

外源茉莉酸甲酯处理对冬枣冷藏抗氧化代谢及褐变的影响

董宇^{1,2}, 支欢欢^{1,2}, 徐娟³, 张丽华^{1,2}, 刘琦琦¹, 王小媛^{1,2}, 刘敏¹, 纵伟^{1,2}

(1. 郑州轻工业学院食品与生物工程学院, 河南郑州 450001) (2. 食品生产与安全河南省协同创新中心, 河南郑州 450001) (3. 好想你枣业股份有限公司, 河南新郑 451161)

摘要: 为探讨外源茉莉酸甲酯 (MeJ) 对冬枣 (*Zizyphus Jujuba* Mill.) 果实冷藏过程中抗氧化系统及褐变的影响, 试验采用 50、100 和 200 $\mu\text{mol/L}$ MeJ 熏蒸处理冬枣果实 24 h, 以空气处理为对照, 测定在 2 ± 0.5 $^{\circ}\text{C}$ 贮藏过程中果实硬度、腐烂率、呼吸速率、超氧阴离子 ($\text{O}_2^{\cdot-}$) 产生速率、过氧化氢 (H_2O_2)、丙二醛 (MDA)、超氧化物歧化酶 (SOD)、过氧化氢酶 (CAT)、过氧化物酶 (POD)、抗坏血酸 (AsA)、还原型谷胱甘肽 (GSH)、多酚氧化酶 (PPO) 和总酚变化。结果表明, 冷藏过程中 MeJ 处理显著延缓果实硬度下降, 抑制呼吸速率和腐烂率, 减少 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 、 H_2O_2 和 MDA 积累, 维持较高的 SOD、CAT 和 POD 活性及 AsA 和 GSH 含量, 降低 PPO 活性, 增加总酚含量。通过主成分分析得到腐烂率、 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 、 H_2O_2 、MDA 和 PPO 是评价 MeJ 作用效果的主要因素, 且 100 $\mu\text{mol/L}$ MeJ 处理对维持冷藏冬枣品质、提高果实抗氧化能力和抑制褐变的作用效果最显著。

关键词: 茉莉酸甲酯; 冬枣; 冷藏; 抗氧化系统; 褐变

文章编号: 1673-9078(2017)1-152-158

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2017.1.024

Effect of Exogenous Methyl Jasmonate Treatment on Antioxidant Metabolism and Browning of Post-harvest Jujube Fruit during Cold Storage

DONG Yu^{1,2}, ZHI Huan-huan^{1,2}, XU Juan³, ZHANG Li-hua^{1,2}, LIU Qi-qi¹, WANG Xiao-yuan^{1,2}, LIU Min¹, ZONG Wei^{1,2}

(1.College of Food and Bioengineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450001, China)

(2.Collaborative Innovation Center for Food Production and Safety of Henan Province, Zhengzhou 450001, China)

(3.Haoxiangni Jujube Industry Co. Ltd., Xinzheng 451161, China)

Abstract: We aimed to investigate the effect of methyl jasmonate (MeJ) treatment on the antioxidant system and browning of post-harvest jujube (*Zizyphus jujuba* Mill.) fruit during cold storage. Fruits were treated with 50, 100, and 200 $\mu\text{mol/L}$ MeJ for 24 h. Control fruits and MeJ-treated fruits were sealed in air and stored at 2 ± 0.5 $^{\circ}\text{C}$. Fruit firmness, decay index, respiration rate, superoxide anion production rate, and the content levels of hydrogen peroxide, malonaldehyde (MDA), ascorbic acid (AsA), glutathione (GSH), and total phenols (TP), as well as the activity levels of superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), peroxidase (POD), and polyphenol oxidase (PPO) were evaluated for all groups. Results showed that, during cold storage, MeJ treatments significantly delayed the decrease of fruit firmness; inhibited the respiration rate and decay index; decreased the accumulation of superoxide anion, hydrogen peroxide, and MDA; maintained higher activities of SOD, CAT, and POD; maintained levels of AsA and GSH; lowered the level of PPO activity; and increased TP content. Principal component analysis showed that the decay index, superoxide anion production rate, hydrogen peroxide content, MDA content, and PPO activity were the main factors that influenced the efficacy of MeJ. Furthermore, the 100 $\mu\text{mol/L}$ MeJ treatment was most effective in maintaining fruit quality, enhancing antioxidant capacity, and inhibiting browning during cold storage.

Key words: methyl jasmonate; *Zizyphus jujuba* Mill. cv. Dongzao; cold storage; antioxidant system; browning

收稿日期: 2016-02-04

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31501539); 河南省高等学校重点科研项目 (16A210042); 郑州轻工业学院博士科研启动基金项目 (2014BSJJ028, 2014BSJJ027)

作者简介: 董宇 (1983-), 男, 博士, 讲师, 研究方向: 果蔬贮藏保鲜

通讯作者: 支欢欢 (1982-), 女, 博士, 讲师, 研究方向: 果蔬贮藏保鲜; 纵伟 (1965-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 果蔬加工及安全控制

冬枣 (*Zizyphus Jujuba* Mill.) 是我国北方重要鲜食枣品种之一, 因其果型美观、皮薄肉脆, 富含人体所需的多种氨基酸和维生素等特点, 深受广大消费者青睐。但是, 采后冬枣极不耐贮藏, 易失水皱缩、酒软、褐变甚至腐烂变质, 失去商业价值。低温贮藏虽在一定程度上延缓冬枣果实成熟、衰老, 抑制病原菌生长, 但在冷藏过程中易发生腐烂, 尤其是转至货架时果实腐烂率显著增加, 严重影响了冬枣贮藏效果, 因此冬枣冷藏期一般只有 2 个月左右。此外, 采摘不当造成的果柄脱落, 微生物侵染, 增加了采后低温贮藏保鲜的难度。目前, 我国用于果实低温保鲜的物理手段有温度调节、热处理、逐步降温和间歇升温、气调贮藏和冷激等, 化学手段包括多胺、茉莉酸甲酯、水杨酸和氯化钙等, 这些保鲜技术都能有效地减轻贮藏过程中果实腐烂发生, 延长贮藏寿命^[1]。

茉莉酸甲酯 (Methyl jasmonate, MeJ) 是植物体中一类天然脂肪酸衍生物, 除作为信号分子调控植物生长发育、次生代谢物合成以及抗逆反应外, 还可通过抑制呼吸代谢减少贮藏期间果实失重、微生物侵染及腐烂, 降低膜脂过氧化, 改变脂肪酸组分, 延缓细胞膜通透性增加, 提高低温胁迫条件下果蔬抗性^[2]。此外, 外源 MeJ 处理也可维持果蔬中活性氧代谢平衡, 有效促进石榴^[3]、草莓^[4]、枇杷^[5]等果实中多酚类物质积累, 维持果实采后较高的抗氧化能力。但到目前, 国内外鲜见关于外源 MeJ 处理对冬枣冷藏过程中抗氧化系统及果实品质的变化, 本试验以商业采收期冬枣果实为试材, 利用不同浓度 MeJ 处理冬枣, 分析在低温贮藏过程中果实品质、抗氧化系统以及酚类物质代谢变化, 通过主成分分析得到反映 MeJ 作用效果的主要指标, 为冬枣采后冷藏技术提供可靠的理论支持。

1 材料与方法

1.1 试验材料与仪器

冬枣 (*Zizyphus Jujuba* Mill.) 于 2015 年 10 月 2 日采自河南省新郑市孟庄村果园, 选择大小一致、无机械损伤、无病虫害的商业期果实 (果面为绿色), 并在 2 h 内运回郑州轻工业学院食品与生物工程学院实验室进行处理。

硬度计: GY-4 数字型, 浙江托普仪器有限公司; 红外线 CO₂ 分析仪: HWF-1 型, 江苏金坛顺华仪器有限公司; 高速冷冻离心机: HC-3618R 型, 安徽中科中佳科学仪器有限公司; 紫外可见分光光度计: T6 型, 北京普析通用仪器有限公司。

1.2 处理方法

将冬枣果实随机分成 4 组, 每组用果 240 个, 分别放入 3.25 L 保鲜盒中, 由于 MeJ 性质稳定且易挥发, 将 50、100 和 200 μmol/L MeJ 加入放有滤纸的培养皿中密封处理 24 h, 以空气处理为对照, 将处理后果实置于 2±0.5 °C, 相对湿度 70~80% 下贮藏 45 d, 每隔 15 d 进行相关指标测定, 每个时间点用果 20 个, 重复 3 次。

1.3 测定指标

1.3.1 果实硬度、腐烂率和呼吸速率测定

各处理随机选取 15 个冬枣, 沿果实赤道部位等距离的两个位置用刀片削去果皮, 然后用 GY-4 型数字硬度计测定果实硬度, 单位 N, 重复 3 次。腐烂率测定根据公式: 腐烂率%=(腐烂果/果实总数)×100%; 呼吸速率采用红外线 CO₂ 分析仪在 2±0.5 °C 下进行测定, 单位 CO₂ mg/(h·kg FW)。

1.3.2 超氧阴离子生成速率、过氧化氢和丙二醛含量测定

参照 Dong 等^[6]羟胺氧化法测定 O₂⁻ 生成速率, 540 nm 处测定吸光度值, 结果以每克鲜重每分钟产生亚硝酸的物质的量计算 O₂⁻ 生成速率, 单位 nmol/(min·g FW)。参照 Bellincampi 等^[7]方法测定 H₂O₂ 含量, 560 nm 处测定吸光度值, 单位 nmol/g FW。参照 Yuan 等^[8]硫代巴比妥酸法测定 MDA 含量, 450 nm、532 nm 和 600 nm 处测定吸光度值, 按公式:

$$\text{MDA}(\times 10^{-2} \mu\text{mol/g FW}) = 6.45(A_{532} - A_{600}) - 0.56A_{450}$$

1.3.3 超氧化物歧化酶、过氧化氢酶和过氧化物酶活性测定

参照 Zhao 等^[9]氮蓝四唑法测定 SOD 活性, 560 nm 处测定吸光度值, 结果以抑制氮蓝四唑的 50% 为 1 个 SOD 活性单位, 单位 units/g FW。参照 Zhao 等^[9]紫外吸收法测定 CAT 活性, 240 nm 处每隔 30 s 记录吸光度值, 连续监测 2.5 min, 结果以每分钟减少 0.01 吸光度值为 1 个 CAT 活性单位, 单位 units/g FW。参照 Civello 等^[10]愈创木酚法测定 POD 活性, 470 nm 处每隔 1 min 记录吸光度值, 连续监测 5 min, 结果以每分钟增加 0.01 吸光度值为 1 个 POD 活性单位, 单位 units/g FW。

1.3.4 抗坏血酸和还原型谷胱甘肽含量测定

参照 Dong 等^[6]方法测定 AsA 和 GSH 含量, 分别在 525 nm 和 412 nm 处测定吸光度值, 单位分别为 $\times 10^{-2}$ mg/g FW 和 μmol/g FW。

1.3.5 多酚氧化酶活性和总酚含量测定

参照 Dong 等^[6]邻苯二酚法测定 PPO 活性,420 nm 处每隔 1 min 记录吸光度值,连续监测 5 min,结果以每分钟增加 0.01 吸光度值为 1 个 PPO 活性单位,单位 units/g FW。参照 Marinova 等^[11]的福林酚法测定总酚含量,525 nm 测定吸光度值,其单位为 $\times 10^{-2}$ mg/g FW。

1.4 数据处理

本试验数据采用 SPSS 19.0 软件进行单因素方差分析 (ANOVA),利用 Fish's LSD 多重比较分析, $p < 0.05$ 表示显著差异。同时,利用 Origin 9.0 软件对果实品质、抗氧化和褐变相关指标进行主成分分析 (PCA)。

2 结果与分析

2.1 外源 MeJ 对冷藏冬枣果实硬度、腐烂率和呼吸速率的影响

呼吸速率的影响

图 1 所示, 2 ± 0.5 °C 下各处理果实硬度均随贮藏时间延长呈下降趋势。贮藏 45 d 后,对照、50 $\mu\text{mol/L}$ MeJ、100 $\mu\text{mol/L}$ MeJ 和 200 $\mu\text{mol/L}$ MeJ 处理的果实硬度分别下降了 35.53%、26.52%、19.14% 和 23.91%。但果实腐烂率均随贮藏时间延长呈上升趋势。贮藏 45 d 后,对照处理果实腐烂率增加了 25%,但 MeJ 处理的腐烂率显著低于对照处理 ($p < 0.05$),其中 100 $\mu\text{mol/L}$ MeJ 处理的果实腐烂率最低,仅增加了 1.67%。冷藏开始后各处理的呼吸速率均呈下降的趋势,但对照处理的呼吸速率显著高于 MeJ 处理 ($p < 0.05$),并且随着贮藏时间的延长而逐渐增加。其中 100 $\mu\text{mol/L}$ MeJ 处理的呼吸速率在整个贮藏的过程中无显著的差异 ($p < 0.05$)。这说明在低温的条件下,MeJ 能够显著的延缓果实硬度的下降,提高果实抗菌活性和抑制呼吸的作用,从而维持较高的果实品质。

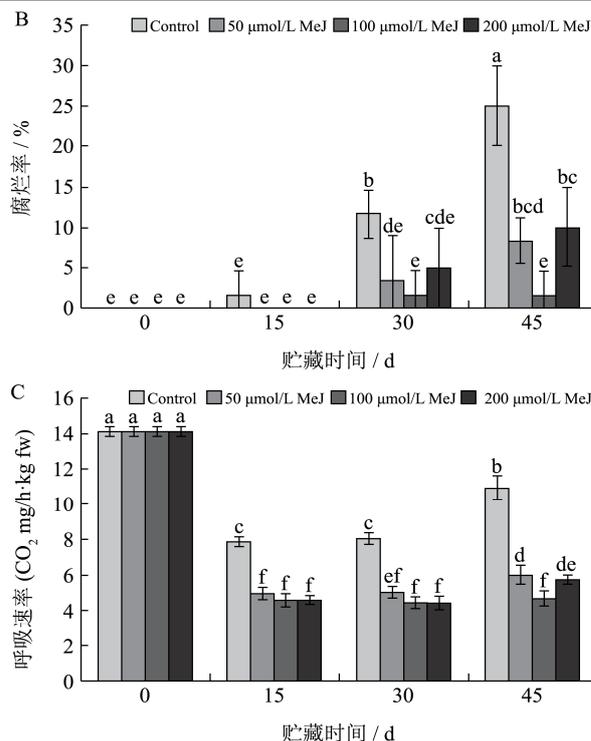
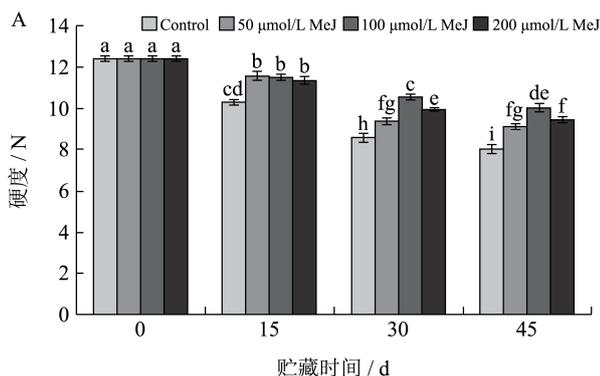
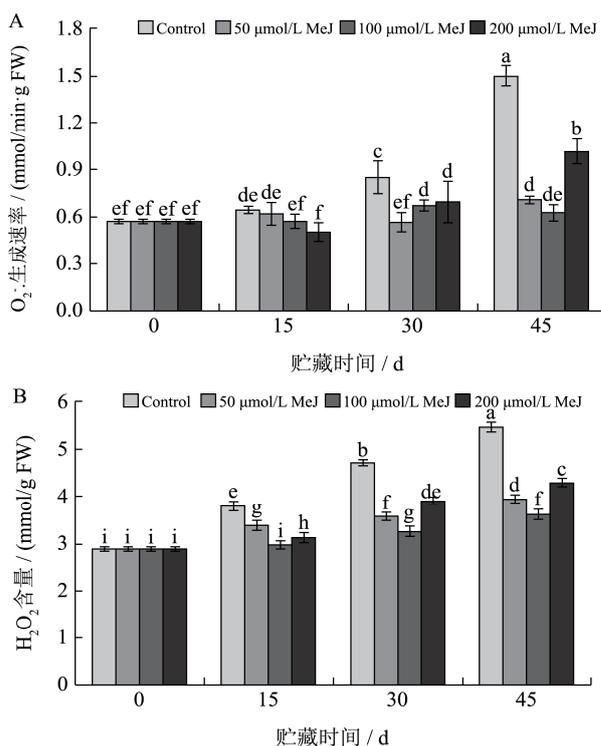


图 1 外源 MeJ 处理对冬枣在 2 ± 0.5 °C 贮藏时果实硬度、腐烂率和呼吸速率的影响

Fig.1 Effect of exogenous MeJ treatments on fruit firmness, decay index, and respiration rate of jujube fruit stored at 2 ± 0.5 °C

2.2 外源 MeJ 对冷藏冬枣超氧阴离子生成速率、过氧化氢和丙二醛含量的影响

超氧阴离子生成速率、过氧化氢和丙二醛含量的影响



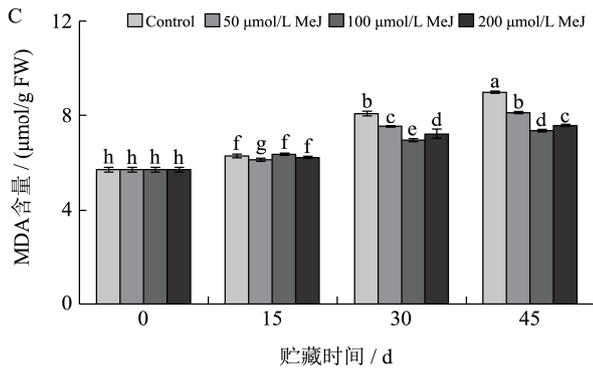


图2 外源 MeJ 处理对冬枣在 2±0.5 °C 贮藏时 O₂⁻ 生成速率、H₂O₂ 和 MDA 含量的影响

Fig.2 Effect of exogenous MeJ treatments on O₂⁻ production rate, H₂O₂, and MDA content of jujube fruit stored at 2±0.5 °C

图 2 所示, MeJ 与活性氧产生和膜脂过氧化之间具有直接关系。2±0.5 °C 下各处理果实 O₂⁻ 生成速率、H₂O₂ 和 MDA 含量均随贮藏时间延长而增加。贮藏 45 d 后, 对照处理果实 O₂⁻、H₂O₂ 和 MDA 分别增加了 261.88%、189.44%和 158.03%。经 MeJ 处理的果实 O₂⁻ 生成速率、H₂O₂ 和 MDA 含量显著低于对照处理, 其中 100 μmol/L MeJ 处理的果实 O₂⁻ 生成速率、H₂O₂ 和 MDA 含量最低, 50 μmol/L MeJ 处理次之, 200 μmol/L MeJ 处理作用效果最弱。这说明 MeJ 能够抑制冷藏冬枣果实中活性氧爆发, 降低膜脂过氧化产物积累, 其中以 100 μmol/L MeJ 处理效果最为显著。

2.3 外源 MeJ 对冷藏冬枣超氧化物歧化酶、过氧化氢酶和过氧化物酶活性的影响

果实体内的抗氧化酶主要包括 SOD、CAT、POD 以及抗坏血酸过氧化物酶 (APX), 它们通过清除过多的活性氧自由基, 来保护正常的细胞结构和功能, 进而维持体内活性氧动态平衡。图 3 所示, 对照果实的 SOD 活性在贮藏过程中逐渐降低, CAT 和 POD 活性在贮藏 15 d 后出现高峰, 但随后下降且在贮藏 45 d 后其活性显著低于其他处理 (p<0.05)。50 和 200 μmol/L MeJ 处理果实的 SOD 活性在贮藏 15 d 后逐渐增加, 贮藏 45 d 后 50 μmol/L MeJ 处理果实的 SOD 活性显著高于 200 μmol/L MeJ 处理的, 但两个处理的 CAT 和 POD 活性在整个贮藏过程中无显著差异 (p<0.05)。100 μmol/L MeJ 处理果实的 SOD、CAT 和 POD 活性从贮藏 15 d 后逐渐增加, 且在贮藏 45 d 后其活性显著高于其他处理 (p<0.05)。这说明 100 μmol/L MeJ 处理能够维持较高的 SOD、CAT 以及 PPO 活性。

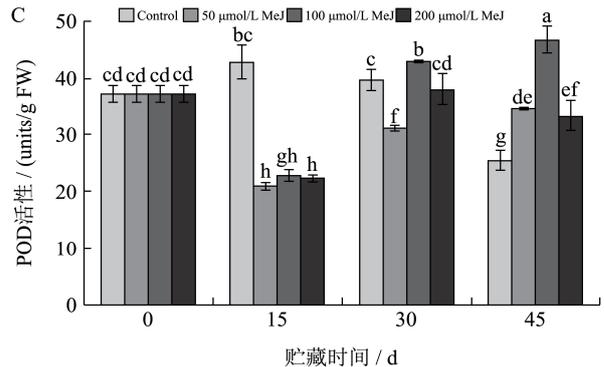
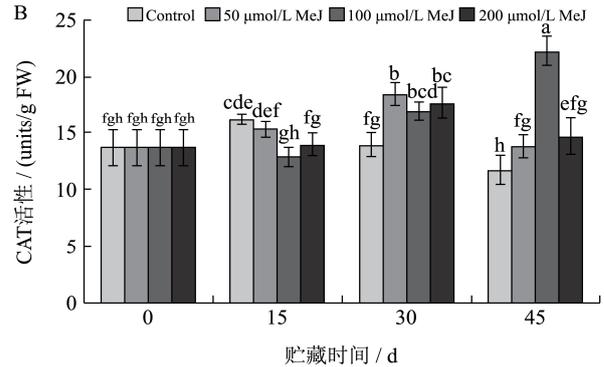
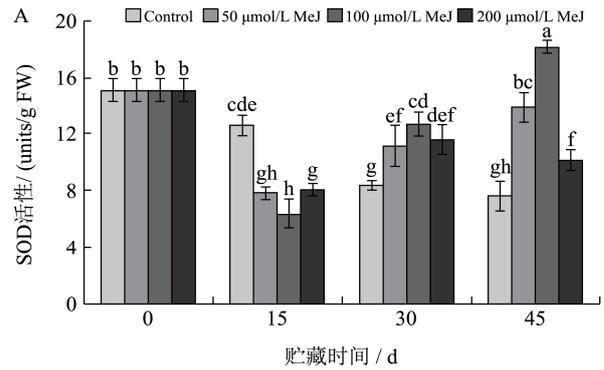
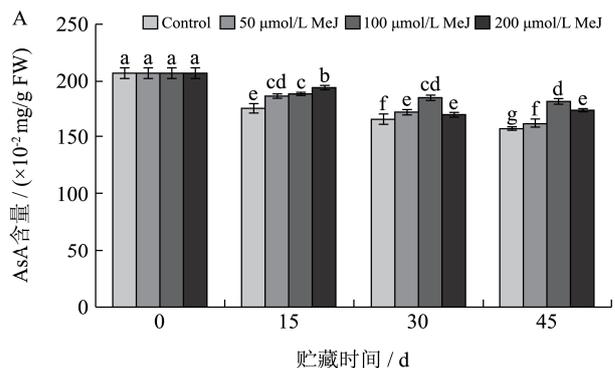


图3 外源 MeJ 处理对冬枣在 2±0.5 °C 贮藏时 SOD、CAT 和 POD 活性的影响

Fig.3 Effect of exogenous MeJ treatments on SOD, CAT, and POD activities of jujube fruit stored at 2±0.5 °C

2.4 外源 MeJ 对冷藏冬枣抗坏血酸和还原型谷胱甘肽含量的影响



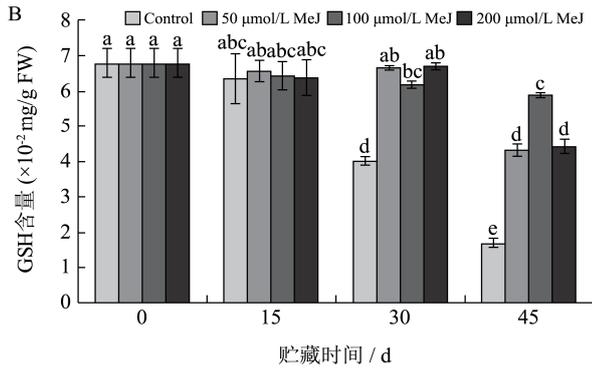


图4 外源 MeJ 处理对冬枣在 2±0.5℃贮藏时 AsA 和 GSH 含量的影响

Fig.4 Effect of exogenous MeJ treatments on the AsA and GSH content of jujube fruit stored at 2±0.5 °C

果实中抗氧化系统除包括抗氧化酶外，还有非酶抗氧化物如 AsA 和 GSH 等，它们同样参与活性氧自由基清除。图 4 所示，冷藏过程中各处理的 AsA 和 GSH 含量均呈下降趋势。贮藏 45 d 后，对照处理的 AsA 和 GSH 含量分别下降了 24.23%和 75.95%，而 100 μmol/L MeJ 处理的 AsA 和 GSH 含量下降最为缓慢。这说明 MeJ 通过延缓 AsA 和 GSH 降解，来提高果实抗氧化能力。

2.5 外源 MeJ 对冷藏冬枣多酚氧化酶活性和总酚含量的影响

图 5 所示，对照果实 PPO 活性在贮藏 30 d 后达到高峰，随后急剧下降。而 MeJ 处理的 PPO 活性从贮藏开始后呈先下降后上升趋势，其中 100 μmol/L MeJ 处理的 PPO 活性增加最为缓慢。各处理的总酚含量在贮藏 30 d 后均达到最高值，与对照相比，50、100 和 200 μmol/L MeJ 处理的总酚含量分别提高了 11.90%、14.29%和 12.50%，但各 MeJ 处理间无显著差异 ($p < 0.05$)。这说明 MeJ 可抑制 PPO 活性，推迟 PPO 高峰，维持较高的总酚水平。

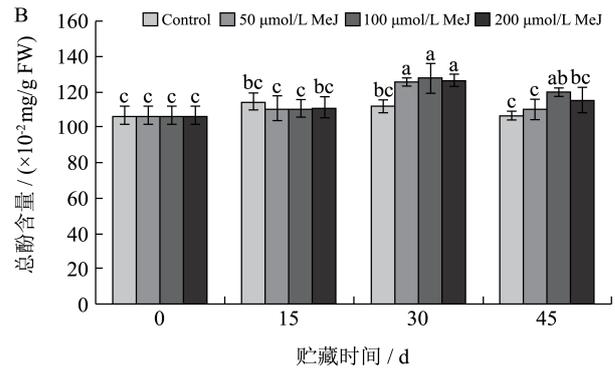
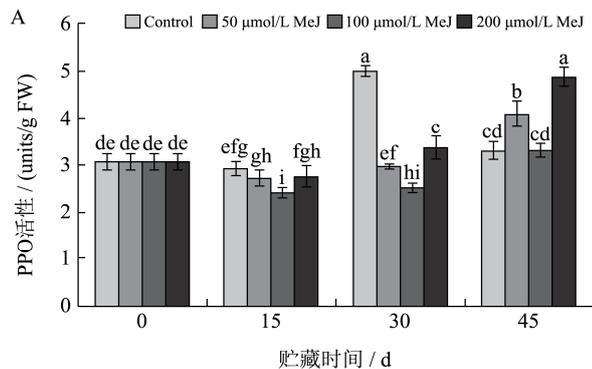


图5 外源 MeJ 处理对冬枣在 2±0.5℃贮藏时 PPO 活性和总酚含量的影响

Fig.5 Effect of exogenous MeJ treatments on PPO activity and total phenol content of jujube fruit stored at 2±0.5 °C

2.6 主成分分析 MeJ 对冷藏冬枣果实品质、抗氧化活性和褐变的影响

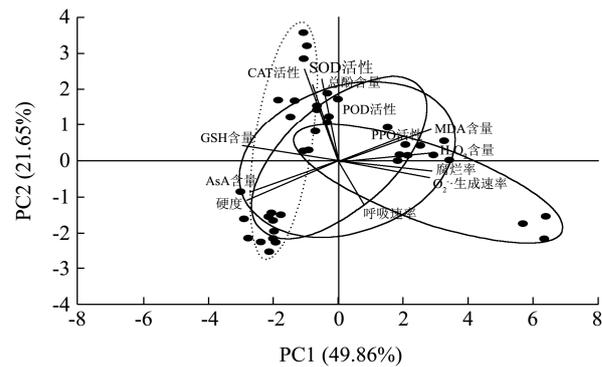


图6 冬枣低温贮藏过程中果实品质、抗氧化活性和褐变的主成分分析

Fig.6 Principal component analysis of fruit quality, antioxidant capacity, and browning of jujube fruit during low-temperature storage

图 6 所示，对冬枣冷藏过程中果实品质、抗氧化以及褐变等理化指标进行主成分分析得到三个主成分，其中前两个主成分贡献率总和达到 71.51%。主成分 1 贡献率为 49.86%，与腐烂率、O₂·生成速率、H₂O₂、MDA 以及 PPO 具有较高的正相关，而与硬度、AsA 和 GSH 具有很高的负相关，这反映出活性氧自由基在冬枣冷藏过程中具有重要作用。主成分 2 贡献率为 21.65%，与 SOD、CAT、POD 以及总酚具有较高的正相关，而与硬度和呼吸速率具有很高的负相关，这反映抗氧化酶在冬枣冷藏过程中具有重要作用。此外，对照处理果实 (-表示) 具有较高的腐烂率、呼吸速率、O₂·生成速率、H₂O₂ 含量和 MDA 含量，50 和

200 $\mu\text{mol/L}$ MeJ 处理（分别用---和--表示）对冬枣贮藏品质、抗氧化系统以及褐变的影响较小，且两者差异不显著，但 100 $\mu\text{mol/L}$ MeJ 处理果实（···表示）具有较高的硬度，SOD 和 CAT 活性，AsA、GSH 和总酚含量。

3 结论

3.1 温度是影响冬枣贮藏寿命的重要因素之一，通过低温处理可明显延缓果实软化、衰老，降低呼吸作用，延长贮藏时间。但长时间置于低温易造成果实生理病害发生，如冷害、微生物侵染和腐烂等，导致营养物质降解，果实品质下降^[12]。本试验发现， 2 ± 0.5 $^{\circ}\text{C}$ 下贮藏 45 d 后对照果实硬度急剧下降，并生成大量的活性氧自由基，膜质过氧化程度加剧，同时抗氧化物酶活性和非酶抗氧化物含量降低，果肉褐变及腐烂，这与董福等^[13]研究凌枣采后低温贮藏结果相一致。近年来研究发现利用气调包装^[14]、1-甲基环丙烯（1-MCP）^[15]以及一氧化氮（NO）^[16]等保鲜技术手段能够延缓冷藏枣果实品质下降，提高机体抗逆性，延缓衰老。MeJ 作为天然植物生长调节剂，不仅参与调控果实发育、后熟衰老进程，而且能够减轻冷害发生，抑制病原菌生长和腐烂率增加。因此，加强不同浓度 MeJ 处理对冬枣冷藏过程中抗氧化系统及褐变的影响具有重要意义。王蕊^[17]利用 0.01、0.1 和 1 mmol/L MeJ 处理冷藏条件下梨枣，发现 0.01 mmol/L MeJ 处理显著提高果实中 PAL、PPO 和 POD 活性，维持较高的总酚含量，增强果实抗病性。本试验结果发现，与对照相比，100 $\mu\text{mol/L}$ MeJ 处理能够维持较高的果实硬度，SOD、CAT 和 POD 活性，AsA、GSH 和总酚含量，降低呼吸速率和腐烂率，抑制 PPO 活性，但 50 和 200 $\mu\text{mol/L}$ MeJ 处理的作用效果明显减弱。综合考虑，100 $\mu\text{mol/L}$ MeJ 处理在冬枣采后冷藏保鲜中更具有商业应用价值。此外，本试验发现高浓度的 MeJ 并没有激活果实内抗氧化系统，反而积累了大量的活性氧自由基，加剧膜质过氧化程度。因此，在采后 MeJ 处理前除要考虑果实品种，还要注意 MeJ 处理浓度、果实成熟度以及贮藏温度等因素。

3.2 MeJ 已被证实对人体无毒，属于环境友好型果蔬保鲜技术，通过气体熏蒸能够有效降低对处理材料的渗透损伤，提高果实抗氧化能力^[2]。但是 MeJ 是如何作用果实抗氧化系统，到目前为止还仍未形成较为完善的评价体系。通过主成分分析可从多个存在一定相关关系的变量归结为几个新的相互独立的变量，从而简化数据结构，准确地了解各变量间的关系^[18]。因此，本试验利用主成分分析冷藏过程中不同浓度 MeJ 处理

下的果实品质指标（硬度、腐烂率和呼吸速率）、抗氧化系统（SOD、CAT、POD、AsA 和 GSH）以及褐变相关指标（PPO 和总酚），发现腐烂率、 O_2^- 生成速率、 H_2O_2 、MDA 以及 PPO 是直接反映 MeJ 作用效果的重要指标。因此，在采后 MeJ 商业化使用过程中可通过比对上述指标差异，快速分析果实品质变化，准确地找到合适的 MeJ 处理浓度。

3.3 综上所述，在冷藏条件下，冬枣经 MeJ 处理后可显著延缓果实硬度下降，抑制腐烂率和呼吸速率、 O_2^- 和 H_2O_2 积累以及膜质过氧化作用，提高 SOD、CAT 和 POD 活性，维持较高的 AsA 和 GSH 水平，降低 PPO 活性，增加总酚含量。通过主成分分析，发现腐烂率、 O_2^- 生成速率、 H_2O_2 含量、MDA 含量以及 PPO 活性是评价 MeJ 作用效果的主要因素，分析并得到 100 $\mu\text{mol/L}$ MeJ 处理对调控冷藏冬枣果实品质、抗氧化以及褐变的直接证据。

参考文献

- [1] Nunes C A. Biological control of postharvest diseases of fruit [J]. *European Journal of Plant Pathology*, 2011, 133(1): 181-196
- [2] Dar T A, Uddin M, Khan M A, et al. Jasmonates counter plant stress: a review [J]. *Environmental and Experimental Botany*, 2015, 115: 49-57
- [3] Sayyari M, Babalar M, Kalantari S, et al. Vapour treatments with methyl salicylate or methyl jasmonate alleviated chilling injury and enhanced antioxidant potential during postharvest storage of pomegranates [J]. *Food Chemistry*, 2011, 124(3): 964-970
- [4] Asghari M, Hasanlooee A R. Interaction effects of salicylic acid and methyl jasmonate on total antioxidant content, catalase and peroxidase enzymes activity in "Sabrosa" strawberry fruit during storage [J]. *Scientia Horticulturae*, 2015, 197: 490-495
- [5] Cao S F, Zheng Y H, Wang K T, et al. Methyl jasmonate reduces chilling injury and enhances antioxidant enzyme activity in postharvest loquat fruit [J]. *Food Chemistry*, 2009, 115(4): 1458-1463
- [6] Dong Y, Liu L Q, Zhao Z, et al. Effects of 1-MCP on reactive oxygen species, polyphenol oxidase activity, and cellular ultra-structure of core tissue in 'Yali' pear (*Pyrus bretschneideri* Rehd.) during storage [J]. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 2015, 56(2): 207-215
- [7] Bellincampi D, Dipierro N, Salvi G, et al. Extracellular H_2O_2 induced by oligogalacturonides is not involved in the

- inhibition of the auxine-regulated *rolB* gene expression in tobacco leaf explants [J]. *Plant Physiology*, 2000, 122(4): 1379-1386
- [8] Yuan G F, Sun B, Yuan J, et al. Effect of 1-methylcyclopropene on shelf life, visual quality, antioxidant enzymes and health-promoting compounds in broccoli florets [J]. *Food Chemistry*, 2010, 118(3): 774-781
- [9] Zhao Y, Tu K, Su J, et al. Heat treatment in combination with antagonistic yeast reduces diseases and elicits the active defense responses in harvested cherry tomato fruit [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2009, 57(16): 7565-7570
- [10] Civello P M, Martínez G A, Chaves A R, et al. Peroxidase from strawberry fruit (*Fragaria ananassa* Duch.): partial purification and determination of some properties [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1995, 43(10): 2596-2601
- [11] Marinova D, Ribarova F, Atanassova M. Total phenolics and total flavonoids in Bulgarian fruits and vegetables [J]. *Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy*, 2005, 40(3): 255-260
- [12] 刘辉,李江阔,农绍庄,等.不同温度对冬枣冷害程度的影响[J].食品工业科技,2012,33(12):344-348
LIU Hui, LI Jiang-kuo, NONG Shao-zhuang, et al. Effect of different temperature on chilling injury of 'Dongzao' jujube [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2012, 33(12): 344-348
- [13] 董福,张佰清,冯叙桥,等.低温对凌枣采后抗氧化成分含量及能力的影响[J].食品科技,2015,40(5):32-36
DONG Fu, ZHANG Bai-qing, FENG Xu-qiao, et al. Effects of low temperature on postharvest antioxidant contents and capacity of Lingzao fruits [J]. *Food Science and Technology*, 2015, 40(5): 32-36
- [14] 吕长鑫,赵宏侠,冯叙桥,等. MAP 结合低温贮藏对高成熟度鲜枣的保鲜效果[J].食品工业科技,2014,35(16):328-333
LV Chang-xin, ZHAO Hong-xia, FENG Xu-qiao, et al. Effect of modified atmosphere package combined with low temperature on full mature fresh jujube fruits [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2014, 35(16): 328-333
- [15] Zhang Z Q, Tian S P, Zhu Z, et al. Effects of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on ripening and resistance of jujube (*Zizyphus jujube* cv. Huping) fruit against postharvest disease [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2012, 45(1): 13-19
- [16] Sun L N, Liu M C, Zhu S H, et al. Effect of nitric oxide on alcoholic fermentation and qualities of Chinese winter jujube during storage [J]. *Agricultural Sciences in China*, 2007, 6(7): 849-856
- [17] 王蕊.茉莉酸甲酯处理对冷藏条件下梨枣抗病性的影响[J].农产品加工,2014,11:13-16
WANG Rui. Methyl Jasmonate (MeJA) under the condition of treatment on the cold impact resistance Lizard [J]. *Academic Periodical of Farm Products Processing*, 2014, 11: 13-16
- [18] Abdi H, Williams L J, Valentin D. Multiple factor analysis: principal component analysis for multitable and multiblock data sets [J]. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*, 2013, 5(2): 149-179

(上接第 138 页)

- [10] Stagner J, Alves V D, Narayan R, et al. Thermoplasticization of high amylose starch by chemical modification using reactive extrusion [J]. *Journal of Polymers and the Environment*, 2011, 19(3): 589-597
- [11] Winkler H, Vorwerg W, Wetzel H. Synthesis and properties of fatty acid starch esters [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2013, 98(1): 208-216
- [12] LIU J, WANG B, LIN L, et al. Functional, physicochemical properties and structure of cross-linked oxidized maize starch [J]. *Food Hydrocolloids*, 2014, 36(5): 45-52
- [13] Chantaro P, Pongsawatmanit R. Influence of sucrose on thermal and pasting properties of tapioca starch and xanthan gum mixtures [J]. *Journal of Food Engineering*, 2010, 98(1): 44-50