升, 并保持了较好的外观及营养品质。

软枣猕猴桃的呼吸跃变型特性不仅会使其在贮藏期间呼吸逐渐增强, 还会促进其生理代谢进程, 加速内在营养物质的消耗。有研究表明, POD 与 CAT 是控制活性氧代谢的主要抗氧化酶^[32], 具有抵抗氧化应激的作用。在文中, 气调处理组较对照组有更高的抗氧化活性, 显著抑制了 MDA 的积累, 气调包装可保持茶树菇较高的 POD 和 CAT 等活性, 并可有效抑制其机体内 MDA 的积累^[33]。巴良杰等^[34]也证实了自

发气调处理能显著提高蜂糖李果实总酚的含量。

活性氧的积累会引起膜脂过氧化,导致细胞膜破坏,加速衰老进程^[35],植物有抗氧化防御系统抵抗活性氧的侵害。文中研究发现,软枣猕猴桃MDA含量与总酚含量,CAT及PAL活性呈显著负相关,推测软枣猕猴桃在贮藏过程中产生过多的活性氧自由基,会对组织细胞膜造成损伤,导致衰老,而细胞的抗氧化体系能清除积累的活性氧自由基,来维持膜的完整性和稳定性,对果蔬采后品质起到积极作用。这一结论与气调处理后的蜂糖李通过提高抗氧化系统活性和酚类物质的积累来延长保质期^[32]一致。

4 结语

气调贮藏维持了软枣猕猴桃的采后品质,抑制了TSS和总酚含量的减少,以及MDA和PPO酶的积累,提高了POD,CAT,PAL活性,因此气调贮藏能有效保持软枣猕猴桃的外观及营养价值,抑制膜脂损伤,提高果实抗氧化能力,从而延缓果实衰老,延长其贮藏期。

参考文献:

- [1] ZHANG Qiong, LIU Chun-yan, LIU Yi-fei, et al. High-density Interspecific Genetic Maps of Kiwifruit and the Identification of Sex-specific Markers[J]. DNA Research, 2015, 22(5): 367—375.
- [2] LATOCHA P. The Nutritional and Health Benefits of Kiwiberry (*Actinidia arguta*) - a Review[J]. Plant foods for Human Nutrition (Dordrecht, Netherlands), 2017, 72(4): 325—334.
- [3] YANG Yu-hong, KANG Zong-li, GUO Rui-xin, et al. Extracted from *Actinidia arguta* of Wild Fructification Polyphenols Optimization Conditions[J]. Advanced Materials Research, 2014, 1082: 106—111.
- [4] LEE J, SOWNDHARARAJAN K, KIM M, et al. Antioxidant, Inhibition of α -glucosidase and Suppression of Nitric Oxide Production in LPS-Induced Murine Macrophages by Different Fractions of *Actinidia arguta* Stem[J]. Saudi Journal of Biological Sciences, 2014, 21(6): 532—538.
- [5] LEE I, IM S, JIN C R, et al. Effect of Maturity Stage at Harvest on Antioxidant Capacity and Total Phenolics in Kiwifruits (*Actinidia* spp.) Grown in Korea[J]. Horticulture, Environment, and Biotechnology, 2015, 56(6): 841—848.
- [6] 颜廷才, 刘振通, 李江阔, 等. 箱式气调结合 1-MCP 对软枣猕猴桃冷藏期品质及风味物质的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(20): 253—260.
YAN Ting-cai, LIU Zhen-tong, LI Jiang-kuo, et al. Effect of Box-Type Modified Atmosphere Packaging Combined with 1-MCP on Quality and Flavor Compounds of *Actinidia arguta* during Cold Storage[J]. Food Science, 2016, 37(20): 253—260.
- [7] SAITO M, RAI D R, MASUDA R. Effect of Modified Atmosphere Packaging on Glutathione and Ascorbic Acid Content of Asparagus Spears[J]. Journal of Food Processing & Preservation, 2010, 24(3): 243—251.
- [8] HONG S I, KIM D M. Influence of Oxygen Concentration and Temperature on Respiratory Characteristics of Fresh-cut Green Onion[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2001, 36(3): 283—289.
- [9] JIN P, ZHU H, WANG L, et al. Oxalic Acid Alleviates Chilling Injury in Peach Fruit by Regulating Energy Metabolism and Fatty Acid Contents[J]. Food Chemistry, 2014, 161: 87—93.
- [10] ALTISENT R, PLAZA L, ALEGRE I, et al. Comparative Study of Improved vs. Traditional Apple Cultivars and Their Aptitude to be Minimally Processed as 'Ready to eat' Apple Wedges[J]. LWT - Food Science and Technology, 2014, 58(2): 541—549.
- [11] CHEN C, HU W Z, HE Y B, et al. Effect of Citric Acid Combined with UV-C on the Quality of Fresh-cut Apples[J]. Postharvest Biology & Technology, 2016, 111: 126—131.
- [12] GONG D Q, ZHU S J, GU H, et al. Disease Resistance of 'Zill' and 'Keitt' Mango Fruit to Anthracnose in Relation to Defense Enzyme Activities and the Content of Anti-fungal Substances[J]. Journal of Horticultural Science & Biotechnology, 2013, 88(3): 243—250.
- [13] 赵蕾, 胡文忠, 刘文玲, 等. NO 处理对鲜切胡萝卜生理生化变化的影响[J]. 食品与发酵工业, 2018, 44(1): 151—157.
ZHAO Lei, HU Wen-zhong, LIU Wen-ling, et al. Effects of Nitric Oxide on Physiological and Biochemical Changes of Fresh-cut Carrots[J]. Food and Fermentation Industries, 2018, 44(1): 151—157.
- [14] 张鹏, 刘振通, 李江阔, 等. 不同气调元件对软枣猕猴桃冷藏期保鲜品质及电子鼻判别的影响[J]. 食品与发酵工业, 2017, 43(12): 130—136.
ZHANG Peng, LIU Zhen-tong, LI Jiang-kuo, et al. Effects of Different Air Combination on the Preservation Quality and Electronic Nose Identification of Kiwi *Actinidia arguta* during Cold Storage[J]. Food & Fermentation Industries, 2017, 43(12): 130—136.
- [15] FISHMAN S, RODOV V, PE RE TZ J, et al. Model for Gas Exchange Dynamics in Modified - atmosphere Packages of Fruits and Vegetables[J]. Journal of Food Science, 1995, 60(5): 1078—1083.
- [16] EXAMA A, ARUA J, LENCKI R W, et al. Suitability of Plastic Films for Modified Atmosphere Packaging of Fruits and Vegetables[J]. Journal of Food Science, 1993, 58(6): 1365—1370.
- [17] MAHAJAN P V, FAS R, LEFLAIVE E. Analysis of Water Vapour Transmission Rate of Perforation-mediated Modified Atmosphere Packaging (PM-MAP)[J]. Biosystems Engineering, 2008, 100(4): 555—561.
- [18] TOPCU Y, DOGAN A, KASIMOGLU Z, et al. The Effects of UV Radiation during the Vegetative Period on Antioxidant Compounds and Postharvest Quality of Broccoli (*Brassica Oleracea* L.)[J]. Plant Physiology & Biochemistry, 2015, 93: 56—65.

- [19] 杨乐, 侯智霞, 杨俊枫, 等. UV-C 对蓝莓酚类物质及其相关酶活性的影响[J]. 浙江农业学报, 2015, 27(6): 955—960.
YANG Le, HOU Zhi-xia, YANG Jun-feng, et al. Effect of UV-C Treatment on Phenolic Compounds and Relevant Enzymes Activities of Blueberry[J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 2015, 27(6): 955—960.
- [20] 夏乐晗, 陈玉玲, 冯义彬, 等. 不同品种杏果实发育过程中类黄酮、总酚和三萜酸含量及抗氧化性研究[J]. 果树学报, 2016, 33(4): 425—435.
XIA Le-han, CHEN Yu-ling, FENG Yi-bin, et al. Changes in Flavonoids, Total Phenolics, Triterpenoidic Acids and Antioxidant Capacity During Fruit Development of Different Cultivars of Apricot[J]. Journal of Fruit Science, 2016, 33(4): 425—435.
- [21] SAEED N. Antioxidant Activity, Total Phenolic and Total Flavonoid Contents of Whole Plant Extracts *Torilis leptophyllous* L[J]. BMC Complement Altern Med, 2012, 12(1): 221—232.
- [22] 胡文忠, 姜爱丽, 蔡慧, 等. 茉莉酸甲酯处理对软枣猕猴桃生理生化变化的影响[J]. 食品工业科技, 2013, 34(4): 331—340.
HU Wen-zhong, JIANG Ai-li, CAI Hui, et al. Effect of MeJA Treatments on Physiological and Biochemical Changes for *Actinidia Arguta*[J]. Science and Technology of Food Industry, 2013, 34(4): 331—340.
- [23] PING Z, TIAN X, BING D, et al. Size Effects of Chitooligomers with Certain Degrees of Polymerization on the Chilling Tolerance of Wheat Seedlings[J]. Carbohydrate Polymers, 2017, 160: 194—202.
- [24] 周拥军, 郜海燕, 陈杭君, 等. 减压贮藏对杏鲍菇采后活性氧代谢的影响[J]. 核农学报, 2015, 29(6): 1108—1113.
ZHOU Yong-jun, GAO Hai-yan, CHEN Hang-jun, et al. Effects of Hypobaric Storage on Reactive Oxygen Species Metabolism of *Pleurotus eryngii* During Cold Storage[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2015, 29(6): 1108—1113.
- [25] 闫媛媛, 胡文忠, 姜爱丽, 等. 茉莉酸甲酯和乙烯利处理对鲜切苹果膜质过氧化反应的影响[J]. 食品工业科技, 2015, 36(14): 345—349.
YAN Yuan-yuan, HU Wen-zhong, JIANG Ai-li, et al. Effect of Membrane Lipid Peroxidation Reaction to Jasmonic Acid Methyl Ester (MeJA) and Ethephon Treatments for Fresh-cut Apple[J]. Science and Technology of Food Industry, 2015, 36(14): 345—349.
- [26] GE Yong-hong, DUAN Bin, LI Can-ying, et al. γ -Aminobutyric Acid Delays Senescence of Blueberry Fruit by Regulation of Reactive Oxygen Species Metabolism and Phenylpropanoid Pathway[J]. Scientia Horticulturae, 2018, 240: 303—309.
- [27] MAIA V M, SALOMÃO LCC, SIQUEIRA D L, et al. Physical and Metabolic Changes Induced by Mechanical Damage in 'Dwarf-prata' Banana Fruits Kept under Cold Storage[J]. Australian Journal of Crop Science, 2014, 8(7): 1029—1037.
- [28] JIANG Ai-li, MENG Xian-jun, HU Wen-zhong, et al. Effects of High CO₂ Shock Treatment on Physiological Metabolism and Quality of Postharvest Blueberry Fruits[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2011, 27(3): 362—368.
- [29] 胡花丽, 王毓宁, 李鹏霞. 气调贮藏对猕猴桃抗坏血酸-谷胱甘肽代谢的影响[J]. 现代食品科技, 2015, 31(7): 152—159.
HU Hua-li, WANG Yu-ning, LI Peng-xia. Effect of Controlled-atmosphere Storage on Ascorbate-glutathione Metabolism in Kiwifruit[J]. Modern Food Science & Technology, 2015, 31(7): 152—159.
- [30] 高春霞, 乔勇进, 甄凤元, 等. 气调贮藏对小白菜品质及生理生化特性的影响[J]. 食品与发酵科技, 2017, 53(1): 1—5.
GAO Chun-xia, QIAO Yong-jin, ZHEN Feng-yuan, et al. Physiobiochemical Characteristics and Quality of Pakchoi during Controlled Atmosphere Storage[J]. Food and Fermentation Sciences & Technology, 2017, 53(1): 1—5.
- [31] 周沫霖, 胡卓炎, 余小林, 等. 采后预冷及气调贮藏对荔枝 γ -氨基丁酸富集及贮藏品质的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(15): 181—189.
ZHOU Mo-lin, HU Zhuo-yan, YU Xiao-lin, et al. Impact of Postharvest Precooling and Controlled Atmosphere Storage on γ -Aminobutyric Acid (GABA) Accumulation and Storage Quality in Litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) Fruits[J]. Food Science, 2018, 39(15): 181—189.
- [32] 霍宪起. 正己醇处理对桑葚采后生理与抗氧化酶的影响[J]. 食品科学, 2012, 33(6): 252—255.
HUO Xian-qi. Effect of 1-Hexanol Treatment on Physiology and Antioxidant Enzymes of Post-harvest Mulberry Fruits[J]. Food Science, 2012, 33(6): 252—255.
- [33] LI T H, MIN Z. Effects of Modified Atmosphere Package (MAP) with a Silicon Gum Film Window and Storage Temperature on the Quality and Antioxidant System of Stored *Agroclype Chaxingu*[J]. LWT-Food Science and Technology, 2010, 43(7): 1113—1120.
- [34] 巴良杰, 罗冬兰, 曹森, 等. 自发气调包装对蜂糖李采后生理及贮藏品质的影响[J]. 中国南方果树, 2019, 48(3): 105—111.
BA Liang-jie, LUO Dong-lan, CAO Sen, et al. Effect of Modified Atmosphere Packaging on Postharvest Physiology and Storage Quality of 'Fengtang' Plum[J]. South China Fruits, 2019, 48(3): 105—111.
- [35] 吴媛媛, 刘瑞玲, 郜海燕, 等. 灰霉菌侵染对蓝莓采后品质变化及抗氧化性的影响[J]. 中国食品学报, 2019, 19(1): 154—161.
WU Yuan-yuan, LIU Rui-ling, GAO Hai-yan, et al. Effects of *Botrytis cinerea* Infection on Post-harvest Quality and Antioxidant Activities in Blueberry Fruits[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2019, 19(1): 154—161.