

不同高氧预处理时间对枸杞鲜果贮藏保鲜作用比较

张高鹏¹, 曲珈莹¹, 侯雪宁^{1,2}, 赵薇^{1,2}, 侯双迪^{1,2}, 薛敏^{1,2}, 刘霞^{1*}, 范艳丽^{3*}

(1. 天津科技大学食品科学与工程学院, 食品营养与安全国家重点实验室, 天津 300457)

(2. 天津鲜食原品生物科技有限公司, 天津 300457) (3. 宁夏大学食品与葡萄酒学院, 宁夏银川 750021)

摘要: 为探究不同高氧预处理时间对枸杞鲜果在贮藏期间的的影响, 该研究以“宁杞7号”枸杞鲜果作为试验材料, 设置90%(V/V) O₂分别处理30 min、60 min, 以空气放置(21% O₂, V/V)中作为对照, 对果实品质、抗氧化酶活性以及活性物质含量进行分析。结果表明, 在贮藏第30 d, 经过90% O₂处理30 min的果实的硬度、失重、腐烂率、总色差和可溶性固形物含量分别为1.93 N、0.61%、10.90%、17.20、18.80%, 有效延缓了枸杞鲜果品质指标的劣变, 抑制可溶性固形物含量升高; 此外, 可使果实中丙二醛含量、过氧化物酶活性较对照组分别降低51.32%、21.11%; 使果实中过氧化氢酶、超氧化物歧化酶较对照组分别提高66.20%、15.37%, 并使抗坏血酸含量维持在较高水平。综合分析表明, 90% O₂处理30 min能够有效维持果实品质、提高抗氧化酶活性以及活性物质含量, 减少果实贮藏期的氧化损伤, 进而延长果实保鲜期。

关键词: 高氧预处理; 枸杞鲜果; 贮藏; 保鲜

文章编号: 1673-9078(2023)07-130-137

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2023.7.1000

Effects of Different High-oxygen Pretreatment Durations on the Storage Quality of *Lycium barbarum* (Goji) Berries

ZHANG Gaopeng¹, QU Jiaying¹, HOU Xuening^{1,2}, ZHAO Wei^{1,2}, HOU Shuangdi^{1,2}, XUE Min^{1,2}, LIU Xia^{1*}, FAN Yanli^{3*}

(1. State Key Laboratory of Food Nutrition and Safety, College of Food Science and Engineering, Tianjin University of Science and Technology, Tianjin 300457, China) (2. Tianjin Fresh Food Original Biotechnology Co. Ltd., Tianjin 300457, China) (3. College of Food and Wine, Ningxia University, Yinchuan 750021, China)

Abstract: To investigate the effects of high-oxygen pretreatment (HOP) duration on the storage quality of *Lycium barbarum* (goji) berries, “Ningqi No. 7” goji berries were subjected to HOP (90% O₂) for 0 (control in ambient air, 21% O₂), 30, and 60 min, followed by quantitative analyses of their quality, antioxidase activity, and active substance contents. After 30 days of storage, the hardness, mass loss, fruit decay percentage, total color difference, and soluble solids content (SSC) of goji berries subjected to 30 min of HOP were 1.93 N, 0.61%, 10.90%, 17.20, and 18.80%, respectively. Therefore, HOP slowed the degradation of fruit quality indices in goji berries and inhibited the increase in SSC. Furthermore, as compared to that by the control condition, 30-min HOP treatment decreased the malondialdehyde content and peroxidase activity by 51.32% and 21.11%, respectively, increased catalase and superoxide dismutase activities by 66.20% and 15.37%, respectively, and retained the vitamin C content at high levels. In summary, compared to that by no treatment, treating goji berries with 90% O₂ for 30 min improved fruit quality, increased antioxidase activity and active substance content, and reduced oxidative damage, thus prolonging their shelf life.

Key words: high-oxygen pretreatment; goji berries; storage; preservation

引文格式:

张高鹏, 曲珈莹, 侯雪宁, 等. 不同高氧预处理时间对枸杞鲜果贮藏保鲜作用比较[J]. 现代食品科技, 2023, 39(7): 130-137.

ZHANG Gaopeng, QU Jiaying, HOU Xuening, et al. Effects of different high-oxygen pretreatment durations on the storage quality of *Lycium barbarum* (Goji) berries [J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(7): 130-137.

收稿日期: 2022-08-12

基金项目: 宁夏回族自治区重点研发项目(2020BBF03014)

作者简介: 张高鹏(1998-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 农产品加工及贮藏工程, E-mail: zhanggp0501@126.com

通讯作者: 刘霞(1976-), 女, 博士, 研究员, 研究方向: 农产品加工及贮藏工程, E-mail: liuxia@tust.edu.cn; 共同通讯作者: 范艳丽(1980-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 食品营养与特色农产品加工, E-mail: fanyanli_fyl@163.com

枸杞 (*Lycium barbarum* L.), 茄科枸杞属植物, 主要分布在我国西北地区^[1]。枸杞鲜果富含营养和生物活性物质, 如枸杞多糖、黄酮多酚、类胡萝卜素、维生素、生物碱、矿物质等, 具有增强免疫力、延缓人体衰老、抗氧化、抗肿瘤等作用^[2-5]。随着枸杞育种技术的发展, 许多可新鲜食用的枸杞品种均具有果实大、口感佳等优点。伴随着消费者对于饮食健康越来越高的追求, 枸杞鲜果展现了巨大的市场潜力^[6]。然而, 枸杞鲜果皮薄肉嫩、采后果实的呼吸作用和生理代谢非常活跃, 使果实软化、衰老进程加剧, 导致贮藏运输难, 成为市场开拓的瓶颈。因此, 如何提高枸杞鲜果的贮藏品质、提高枸杞鲜果的耐贮性亟待解决。

已有枸杞鲜果保鲜的报道主要集中在低温贮藏^[7]、壳聚糖涂膜保鲜^[8]、1-MCP 熏蒸保鲜^[9]、NO 熏蒸保鲜^[10]和气调包装保鲜^[11]等方面, 均在不同程度上能够提高枸杞鲜果的贮藏品质并延长其贮藏期和货架期。众所周知, 低温长期连续气调是果蔬保鲜的有效方法, 但周期长、费用高。扶庆权等^[12]将高氧气调包装应用于鲜牛肉保鲜中, 发现高氧气调包装能够较好地保持牛肉的红色; 王相友等^[13]的研究结果表明, 高氧气调包装能较好地保持双孢菇的品质; Lu 等^[14]研究了高氧气调包装对草莓果实的影响, 发现能够较好地保持草莓果实的抗氧化能力和降低衰变率。同时, 冷激、热激等应激技术已在果蔬保鲜中取得较好的贮藏品质, 但高氧短时应激保鲜技术对枸杞果实进行贮藏调控的研究鲜有报道。

在本研究中, 以枸杞鲜果为试材, 研究高氧预处理不同处理时间对枸杞鲜果贮藏期间果实品质、抗氧化酶活性以及活性物质含量等的影响, 推测高氧预处理对枸杞鲜果采后胁迫生理表达机制, 以期提高枸杞鲜果的贮藏品质并且延长贮藏期和货架期。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

枸杞鲜果采自宁夏回族自治区中卫市, 品种为“宁杞 7 号”。采摘后挑选无病症、大小均一、无机械损伤带柄鲜枸杞空运至天津科技大学实验室于 (1±0.5) °C 预冷 24 h 后用于后续实验处理。

2,6-二氯酚靛酚, 上海源叶生物科技有限公司; 三氯乙酸, 斯特辉化学科技有限公司; 硫代巴比妥酸, 天津维科生物技术有限公司; 聚乙烯吡咯烷酮, 江苏瑞德医药科技有限公司; 愈创木酚, 天津市南开区逸丰华生实验仪器经营部; 聚乙二醇 6000, 南京壹仟医药科技有限公司; NBT, 天津钧尧商贸有限公司; 核

黄素, 天津市莱博科技有限公司; EDTA-Na₂, 天津市莱博科技有限公司; 蛋氨酸, 天津钧尧商贸有限公司。以上试剂均为分析纯。

1.2 仪器与设备

GY-4 型果实硬度计, 浙江托普仪器有限公司; PAL-1 型手持数字糖度计, 日本爱拓; JFQ-3150H 型果蔬呼吸测定仪, 北京均方理化科技研究所; 湘仪 TGL-16M 医用离心机, 长沙高新技术产业开发区湘仪离心机仪器有限公司; WR-18 型精密色差仪, 深圳市威福光电科技有限公司; Epoch 型酶标仪, 美国伯腾仪器有限公司; DK-98-II A 型电热恒温水浴锅, 天津泰斯特仪器有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 样品预处理

将预冷后的枸杞果实分为以下 3 个处理组:

HO1 组: 90% (V/V) O₂ 气调预处理 30 min;

HO2 组: 90% (V/V) O₂ 气调预处理 60 min;

CK 组: 不经任何处理的鲜果作为空白对照。

枸杞果实预处理后装入已打孔 0.03 mm 聚乙烯薄膜保鲜袋中, 扎口密封, 置于 (0±1) °C 条件下贮藏。贮藏过程中, 每 3 d 测定枸杞果实呼吸速率; 每 5 d 测定枸杞果实失重率、腐烂率、硬度、色差、可溶性固形物 (Soluble Solid Content, SSC) 含量、抗坏血酸 (Vitamin C, Vc) 含量、丙二醛 (Malondialdehyde, MDA) 含量、过氧化氢酶 (Catalase, CAT) 含量、过氧化物酶 (Peroxidase, POD) 含量、超氧化物歧化酶 (Superoxide Dismutase, SOD) 含量, 贮藏周期为 30 d。

1.3.2 呼吸速率

使用 JFQ-3150H 型果蔬呼吸测定仪测定呼吸速率。随机取重量接近的果实, 重复测定三次, 取平均值, 计算公式如下:

$$R = \frac{(W_2 - W_1) \times V \times M \times 1000}{V_0 \times m \times t} \quad (1)$$

式中:

R——呼吸速率, mg/(kg·h);

W₁——空白试验呼吸罐中 CO₂ 总量 (V/V), %;

W₂——测定后呼吸罐中 CO₂ 总量 (V/V), %;

V——呼吸罐内总体积, L;

M——CO₂ 的摩尔质量, g/mol;

V₀——测定温度下 CO₂ 摩尔体积;

m——测定果实的重量, kg;

t——测定时果蔬呼吸时间, h。

1.3.3 果实硬度及 SSC

使用 GY-4 型果实硬度计测定果实硬度。

随机取不同处理组的枸杞果实使用打浆机打碎，用手持数字糖度计中测定可溶性固形物。

1.3.4 果实色泽

采用薛友林等^[15]的方法测定果实色泽。

1.3.5 失重率和腐烂率

失重率采用 Jatoi 等^[16]的方法进行测量。

腐烂率采用计数法，记录每组腐烂果实数记为 A_1 ，该组果实的总颗粒数记为 A_2 ，计算公式如下：

$$D = \frac{A_1}{A_2} \times 100\% \quad (2)$$

式中：

D ——腐烂率，%；

A_1 ——每组腐烂果实数；

A_2 ——该组果实的总颗粒数。

1.3.6 Vc 含量

采用 2,6-二氯酚靛酚滴定法^[17]测定。

1.3.7 MDA 含量

采用硫代巴比妥酸法^[18]测定。

1.3.8 CAT 含量

参照曹建康等^[19]的方法。

1.3.9 POD 含量

采用愈创木酚法^[20]测定。

1.3.10 SOD 含量

参照曹建康等^[19]的方法。

1.4 数据处理与分析

试验数据均由 WPS 软件对采集数据进行计算，结果以平均值进行表达；使用 IBM SPSS Statistics 25 软件进行方差分析和 Duncan's 检验，比较差异显著性 ($P < 0.05$)；采用 Originpro 9.1 64Bit 软件进行制图。

2 结果与讨论

2.1 高氧应激预处理对果实呼吸速率的影响

鲜食枸杞作为一种典型的呼吸跃变型果实，呼吸速率的变化可以反映其采后贮藏期间生理代谢的活跃度。由图 1 可知，不同处理组在贮藏期间的呼吸速率变化趋势基本一致，均呈现出上升-下降-上升-下降的趋势，并且 $HO2 > HO1 > CK$ 。三个处理组的呼吸速率均在贮藏第 9 天 (CK: 53.78 mg/(kg·h); HO1: 60.87 mg/(kg·h); HO2: 65.56 mg/(kg·h)) 达到最高峰。李乾等^[21]通过对比不同品种枸杞鲜果低温贮藏品质差异性发现，在贮藏过程中“圆果”、“宁杞 7 号”等三个品种的枸杞鲜果均在同期 (贮藏 4 d 和 20 d) 出现

两个呼吸高峰，支持枸杞是一种典型的呼吸跃变型果实，在本研究中也证实了这一观点。但冯美等^[22]通过对不同成熟期枸杞鲜果采后呼吸速率变化研究发现，枸杞鲜果的呼吸速率随着贮藏时间的延长而降低，并未出现呼吸高峰，该结论支持枸杞是一种非呼吸跃变型果实。因此，关于枸杞鲜果的呼吸类型需要深层次的研究。

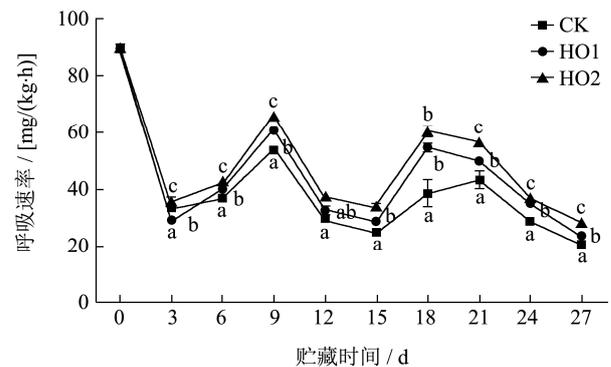


图 1 枸杞鲜果在贮藏期间呼吸速率的变化

Fig.1 Changes of respiration rate of goji berries in each group during storage

注：相同时的各组数据上标注的不同字母表示组间差异显著 ($P < 0.05$, 下同)。

2.2 高氧应激预处理对果实硬度及 SSC 的影响

果实硬度作为反应果实质地主要参数，可较好的反映果实的贮藏性、咀嚼性和食用价值^[23]。由图 2a 可知，在贮藏期间枸杞果实硬度均呈现不断下降趋势，并且 HO1 和 HO2 两组的枸杞鲜果的硬度均高于 CK 组。在贮藏第 30 天时，三个处理组的硬度值为 CK: 1.37 N; HO1: 1.93 N; HO2: 1.53 N，与第 0 天相比，其硬度下降率分别为 54.03%; 34.80%; 48.14%。并且在贮藏 5~30 d 时 HO1 组的硬度均显著 ($P < 0.05$) 高于 CK 和 HO2 两个处理组。张佳佳等^[24]通过高氧气调对小白杏贮藏保鲜效果研究发现，气调处理组的果实硬度下降率为 36.35%，与空白组相比高出 28.98%，有效延缓了小白杏果实硬度的下降。推测可能是由于高氧预处理在一定程度上抑制了细胞壁代谢相关酶活性导致的^[25]。总之，90% O_2 处理 30 min 和 60 min 均有利于维持枸杞果实贮藏过程中的硬度，其中 90% O_2 处理 30 min 效果最佳。

果实细胞的呼吸速率直接影响着果实内部 SSC 的含量和果实的成熟度，一般成熟度越高，可溶性固形物含量也就越高，越不利于贮藏^[26,27]。由图 2b 可知，贮藏期间各处理组果实 SSC 呈现出短暂上升后下降的趋势，第 5 天时各处理组的 SSC 达到最高值，CK、HO1、HO2 三个处理组依次上升至 22.63%、20.47%、

19.60%。这可能由于枸杞鲜果采后出现后熟,使果实内部大分子碳水化合物转化为糖、有机酸和其他可溶性物质导致^[28]。

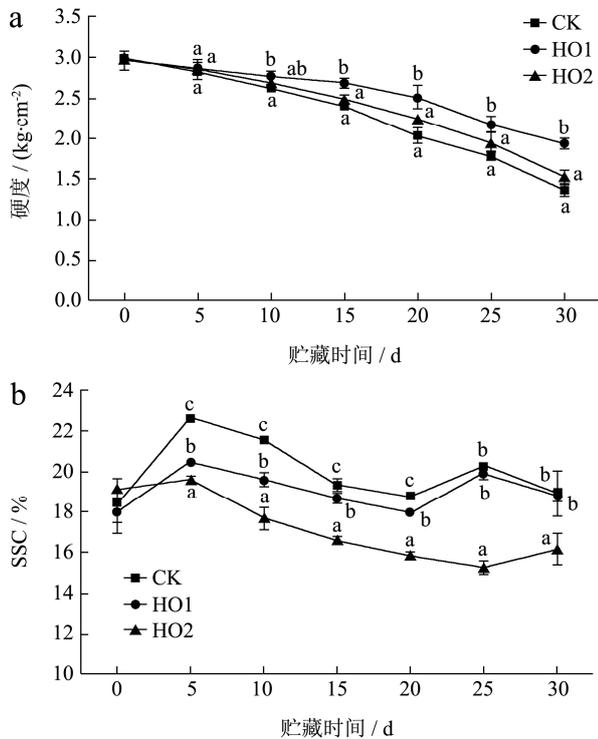


图2 枸杞鲜果在贮藏期间硬度(a)、SSC(b)的变化

Fig.2 Changes of hardness (a) and SSC (b) of goji berries in each group during storage

2.3 高氧应激预处理对果实色泽的影响

色泽是评价鲜食枸杞外观品质的重要指标。色差(ΔE)表示颜色变化, ΔE 值越大,颜色变化越大; L^* 值表示果实亮度, L^* 值越大,颜色越亮^[29]。高氧应激处理对枸杞鲜果贮藏外观品质影响如图3,随贮藏时间延长,枸杞鲜果外观颜色会由新鲜的橙红色向暗红色发生品质劣变。在贮藏30 d时,CK、HO1、HO2三个处理组的色差(ΔE)分别上升至17.69、17.20、20.15,其中高氧应激处理60 min总色差显著高于其他两个处理组(图4a)。果实亮度方面,在贮藏期间,亮度 L^* 值均呈不断下降的趋势,第15~30天时,HO1组下降趋势显著($P < 0.05$)低于CK、HO2组(图4b)。鲁玲等^[30]通过真空预冷结合微孔膜包装对枸杞鲜果贮藏品质研究发现,枸杞鲜果在贮藏期间的总色差也呈现出了下降趋势,说明果实在贮藏期间发生色泽的品质劣变时不可避免的。推测可能是由于贮藏期间果实呼吸以及代谢相关酶代谢等生理生化反应导致果实内部色素的降解。由此可见,90% O_2 处理30 min能够有效延缓枸杞果实色泽劣变,延缓了枸杞采后生理生化反应,减少了枸杞内部类胡萝卜素色素的降解。

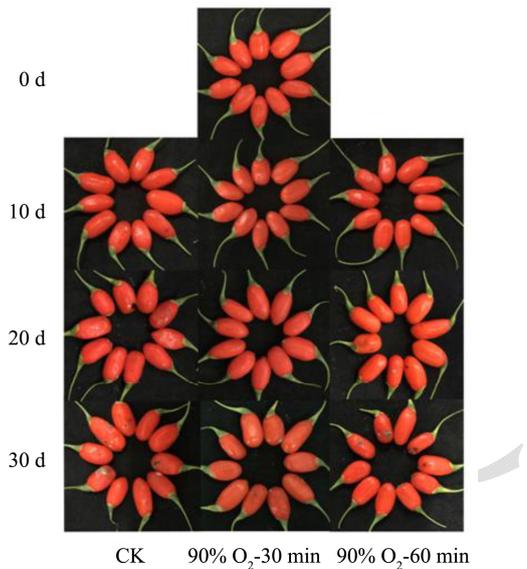


图3 各组枸杞鲜果在贮藏期间表现形态的变化

Fig.3 Changes of apparent morphology of goji berries in each group during storage

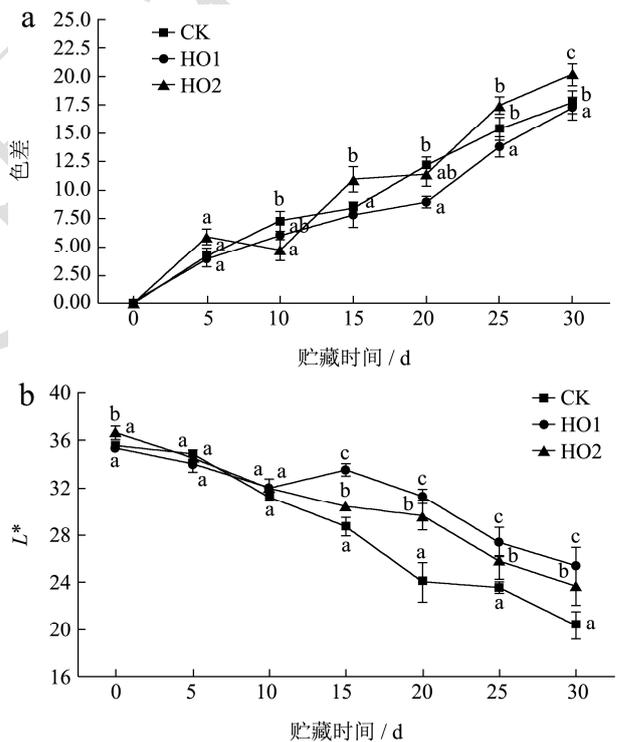


图4 枸杞鲜果在贮藏期间色差(a)、 L^* (b)值的变化

Fig.4 Changes of color difference (a) and L^* (b) value of goji berries in each group during storage

2.4 高氧应激预处理对果实失重率和腐烂率的影响

失重率是果实采后水分流失的重要体现,腐烂率随着贮藏时间的延长而逐渐增加^[31]。由图3a可知,贮藏过程中,各处理组枸杞果实的失重率不断上升,

其中HO1处理显著低于对照CK和HO2组($P < 0.05$)。在贮藏第30d时,CK、HO1、HO2三个处理组的失重率分别上升至0.89%、0.61%、0.79%。由图3b可知,贮藏第15d时对照组开始腐烂,而HO1和HO2两个处理组在贮藏第20d时才开始腐烂。HO1组的腐烂率显著低于CK和HO2组($P < 0.05$),贮藏结束时,CK处理组的腐烂率上升至25.63%,是HO1处理组(10.90%)的2.33倍。张文涛等^[32]通过不同浓度氧气对树上干杏气调发现80.00%~100.00%氧气气调有效抑制了树上干杏失重率和腐烂率的升高,这与本研究结果一致。可见,高氧气调可以延缓果实失重率和腐烂率的升高,高氧环境对腐败微生物的生长繁殖也起到了抑制作用,并且在本研究中90% O₂处理30 min延缓果实失重率和腐烂率升高的效果更佳。

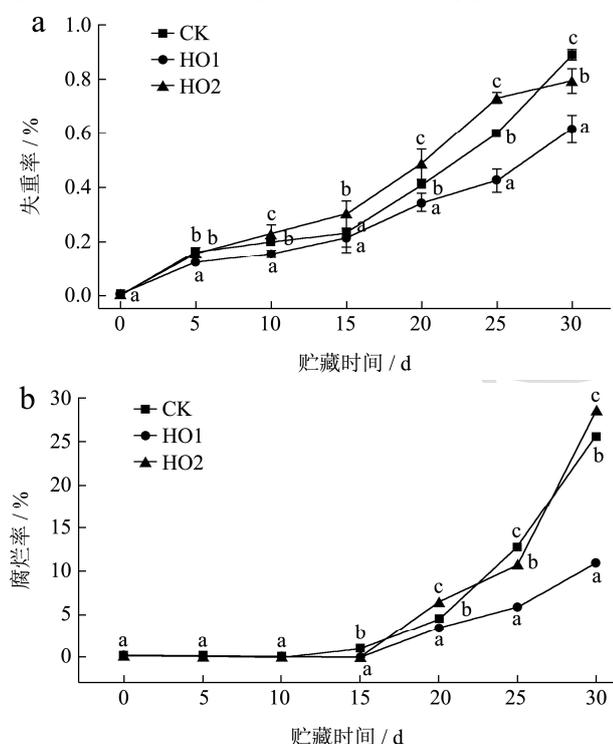


图5 枸杞鲜果在贮藏期间失重率(a)、腐烂率(b)的变化
Fig.5 Changes of weight loss (a) rate and decay rate (b) of goji berries in each group during storage

2.5 高氧应激预处理对果实Vc含量的影响

Vc是机体抗氧化体系的主要成分,也是人类营养中最重要维生素之一,一般其含量越高,贮藏品质越好,抗氧化能力越强^[33,34]。由图6可知,随着贮藏天数的增加,各处理组Vc含量均呈短暂上升后下降的趋势。贮藏第10~20d时,经过高氧预处理的枸杞果实Vc的积累量显著高于对照($P < 0.05$),尤其HO1组的Vc含量下降趋势较缓;其中CK、HO1、HO2三个处理组的Vc含量分别维持在2.13~1.41、

2.73~2.03、2.46~1.72 mg/100 g水平。而在贮藏第25~30天时,枸杞果实Vc的积累量趋于一致并无明显差异($P > 0.05$)。禄璐等^[35]通过研究不同壳聚糖复合涂膜液对枸杞保鲜贮藏品质的影响发现,与空白组相比各涂膜处理组均有效延缓了Vc的降解,推测可能是涂膜处理可阻止空气中氧气进入果实,防止氧化分解。殷浩等^[36]研究不同高浓度氧气处理对桑葚果实内部Vc含量的影响发现,在贮藏第10天时,25%、50%、75%、100%四个实验组的Vc含量均显著高于空白处理组,这与本研究结果一致。可见,高氧气调处理可有效维持果实内部Vc含量,而在本研究中发现90% O₂处理30 min对Vc的抑制降解效果更佳。

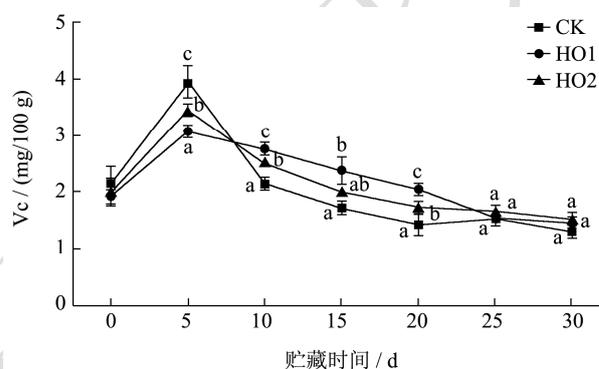


图6 枸杞鲜果在贮藏期间Vc的变化
Fig.6 Changes of Vc of goji berries in each group during storage

2.6 高氧应激预处理对枸杞果实氧化-抗氧化系统的影响

2.6.1 高氧应激预处理对MDA含量的影响

MDA常被用来判断膜脂质过氧化程度,其含量越高表示果实细胞组织受损伤程度越高,机体抗氧化能力越弱,贮藏期和货架期也会相应缩短^[37]。贮藏期间枸杞果实MDA含量变化趋势如图7a所示,各处理组整体上均呈现出先上升后下降的趋势,其中MDA含量在第10天时达到最大值,CK、HO1、HO2三个处理组的含量分别为0.87、0.65、0.73 μmol·g,CK处理组MDA含量显著高于HO1和HO2两个处理组($P < 0.05$),而HO1和HO2两个处理组之间并无明显差异;贮藏第20天时,HO1组显著低于CK组和HO2组($P < 0.05$),其中CK组是同期HO1组的2.14倍。孟一等^[38]通过高氧处理鲜切苹果研究发现,相较于其他处理组,经过机械切分后进行95%~100%高氧处理后的鲜切苹果MDA含量最低。可见,整个贮藏过程中90% O₂处理30 min有效地抑制了MDA的积累,这可能是由于高氧预处理能够诱导枸杞果实内部产生

应激反应，激活了氧化还原系统从而诱导产生了果实贮藏期间的抗逆性。

2.6.2 高氧应激预处理对果实 CAT 活性的影响

CAT 可以在逆境或者植物衰老进程中催化果蔬组织内积累的过氧化氢 (H_2O_2) 降解为水和分子氧，降低 H_2O_2 中的-OH 对果蔬组织的损害，延缓果蔬的衰老^[39,40]。由图 7b 可知，贮藏前期经过高氧预处理的枸杞果实由于受到了贮藏环境胁迫，使 CAT 活性提高以对果实起到保护作用；而贮藏后期由于果实衰老进程启动使得 CAT 活性降低，因此贮藏期间枸杞果实 CAT 活性呈先上升后下降的趋势。在贮藏第 20 d 时 HO1、HO2 两个处理组 CAT 活性分别达 15.78、13.33 U/(g·min)·FW，分别是 CK 组的 2.25、1.90 倍，并且而贮藏第 10~30 d 时，高氧应激处理组 CAT 活性显著高于 CK 组 ($P<0.05$)。通过比较发现，90% O_2 30 min 处理有效保持了 CAT 活性，抵抗氧化损伤效果更佳。蔡佳昂等^[41]通过 1-MCP 复合微孔气调处理红苕尖发现，其在贮藏期间 CAT 活性也呈现出先上

升后下降的趋势，并且复合处理组有效保持了酶活性，避免红苕尖的氧化伤害。

2.6.3 高氧应激预处理对果实 SOD 活性的影响

SOD 在果蔬氧化还原代谢中极为重要，可清除果实内的自由基和活性氧，以减轻活性氧对果蔬细胞组织的损伤和破坏^[42]。由图 7c 可知，随着贮藏时间的延长，SOD 活性呈先上升后下降的趋势。CK 组与 HO2 组均在贮藏第 5 d 时达到峰值，而 HO1 组在整个贮藏过程中表现出较高的活性，并在第 15 d 达到最高点 (2.57 U/(g·min)·FW)。与同期其他处理组相比，是 CK 组 (2.23 U/(g·min)·FW) 的 1.15 倍，是 HO2 组 (2.35 U/(g·min)·FW) 的 1.09 倍。陈学红等^[43,44]研究也表明，高氧气调包装对鲜切莴苣和草莓的 SOD 活性起到了促进作用，可抑制 O_2 自由基的产生延缓果蔬衰老进程。由此可知，90% O_2 30 min 可使 SOD 保持较高的活性，其机制可能是 SOD 作为体内抗氧化系统中重要的诱导酶类之一，适度的高氧短时预处理可诱导其活性提高和合成^[45]。

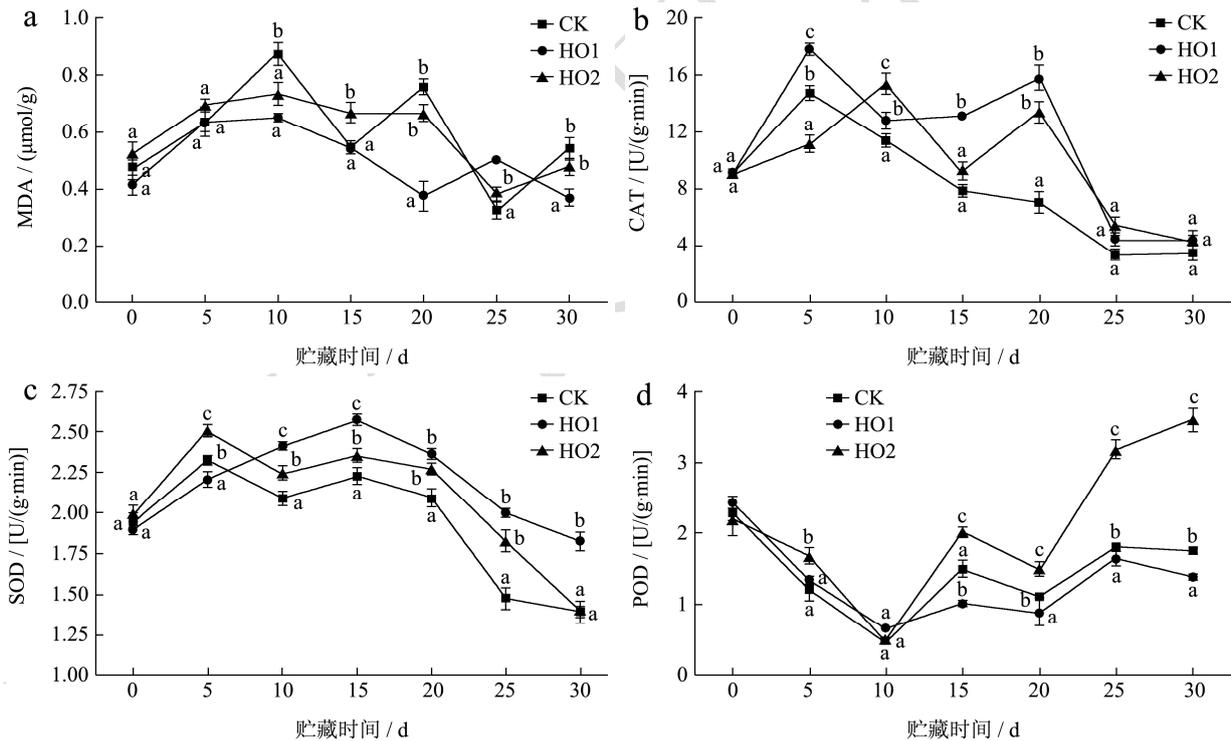


图7 枸杞鲜果在贮藏期间MDA (a)、CAT (b)、SOD (c)、POD (d)活性的变化

Fig.7 Changes of MDA, CAT, SOD and POD activities of Goji berries in each group during storage

2.6.4 高氧应激预处理对果实 POD 活性的影响

POD 普遍存在于果蔬组织内，是引起果蔬颜色和风味发生劣变的主要酶类之一，可以催化酚类物质和类黄酮发生氧化反应而引起果蔬发生褐变，通常，POD 活性越高，果蔬组织损伤越大^[46]。由图 7 d 可知，POD 活性整体上呈先下降后上升趋势。贮藏第 0~10 d 时，CK 组的 POD 活性低于 HO1 和 HO2 两个处理组，

但在贮藏第 10~30 d 时，HO1 处理组的活性显著低于 CK 组和 HO2 处理组 ($P<0.05$)。这可能是 90% O_2 30 min 诱导了酶活性的提高，枸杞果实对外界氧化胁迫的应激表现^[47]。同时，HO2 处理组的活性竟显著高于对照组，可能是由于高氧预处理 60 min 过度促进了枸杞果实的氧化应激表达，导致 POD 活性上升^[48]，这与前文色差 (ΔE) 指标中 HO2 组上升趋势较快相

呼应。由此可知,90% O₂ 30 min 初期激活了抗氧化系统,后期也有效维持较低水平的 POD 活性,从而延缓果实褐变效应,降低风味劣变速率。

3 结论

在贮藏品质方面,枸杞鲜果采后经 90% O₂ 处理 30 min 后,可更好的维持果实的硬度和色泽,延缓失重率和腐烂率的上升,使可溶性固形物维持在较低水平,保持果实组织内部营养成分不流失,延缓果实品质的劣变;在抗氧化损伤方面,经 90% O₂ 处理 30 min 后,抑制 MDA 含量升高,从而降低了果实的膜脂过氧化程度,有效保护了果实组织结构不被破坏,提高了抗氧化酶系中 CAT、SOD 的活性,延缓了 Vc 被氧化降解,提高了果实的抗氧化性;并在一定程度上抑制了 POD 活性,抑制了果实风味和色泽劣变。

综上所述,90% O₂ 30 min 提高了枸杞鲜果的耐贮性,综合经济成本和环境成本,高氧短时激保鲜技术在枸杞采后贮藏保鲜中具有极大的应用前景。

参考文献

- [1] 余意,李静,张小波.基于遥感和地理信息系统技术宁夏枸杞适宜性的分布范围[J].世界中医药,2018,13(9):2308-2312.
- [2] 魏雪松,王海洋,孙智轩,等.宁夏枸杞化学成分及其药理活性研究进展[J].中成药,2018,40(11):2513-2520.
- [3] 方婕,孙万成,罗毅皓.不同处理方法对青海枸杞品质及其保鲜效果的影响[J].中国果菜,2022,42(2):29-34,69.
- [4] Fan Xiao Jing, Zhang Bin, Yan He, et al. Effect of lotus leaf extract incorporated composite coating on the postharvest quality of fresh goji (*Lycium barbarum* L.) fruit [J]. Postharvest Biology and Technology, 2019, 148: 132-140.
- [5] A Fratianni, S Niro, M D R Alam, et al. Effect of a physical pre-treatment and drying on carotenoids of goji berries (*Lycium barbarum* L.) [J]. LWT, 2018, 92: 318-323.
- [6] Zhang Huaiyu, Ma Zhongmei, Wang Junjie, et al. Treatment with exogenous salicylic acid maintains quality, increases bioactive compounds, and enhances the antioxidant capacity of fresh goji (*Lycium barbarum* L.) fruit during storage [J]. LWT, 2021, 140: 110837.
- [7] 张鹏,袁兴铃,薛友林,等.精准温度控制对枸杞鲜果贮藏品质和香气成分的影响[J].农业工程学报,2021,37(18):322-330.
- [8] 李乾,王洁,王永贵,等.壳聚糖处理对冷藏枸杞品质的影响[J].新疆农业大学学报,2020,43(3):214-220.
- [9] 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):287-292.
- [10] 李乾.NO 处理对冷藏枸杞活性氧、细胞壁及糖代谢的影响[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2021.
- [11] 禄璐,李晓莺,何军,等.气调包装对枸杞鲜果品质的影响[J].食品工业,2021,42(7):168-172.
- [12] 扶庆权,王海鸥,李坤,等.高氧气调包装对宰后牛半膜肌成熟过程中品质的影响[J].食品科学,2020,41(23):236-242.
- [13] 王相友,张惠,李玲,等.高氧气调后续效应对双孢蘑菇货架品质的影响[J].农业机械学报,2017,48(7):309-316.
- [14] Lu Hongyan, Wang Kaidi, Wang Lei, et al. Effect of superatmospheric oxygen exposure on strawberry (*Fragaria × ananassa* Fuch.) volatiles, sensory and chemical attributes [J]. Postharvest Biology and Technology, 2018, 142: 60-71.
- [15] 薛友林,于弘弢,张鹏,等.不同处理条件的蓝莓货架品质比较分析[J].现代食品科技,2020,36(5):113-121,309.
- [16] Mushtaque Ahmed Jatoti, Slaven Jurić, Rajko Vidrih, et al. The effects of postharvest application of lecithin to improve storage potential and quality of fresh goji (*Lycium barbarum* L.) berries [J]. Food Chemistry, 2017, 230(1): 241-249.
- [17] 刘晨霞,乔勇进,田姗姗,等.臭氧熏蒸浓度对双孢蘑菇质构及营养品质的影响[J].食品与机械,2022,38(7):148-152,158.
- [18] Zhang Yueying, Huber Donald J, Hu Meijiao, et al. Melatonin delays postharvest browning in litchi fruit by enhancing anti-oxidative processes and oxidation repair [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2018, 66(28): 7475-7484.
- [19] 曹建康,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.
- [20] 郁杰,张雨宸,谢晶.低强度 UV-A 光循环辐照对 4 °C 下鲜切菠菜品质及抗氧化能力的影响[J].食品与发酵工业,2019, 45(21):139-146.
- [21] 李乾,邱金玲,奚婉茹,等.不同品种枸杞的低温贮藏品质差异性初步分析[J].保鲜与加工,2020,20(6):25-31.
- [22] 冯美,张宁.枸杞呼吸特性研究[J].北方园艺,2010(19):188-190.
- [23] 李江阔,何宇光,刘玲,等.不同温度下 1-MCP 处理对枸杞鲜果贮藏品质的影响[J].包装工程,2021,42(15):10-18.
- [24] 张佳佳,周鹤,易薇,等.1-甲基环丙烯结合高氧处理对杏果贮藏品质的影响[J].食品与发酵工业,2023,49(2):68-73,81.
- [25] 王雪,李乾,刘彩虹,等.NO 熏蒸处理对冷藏枸杞鲜果细胞壁代谢的影响[J].食品工业科技,2022,43(9):334-340.
- [26] D K Antala, A K Varshney, P R Davara, et al. Modified atmosphere packaging of guava fruit [J]. Packaging Technology and Science, 2015, 28(6): 557-564.
- [27] 向文娟,王孝雯,孙大文.水杨酸结合气调保鲜对宁夏枸杞

- 贮藏品质的影响[J].食品科学,2022,43(9):215-222.
- [28] 马丽敏,王兵,刘贵珊,等.预处理结合气调包装对鲜枸杞贮藏品质的影响[J].食品与发酵工业,2021,47(6):195-200.
- [29] 史君彦,左进华,高丽朴,等.纳米膜包装对菠菜采后贮藏品质的影响[J].北方园艺,2017,23:181-186.
- [30] 鲁玲,康宁波,刘贵珊,等.真空预冷结合微孔膜包装对鲜枸杞贮藏品质的影响[J].农业工程学报,2021,37(10):245-252.
- [31] C Fagundes, K Moraes, M B Pérez-Gago, et al. Effect of active modified atmosphere and cold storage on the postharvest quality of cherry tomatoes [J]. Postharvest Biology and Technology, 2015, 109: 73-81.
- [32] 张文涛,李喜宏,王威,等.高氧气调对树上干杏采后生理和贮藏品质的影响[J].食品与发酵工业,2016,42(8):220-225.
- [33] Michihiko Saito, Deepak Raj Rai, Ryoichi Masuda. Effect of modified atmosphere packaging on glutathione and ascorbic acid content of asparagus spears [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2000, 24(3): 243-251.
- [34] Dan Xu, Hairong Qin, Dan Ren. Prolonged preservation of tangerine fruits using chitosan/montmorillonite composite coating [J]. Postharvest Biology and Technology, 2018, 143: 50-57.
- [35] 禄璐,张曦燕,李晓莺,等.壳聚糖-山梨酸钾复合涂膜对鲜果枸杞保鲜品质的影响[J].食品工业科技,2017,38(9):257-260.
- [36] 殷浩,佟万红,刘刚,等.高氧处理对采后桑椹呼吸强度及其保鲜效果的影响[J].食品工业科技,2015,36(9):306-309,314.
- [37] 于红梅,袁华招,关玲,等.低温贮藏对草莓苗的生理变化及生长发育的影响[J].中国农学通报,2021,37(9):35-41.
- [38] 孟一,孟祥宇,张玉华,等.高氧处理对鲜切苹果贮藏特性的影响[J].食品工业,2021,42(12):251-256.
- [39] 李江阔,曹森,张鹏,等.1-MCP 采前处理对葡萄采后相关酶活性与品质的影响[J].食品科学,2014,35(22):270-275.
- [40] Cheng Tao Wang, Chang Tao Wang, Yan Ping Cao, et al. Effect of modified atmosphere packaging (MAP) with low and superatmospheric oxygen on the quality and antioxidant enzyme system of golden needle mushrooms (*Flammulina velutipes*) during postharvest storage [J]. European Food Research and Technology, 2011, 232(5): 851-860.
- [41] 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.
- [42] 杨英,张萍,葛蓓蕾,等.山丹百合鳞茎提取液中活性物质及其对樱桃番茄的保鲜效果[J].西北植物学报,2021,41(5): 795-807.
- [43] 陈学红,秦卫东,马利华,等.高氧气调包装对鲜切莴苣呼吸和酶活性的影响[J].食品与发酵工业,2011,37(12):208-212.
- [44] 陈学红,郑永华,杨震峰,等.高氧处理对草莓果实采后活性氧代谢和腐烂的影响[J].南京农业大学学报,2005,1:99-102.
- [45] 杨淑慎,高俊凤.活性氧、自由基与植物的衰老[J].西北植物学报,2001,2:215-220.
- [46] Henrique Coutinho de Barcelos Costa, Érica Sayuri Siguemoto, Tiago Augusto Bulhõ, et al. Effect of microwave-assisted processing on polyphenol oxidase and peroxidase inactivation kinetics of açai-berry (*Euterpe oleracea*) pulp [J]. Food Chemistry, 2020, 341(P2): 128287.
- [47] Carlos G Bartoli, Marcela Simontacchi, Juan José Guiamet, et al. Antioxidant enzymes and lipid peroxidation during aging of *Chrysanthemum morifolium* RAM petals [J]. Plant Science, 1995, 104(2): 161-168.
- [48] Jiang Juan, Jiang Li, Luo Haibo, et al. Establishment of a statistical model for browning of fresh-cut lotus root during storage [J]. Postharvest Biology and Technology, 2014, 92: 164-171.