

DOI:10.13364/j.issn.1672-6510.20220124

## 高浓度 CO<sub>2</sub> 短激与保鲜剂复合处理对大青葡萄 采后褐变的影响

王雪孟<sup>1</sup>, 侯双迪<sup>1</sup>, 郑家轩<sup>1</sup>, 黄盼盼<sup>1</sup>, 赵薇<sup>1,2</sup>, 刘霞<sup>1,2</sup>

(1. 天津科技大学食品科学与工程学院, 天津 300457; 2. 天津鲜食原品生物科技有限公司, 天津 300450)

**摘要:** 以大青葡萄为实验材料, 研究了高浓度 CO<sub>2</sub> 短激单独处理和 CO<sub>2</sub> 短激协同 SO<sub>2</sub>、1-甲基环丙烯(1-methylcyclopropene, 1-MCP) 复合处理对果实采后生理生化特征及褐变指数的调控规律. 结果表明: 与对照组和 CO<sub>2</sub> 单独处理组相比, CO<sub>2</sub> 与 SO<sub>2</sub> + 1-MCP 保鲜剂复合处理可有效维持贮藏期葡萄的果实色泽, 保持较高的可滴定酸、可溶性固形物和维生素 C 含量, 抑制多酚氧化酶(polyphenol oxidase, PPO) 和过氧化物酶(peroxidase, POD) 的活性, 提高苯丙氨酸解氨酶(phenylalanine ammonialyase, PAL) 活性和总酚含量. 贮藏 35 d 后, 对照组葡萄的褐变指数达到 0.7, 而复合处理组葡萄的褐变指数仅为 0.2, 可保持果实原有的鲜绿色. 本研究为大青葡萄采后防褐变技术开发提供了理论依据.

**关键词:** CO<sub>2</sub>; 保鲜剂; 大青葡萄; 褐变

中图分类号: TS255.3

文献标志码: A

文章编号: 1672-6510(2023)01-0016-07

## Effects of High Concentration of CO<sub>2</sub> Short Stimulation and Preservation Compound Treatment on Postharvest Browning of Daqing Grapes

WANG Xuemeng<sup>1</sup>, HOU Shuangdi<sup>1</sup>, ZHENG Jiaxuan<sup>1</sup>, HUANG Panpan<sup>1</sup>,  
ZHAO Wei<sup>1,2</sup>, LIU Xia<sup>1,2</sup>

(1. College of Food Science and Engineering, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300457, China;

2. Tianjin Fresh Food Original Biological Technology Co., Ltd., Tianjin 300450, China)

**Abstract:** In this study we used Daqing grapes as experimental materials, and studied the effects of high concentration CO<sub>2</sub> short stimulation and CO<sub>2</sub> short stimulation combined with SO<sub>2</sub> and 1-methylcyclopropene (1-MCP) on postharvest physiology and browning index of grapes. The results showed that compared with the control group and group treated by CO<sub>2</sub> alone, group treated by CO<sub>2</sub> combined with SO<sub>2</sub> and 1-MCP, was able to keep grape color effectively, maintain the high contents of titratable acid, soluble solids and vitamin C, inhibit activities of polyphenol oxidase (PPO) and peroxidase (POD), increase phenylalanine ammonialyase (PAL) activity and total phenolic. After 35 days storage, the browning index of the control group was 0.7, while the browning index of the compound treatment group was only 0.2, and could keep original bright green color of the fruit. The study has provided theoretical evidence of anti-browning technology of Daqing grape after harvest.

**Key words:** CO<sub>2</sub>; preservative; Daqing grape; browning

大青葡萄又名“圆白葡萄”或“圆葡萄”, 属于欧亚种, 因其成熟后的果皮颜色为青色泛黄, 故称之为“大青”. 大青葡萄起源于新疆, 在宁夏地区种植并成为当地的特色葡萄品种, 主要种植在宁夏平原引黄

灌区<sup>[1]</sup>. 大青葡萄在宁夏地区栽培历史悠久, 并于 2009 年被评为宁夏林木良种, 在宁夏吴忠市、青铜峡市等地广泛种植<sup>[2]</sup>. 大青葡萄最大的特点是皮薄多汁、粒大肉甜、口感清爽, 也正是皮薄的原因使其容

收稿日期: 2022-05-12; 修回日期: 2022-08-11

基金项目: 宁夏回族自治区重点研发项目(2020BBF03014); 企业横向项目(2019DWHZ0027)

作者简介: 王雪孟(1996—), 女, 河南人, 硕士研究生; 通信作者: 刘霞, 教授, liuxia831930@163.com

易受到外界带来的机械损伤<sup>[3]</sup>。同时,真菌污染引起的果实腐败也使机体原来稳定的代谢平衡被破坏,生理生化反应加速,最终果实发生褐变<sup>[4-5]</sup>。大青葡萄采后易褐变导致葡萄外观品质劣变严重,贮藏期缩短,严重影响了大青葡萄的销售半径和产业发展。

气调对于保持果蔬采后品质具有积极的效果。研究<sup>[6]</sup>发现,高浓度的CO<sub>2</sub>能够直接抑制灰葡萄孢菌孢子的萌发,降低果实腐败率和硬度损失。同时,葡萄中酚类化合物的产生和乙烯合成关键基因的表达量降低,可有效延缓葡萄果梗发生褐变,防止葡萄采后品质下降<sup>[5]</sup>。近30年来,保鲜剂SO<sub>2</sub>和1-甲基环丙烯(1-methylcyclopropene, 1-MCP)在果蔬贮藏领域备受关注。SO<sub>2</sub>通过气孔进入果实内部会导致pH下降,抑制酚类物质的氧化。研究<sup>[7]</sup>表明,SO<sub>2</sub>能够促进总酚、黄酮类化合物和木质素等酚类化合物的积累,提高多酚氧化酶(polyphenol oxidase, PPO)和苯丙氨酸解氨酶(phenylalanine ammonialyase, PAL)的活性。1-MCP作为典型的乙烯受体抑制剂,可以不可逆地与乙烯受体结合,抑制果蔬内乙烯的产生<sup>[8-10]</sup>。目前,由于葡萄果梗的呼吸类型为呼吸跃变型,有研究<sup>[11]</sup>将气调与1-MCP复合处理来保持葡萄采后的品质,抑制果梗叶绿素降解,延缓果梗褐变。但是,关于高浓度CO<sub>2</sub>短时应激处理(短激)与多种保鲜剂复合用于葡萄果实的采后防褐变却鲜有报道。本研究以大青葡萄为实验材料,探究高浓度CO<sub>2</sub>短时单独处理、CO<sub>2</sub>与保鲜剂SO<sub>2</sub>+1-MCP复合处理后果实采后生理生化特征和褐变指数的变化规律,寻找一种适合大青葡萄防褐变的有效方法,提高大青葡萄的贮藏期,减少因果实褐变引起的经济损失。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

大青葡萄,宁夏回族自治区青铜峡市先锋大青葡萄种植专业合作社。挑选果串大小均一、成熟度一致、无机械损伤的新鲜葡萄。

果蔬保鲜专用PE袋(30 cm × 40 cm,厚度0.15 mm),市售;SO<sub>2</sub>气体,天津捷盛东辉保鲜科技有限公司;1-MCP粉剂,山东维特生物科技有限公司;氢氧化钠、草酸、2,6-二氯酚靛酚、没食子酸、乙醇、福林酚等试剂均为国产分析纯试剂,上海时代生物科技有限公司。

WK2012型电磁炉,美的集团;WR-18型精密色

差仪,厦门金河源科技有限公司;EPOCH-1908028型酶标仪,美国伯腾仪器有限公司;TGL-16M型冷冻离心机,湘仪离心机仪器有限公司;PAL-1型数显测糖仪,日本爱宕仪器公司;FM-200型果蔬脉冲式防霉机,天津捷盛东辉保鲜科技有限公司。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 样品预处理

挑选出新鲜无霉变、无机械损伤、果串大小均一的葡萄。将挑选出的葡萄于(0 ± 1) °C预冷24 h,然后分成3组:对照组(CK)不进行任何处理;80% CO<sub>2</sub>处理组使用80% CO<sub>2</sub>短时处理20 min;80% CO<sub>2</sub>与保鲜剂复合处理组首先使用80% CO<sub>2</sub>短时处理20 min,再用0.08% SO<sub>2</sub>熏蒸1 h,最后使用1.0 μL/L 1-MCP熏蒸24 h。将以上3组葡萄装入果蔬保鲜专用PE袋密封,置于(0 ± 1) °C冷库贮藏,以7 d为1个周期测定相关指标,贮藏时间为35 d。

#### 1.2.2 色差的测定

随机选取10粒葡萄,使用WR-18型精密色差仪测定色度值L\*、a\*、b\*。L\*代表亮度,L\*越大亮度越高;a\*为正值表示红色调,为负值表示绿色调;b\*为正值表示黄色调,为负值表示蓝色调。总色差ΔE计算式为

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}} \quad (1)$$

#### 1.2.3 褐变指数的测定

参照田田强等<sup>[12]</sup>的方法略有改动。每组随机选取50粒葡萄进行观察,依据褐变面积占整个果实的比例,设置葡萄果实褐变级别:葡萄果实表面无褐变、果肉组织颜色正常为0级;0 < 褐变面积 ≤ 1/4 为1级;1/4 < 褐变面积 ≤ 1/2 为2级;褐变面积 > 1/2 为3级。果实褐变指数按照式(2)计算。

$$\text{果实褐变指数} = \frac{\sum(\text{褐变级数} \times \text{该级别褐变果实个数})}{\text{最高级数} \times \text{果实总数}} \quad (2)$$

#### 1.2.4 可滴定酸、可溶性固形物和维生素C的测定

采用酸碱滴定方法<sup>[13]</sup>测定大青葡萄的可滴定酸含量,以酒石酸计。每5 mL提取液用20 mL蒸馏水稀释,再滴入2滴酚酞溶液,最后使用0.1 mol/L的标准NaOH溶液滴定。可溶性固形物含量使用测糖仪进行测定。维生素C(VC)的含量参照曹健康等<sup>[14]</sup>的方法,采用2,6-二氯酚靛酚滴定法测定。

#### 1.2.5 总酚含量的测定

采用福林酚法<sup>[15]</sup>测定大青葡萄的总酚含量。用没食子酸标准溶液制作标准曲线,以此计算待测样品

的总酚含量。

1.2.6 酶活性的测定

PPO、过氧化物酶( peroxidase, POD)和 PAL 活性的测定参照曹建康等<sup>[14]</sup>的方法。称取大青葡萄果实 2.0 g, 研磨至匀浆, 加入 5 mL 提取缓冲液, 4 °C、10 000 r/min 离心 30 min, 上清液即为粗酶液。

PPO 活性的测定: 在 100 μL 粗酶液中加入 4.0 mL 50 mmol/L 乙酸-乙酸钠缓冲溶液(pH 5.5)和 1.0 mL 50 mmol/L 邻苯二酚溶液, 摇匀, 立即计时, 测定 420 nm 处吸光度的增加值, 每分钟记录 1 次, 记录 5 min。以每克大青葡萄果实样品每分钟吸光度增加 1 时为 1 个多酚氧化酶的活力单位(U), PPO 活性单位为 U/g。

POD 活性的测定: 在 0.5 mL 粗酶液中加入 3.0 mL 25 mmol/L 愈创木酚和 200 μL 0.5 mol/L 过氧化氢溶液, 摇匀, 立即计时, 测定 470 nm 处吸光度的增加值, 每分钟记录 1 次, 记录 5 min。以每克大青葡萄果实样品每分钟吸光度增加 1 时为 1 个过氧化物酶的活力单位(U), POD 活性单位为 U/g。

PAL 活性的测定: 在 0.5 mL 粗酶液中加入 3.0 mL 50 mmol/L 硼酸缓冲溶液(pH 8.8)和 0.5 mL 20 mmol/L L-苯丙氨酸溶液, 摇匀, 立即计时, 测定 290 nm 处吸光度的增加值, 每分钟记录 1 次, 记录 5 min。以每克大青葡萄果实样品每分钟吸光度增加 1 时为 1 个苯丙氨酸解氨酶的活力单位(U), PAL 活性单位为 U/g。

1.3 数据处理

所有指标的测定均重复 3 次, 实验数据采用 SPSS 23 软件进行显著性分析。

2 结果与分析

2.1 高浓度 CO<sub>2</sub> 短激与 SO<sub>2</sub> + 1-MCP 复合处理对大青葡萄果实色差的影响

高浓度 CO<sub>2</sub> 短激与 SO<sub>2</sub> + 1-MCP 复合处理对大青葡萄 a\*、L\*、ΔE 和外观品质的影响如图 1 和图 2 所示。

由图 1(a)可知: 随着贮藏时间的延长, 大青葡萄果实的色度值 a\*呈上升趋势, a\*越小代表果实颜色越绿; 对照组的 a\*上升最快, 贮藏 35 d 时, 对照组的大青葡萄果实的 a\*为-1.5; 80% CO<sub>2</sub> + 保鲜剂组的 a\*在整个贮藏期间保持较低水平, 贮藏 35 d 时 a\*为-2.4, 显著低于 80% CO<sub>2</sub> 组(P<0.05)。由图 1(b)可知: 对照组和处理组大青葡萄果实色度值 L\*均呈上升趋势,

其中 80% CO<sub>2</sub> + 保鲜剂组的 L\*保持较高水平; 在贮藏 35 d 时, 80% CO<sub>2</sub> + 保鲜剂组的 L\*为 38, 显著高于其他两组(P<0.05)。大青葡萄果实的总色差 ΔE 最能直观反映葡萄的新鲜程度<sup>[16]</sup>。由图 1(c)可知: 在整个贮藏期间, 80% CO<sub>2</sub> + 保鲜剂组的 ΔE 整体平稳且水平最低, 贮藏 35 d 时, 此处理组的 ΔE 为 2.1, 显著低于其他两组(P<0.05)。

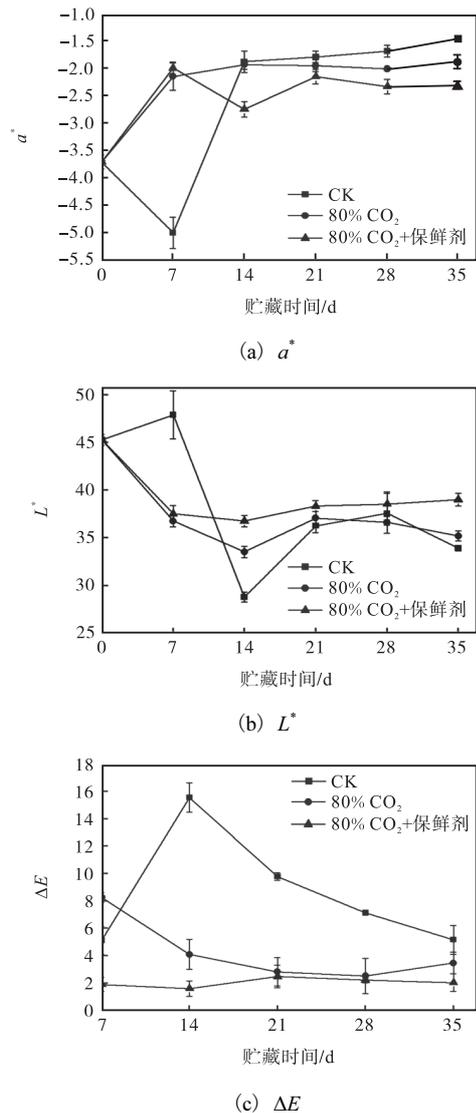


图 1 高浓度 CO<sub>2</sub> 短激与 SO<sub>2</sub> + 1-MCP 复合处理对大青葡萄 a\*、L\*、ΔE 的影响

Fig. 1 Effects of high concentration CO<sub>2</sub> short stimulation and SO<sub>2</sub> + 1-MCP compound treatment on a\*, L\* and ΔE value of Daqing grapes

由图 2 可知: 贮藏 35 d 时, 对照组和 80% CO<sub>2</sub> 组均出现了不同程度的褐变, 并且对照组伴随着腐败现象的发生, 而 80% CO<sub>2</sub> + 保鲜剂组仅存在轻微程度的褐变。综合分析可知, 80% CO<sub>2</sub> + 保鲜剂组可以较好地保持大青葡萄果实原有鲜绿色的色泽, 有效抑制果

实表面褐变现象的产生。

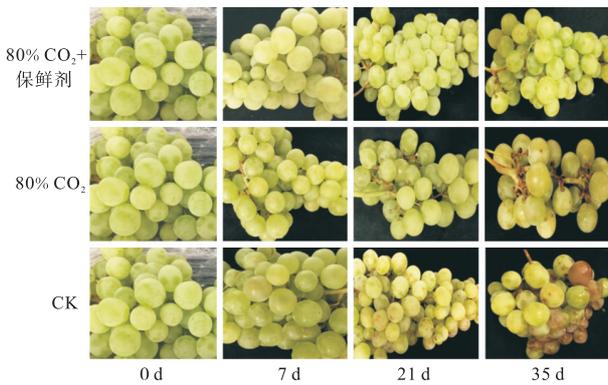


图 2 高浓度 CO<sub>2</sub> 短激与 SO<sub>2</sub> + 1-MCP 复合处理对大青葡萄外观品质的影响

Fig. 2 Effects of high concentration CO<sub>2</sub> short stimulation and SO<sub>2</sub> + 1-MCP compound treatment on appearance quality of Daqing grapes

## 2.2 高浓度 CO<sub>2</sub> 短激与 SO<sub>2</sub> + 1-MCP 复合处理对大青葡萄果实褐变指数的影响

高浓度 CO<sub>2</sub> 短激与 SO<sub>2</sub> + 1-MCP 复合处理对大青葡萄果实褐变指数的影响如图 3 所示。由图 3 可知: 随着贮藏时间的增加, 大青葡萄果实褐变指数呈上升趋势。对照组的褐变指数显著高于两个处理组, 贮藏 28 d 时, 两个处理组开始出现显著差异。贮藏 35 d 时, 80% CO<sub>2</sub> + 保鲜剂组的褐变指数显著低于 80% CO<sub>2</sub> 组 ( $P < 0.05$ )。这表明 80% CO<sub>2</sub> + 保鲜剂处理可以显著抑制大青葡萄果实褐变, 保持果实鲜绿色。

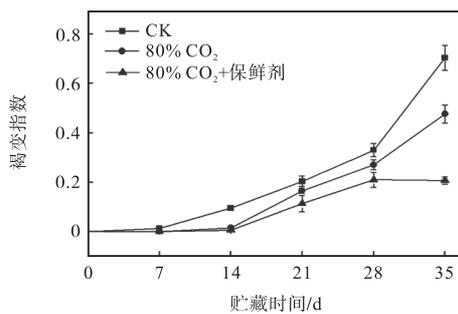


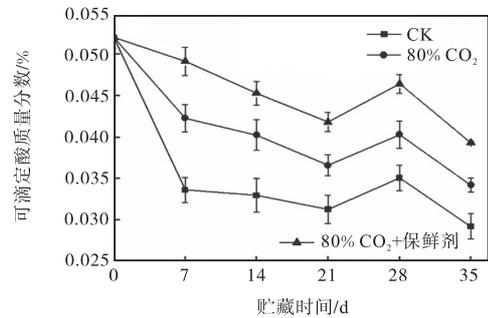
图 3 高浓度 CO<sub>2</sub> 短激与 SO<sub>2</sub> + 1-MCP 复合处理对大青葡萄果实褐变指数的影响

Fig. 3 Effects of high concentration CO<sub>2</sub> short stimulation and SO<sub>2</sub> + 1-MCP compound treatment on browning index of Daqing grapes

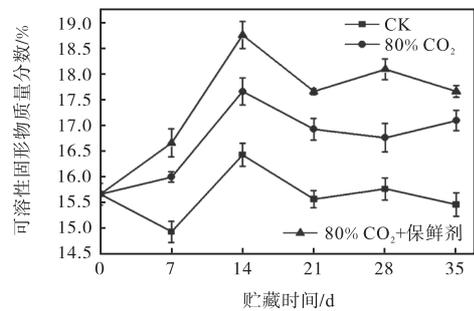
## 2.3 高浓度 CO<sub>2</sub> 短激与 SO<sub>2</sub> + 1-MCP 复合处理对大青葡萄可滴定酸、可溶性固形物和 VC 含量的影响

可滴定酸、可溶性固形物和 VC 的含量都是反映果蔬采后营养价值和贮藏品质的主要指标<sup>[17]</sup>。可滴定酸是葡萄中的呼吸底物和重要呈味物质, 可以在一

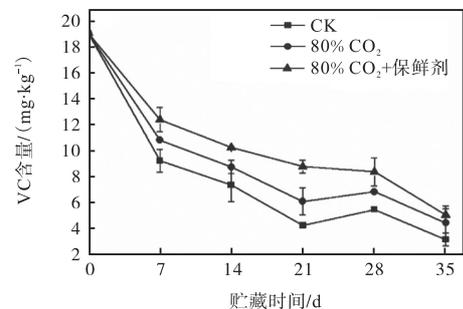
定程度上影响果蔬的口感<sup>[18]</sup>。高浓度 CO<sub>2</sub> 短激与 SO<sub>2</sub> + 1-MCP 复合处理对大青葡萄可滴定酸、可溶性固形物和 VC 含量的影响如图 4 所示。



(a) 可滴定酸



(b) 可溶性固形物



(d) VC

图 4 高浓度 CO<sub>2</sub> 短激与 SO<sub>2</sub> + 1-MCP 复合处理对大青葡萄可滴定酸、可溶性固形物和 VC 含量的影响

Fig. 4 Effects of high concentration CO<sub>2</sub> short stimulation and SO<sub>2</sub> + 1-MCP compound treatment on titratable acid, soluble solids and vitamin C of Daqing grapes

由图 4(a) 可知: 在贮藏期前 21 d, 大青葡萄果实的可滴定酸下降趋势明显, 这可能是因为贮藏前期葡萄果实的代谢旺盛, 底物消耗过快。在整个贮藏期间, 80% CO<sub>2</sub> + 保鲜剂组的可滴定酸含量最高, 贮藏 35 d 时, 其可滴定酸含量为 0.04%, 显著高于其他两组 ( $P < 0.05$ )。可溶性固形物包括糖类和矿物质等, 也是评价葡萄口感和品质的重要指标<sup>[19]</sup>。由图 4(b) 可知: 80% CO<sub>2</sub> + 保鲜剂组的可溶性固形物含量总体

呈上升趋势,且显著高于其他两组( $P < 0.05$ )。

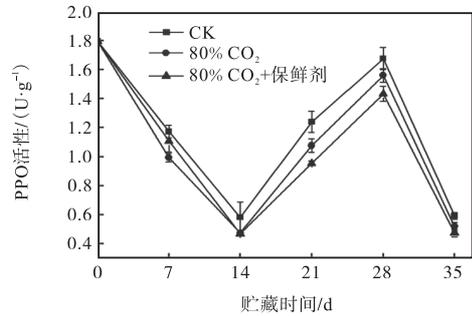
VC 具有普遍的抗氧化能力,葡萄中的 VC 还有抗褐变和延缓衰老的作用<sup>[20]</sup>。由图 4(c)可知:随着贮藏时间的增加,大青葡萄中 VC 含量呈下降趋势,并在贮藏后期下降速率更快;80% CO<sub>2</sub> + 保鲜剂组的 VC 含量始终显著高于对照组和 80% CO<sub>2</sub> 组( $P < 0.05$ )。以上分析表明,80% CO<sub>2</sub> + 保鲜剂处理不仅可以有效降低大青葡萄果实中的物质消耗、抑制可滴定酸和可溶性固形物的减少、保持葡萄果实较好的糖酸比和口感,还可以抑制果实氧化,达到抗褐变的效果。

#### 2.4 高浓度 CO<sub>2</sub> 短激与 SO<sub>2</sub> + 1-MCP 复合处理对大青葡萄酶活性和总酚含量的影响

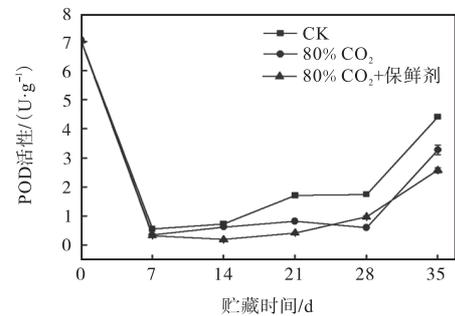
PPO 和 POD 是酶促褐变过程中的两个关键酶,PPO 可以将果蔬中的酚类化合物氧化成醌类化合物,进一步生成棕色物质<sup>[21-23]</sup>。当 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 存在时,POD 会将酚类物质氧化成棕色,它与过氧化氢酶、超氧化物歧化酶共同形成生物防御系统,起到清除自由基的作用<sup>[24-26]</sup>。PPO 和 POD 活性变化如图 5(a)和图 5(b)所示。由图 5(a)可知:随着贮藏时间的增加大青葡萄的 PPO 活性呈先下降后上升再下降的趋势;在贮藏中后期,80% CO<sub>2</sub> + 保鲜剂组的 PPO 活性始终保持最低水平。由图 5(b)可知:随着贮藏时间的增加,大青葡萄的 POD 活性呈先下降后上升的趋势;在整个贮藏期间,80% CO<sub>2</sub> + 保鲜剂组的 POD 活性显著低于对照组( $P < 0.05$ )。除了第 28 天的结果外,80% CO<sub>2</sub> + 保鲜剂组的 POD 活性始终低于 80% CO<sub>2</sub> 组。这表明 80% CO<sub>2</sub> + 保鲜剂处理能够有效抑制大青葡萄果实中 PPO 和 POD 的活性,阻止褐变产物的生成,延缓果实褐变。

苯丙氨酸解氨酶 PAL 能够催化 L-苯丙氨酸生成酚类物质(创伤诱导酶),当植物细胞受到外界逆境胁迫时,它的活性也会升高,酶促褐变底物酚类物质的浓度也随之增加<sup>[27-29]</sup>。PAL 活性和总酚含量变化如图 5(c)和图 5(d)所示。由图 5(c)可知:随着贮藏时间的增加,PAL 活性整体呈现先上升后下降的趋势。在贮藏 7 d 时,各组的 PAL 活性达到峰值,两个处理组的活性显著高于对照组,这可能是因为贮藏初期对照组果实表面腐败菌繁殖造成了生物逆境胁迫,进而导致 PAL 活性上升。在贮藏中后期,各组的 PAL 活性均存在不同程度的下降,但是 80% CO<sub>2</sub> + 保鲜剂组的 PAL 活性显著高于 80% CO<sub>2</sub> 组和对照组( $P < 0.05$ )。由图 5(d)可知:随着贮藏时间的增加,对照组和处理组的大青葡萄总酚含量呈先上升后下降趋势,但 80% CO<sub>2</sub> + 保鲜剂组的总酚含量始终高于对照组

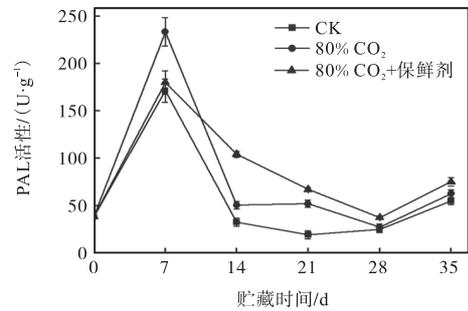
和 80% CO<sub>2</sub> 组。总酚是所有的酚类物质,酚类物质不仅是酶促褐变的底物,还是一种天然抗褐变剂,具有清除自由基和抗氧化的作用。



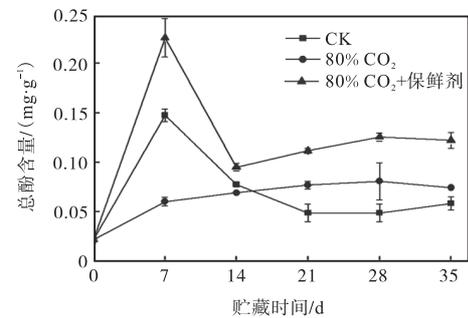
(a) PPO 活性



(b) POD 活性



(c) PAL 活性



(d) 总酚

图 5 高浓度 CO<sub>2</sub> 短激与 SO<sub>2</sub> + 1-MCP 复合处理对大青葡萄 PPO、POD、PAL 活性和总酚含量的影响

Fig. 5 Effects of high concentration CO<sub>2</sub> short stimulation and SO<sub>2</sub> + 1-MCP compound treatment on PPO, POD, PAL activity and total phenolic content of Daqing grapes

综合分析可知,80%CO<sub>2</sub>+保鲜剂组的处理方式不仅能够有效抑制褐变关键酶PPO和POD的活性、提高PAL活性,还可以促进果实中酚类物质的积累,从而提高果实的抗氧化能力,清除更多自由基,达到抑制褐变的效果。

### 3 结 论

以大青葡萄为实验材料,在高浓度CO<sub>2</sub>短激单独处理大青葡萄的基础上,探究80%CO<sub>2</sub>短激与SO<sub>2</sub>+1-MCP复合处理对大青葡萄采后生理生化特征和褐变指数的变化规律。结果表明,与对照组和80%CO<sub>2</sub>组相比,80%CO<sub>2</sub>+保鲜剂组的处理方式有效保持了大青葡萄果实原有的鲜绿色,维持较高的可滴定酸、可溶性固形物和维生素C含量,降低PPO和POD的活性,增加PAL活性和总酚含量,显著抑制了大青葡萄果实的采后褐变,在延长贮藏期方面表现出明显的优势。因此,研究结果为大青葡萄采后防褐变提供了可靠的理论依据,对促进宁夏地区大青葡萄产业和经济发展具有重要意义。

#### 参考文献:

- [1] 牛锦凤,韩林芮,许晓钰,等.宁夏大青葡萄资源及栽植情况调查[J].宁夏农林科技,2019,60(5):30-33.
- [2] 牛锦凤,沈炼平,李国,等.宁夏大青葡萄优良资源筛选初报[J].宁夏农林科技,2019,60(8):21-23.
- [3] HAJER A K. Alginate coatings containing grapefruit essential oil or grapefruit seed extract for grapes preservation[J]. International journal of food science & technology, 2014, 49(4): 952-959.
- [4] ADMANE N, GENOVESE F, ALTIERI G, et al. Effect of ozone or carbon dioxide pre-treatment during long-term storage of organic table grapes with modified atmosphere packaging[J]. Food science & technology, 2018, 98: 170-178.
- [5] ROSALES R, FERNANDEZ-CABALLERO C, ROMERO I, et al. Molecular analysis of the improvement in rachis quality by high CO<sub>2</sub> levels in table grapes stored at low temperature[J]. Postharvest biology and technology, 2013, 77: 50-58.
- [6] TELES C S, BENEDETTI B C, GUBLER W D, et al. Pre-storage application of high carbon dioxide combined with controlled atmosphere storage as a dual approach to control *Botrytis cinerea* in organic 'Flame Seedless' and 'Crimson Seedless' table grapes[J]. Postharvest biology and technology, 2014, 89: 32-39.
- [7] XUE M, YI H. Induction of disease resistance providing new insight into sulfur dioxide preservation in *Vitis vinifera* L.[J]. Scientia horticulturae, 2017, 225: 567-573.
- [8] 于皎雪,胡文忠,赵曼如,等.鲜切胡萝卜保鲜技术研究进展[J].食品工业科技,2020,41(1):349-353.
- [9] 薛友林,韩双双,张鹏,等.柿采后贮藏保鲜技术研究进展[J].食品工业科技,2019,40(12):354-358.
- [10] 孙小渊,胡文忠,刘程惠,等.甜樱桃采后病害、贮藏期间品质变化及其防腐保鲜技术[J].食品工业科技,2019,40(5):338-342.
- [11] WANG L, LUO Z, LI J, et al. Morphological and quality characterization of grape berry and rachis in response to postharvest 1-methylcyclopropene and elevated oxygen and carbon dioxide atmospheres[J]. Postharvest biology and technology, 2019, 153: 107-117.
- [12] 田金强,张子德,陈志周.红提葡萄贮藏保鲜过程中SO<sub>2</sub>伤害的防止技术研究[J].食品科学,2006,27(1):250-252.
- [13] LIU X, GAO Y, YANG H, et al. *Pichia kudriavzevii* retards fungal decay by influencing the fungal community succession during cherry tomato fruit storage[J]. Food microbiology, 2020, 88: 103404.
- [14] 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,2016.
- [15] 高帅平,魏书信,王安建,等.两种气调保鲜方式对香菇贮藏品质及生理生化性质的影响[J].食品工业科技,2021,42(4):276-281.
- [16] 高聪聪,刘云飞,董成虎,等.新型保鲜剂处理对阳光玫瑰葡萄贮藏品质的影响[J].食品与发酵工业,2020,46(10):147-151.
- [17] 陈浩,郜海燕,张润光,等.1-MCP与ClO<sub>2</sub>保鲜纸复合处理对红提葡萄采后生理及贮藏品质的影响[J].陕西师范大学学报(自然科学版),2020,48(5):48-55.
- [18] 刘鹏,许文才,李东立,等.二氧化硫缓释杀菌包装在“夏黑”葡萄保鲜中的应用研究[J].包装工程,2014,35(15):1-4.
- [19] 陈仁驰,吴培文,许慧金兰,等.SO<sub>2</sub>结合壳聚糖处理对采后鲜食葡萄品质的影响[J].食品研究与开发,2018,39(19):185-190.
- [20] 王辰.葡萄贮藏期果实褐变现象及影响因素研究[D].天津:天津商业大学,2016.
- [21] HSSAINI L, OUAABOU R, CHARAFI J, et al. Effects of pre-storage ascorbic and salicylic acids treatments on

- the enzymatic browning and nutritional quality of dried fig: combined use of biochemical and ATR-FTIR analyses[J]. *Vibrational spectroscopy*, 2021, 115: 103269.
- [ 22 ] DONG T, CAO Y, LI G, et al. A novel aspartic protease inhibitor inhibits the enzymatic browning of potatoes[J]. *Postharvest biology and technology*, 2021, 172: 111353.
- [ 23 ] SOGVAR O B, RAZAVI F, RABIEI V, et al. Postharvest application of *L*-cysteine to prevent enzymatic browning of “Stanley” plum fruit during cold storage[J]. *Journal of food processing and preservation*, 2020, 44(10): e14788.
- [ 24 ] AL-AMRANI M, AL-ALAWI A, AL-MARHOBI I, et al. Assessment of enzymatic browning and evaluation of antibrowning methods on dates[J]. *International journal of food science*, 2020, 2020(6): 8380461.
- [ 25 ] MIN T, XIE J, ZHENG M, et al. The effect of different temperatures on browning incidence and phenol compound metabolism in fresh-cut lotus (*Nelumbo nucifera* G.) root[J]. *Postharvest biology and technology*, 2017, 123: 69–76.
- [ 26 ] DONG T, SHI J, JIANG C, et al. A short-term carbon dioxide treatment inhibits the browning of fresh-cut burdock[J]. *Postharvest biology and technology*, 2015, 110: 96–102.
- [ 27 ] LIU X, LU Y, YANG Q, et al. Cod peptides inhibit browning in fresh-cut potato slices: a potential anti-browning agent of random peptides for regulating food properties[J]. *Postharvest biology and technology*, 2018, 146: 36–42.
- [ 28 ] CANTOS E, TUDELA J A, GIL M I, et al. Phenolic compounds and related enzymes are not rate-limiting in browning development of fresh-cut potatoes[J]. *Journal of agriculture and food chemistry*, 2002, 50(10): 3015–3023.
- [ 29 ] ASSIS J S, MALDONADO R, MUÑOZ T, et al. Effect of high carbon dioxide concentration on PAL activity and phenolic contents in ripening cherimoya fruit[J]. *Postharvest biology and technology*, 2001, 23(1): 33–39.

责任编辑: 郎婧

(上接第 15 页)

- Combinatorial chemistry high throughput screening, 2018, 21(3): 222–231.
- [ 13 ] 张然. 仿刺参 (*Apostichopus japonicus*) 中 HolotoxinA<sub>1</sub> 的定量分析及不同海参的皂苷特征图谱研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2013.
- [ 14 ] BAHRAMI Y, FRANCO C M M. Structure elucidation of new acetylated saponins, lessoniosides A, B, C, D, and E, and non-acetylated saponins, lessoniosides F and G, from the viscera of the sea cucumber *Holothuria lessona* [J]. *Marine drugs*, 2015, 13(1): 597–617.
- [ 15 ] SAVYCH A, MARCHYSHYN S, MILIAN I. Determination of carbohydrates in the herbal antidiabetic mixtures by GC-MC[J]. *Acta pharmaceutica*, 2021, 71(3): 429–443.
- [ 16 ] HANG L T T, CHAU H B, NAM T V H, et al. A survey on acid hydrolysis in analyzing the monosaccharide composition of exopolysaccharide from *Ophiocordyceps sinensis* [J]. *International journal of agricultural technology*, 2020, 16(3): 619–628.
- [ 17 ] MONDOL M M, SHIN H J, RAHMAN M A, et al. Sea cucumber glycosides: chemical structures, producing species and important biological properties[J]. *Marine drugs*, 2017, 15(10): 317–352.
- [ 18 ] POPOV R S, AVIOV S A, SILCHENKO A S, et al. Cucumariosides F<sub>1</sub> and F<sub>2</sub>, two new triterpene glycosides from the sea cucumber *Eupentacta fraudatrix* and their LC-ESI MS/MS identification in the starfish *Patiria pectinifera*, a predator of the sea cucumber[J]. *Biochemical systematics and ecology*, 2014, 57: 191–197.
- [ 19 ] ALMUTAIRI M S, ALI M. Direct detection of saponins in crude extracts of soapnuts by FTIR[J]. *Natural product research*, 2015, 29(13): 1271–1275.
- [ 20 ] YANG Y, JIN H, ZHANG J, et al. Determination of total steroid saponins in different species of Paris using FTIR combined with chemometrics[J]. *Journal of AOAC international*, 2018, 101(3): 732–738.

责任编辑: 郎婧