

茉莉酸甲酯处理下鲜莲子采后品质的变化

李娟娟, 李梦蝶, 谢湘汝, 戴余军*

(湖北工程学院生命科学技术学院, 湖北省植物功能成分利用工程技术研究中心, 特色果蔬质量安全控制湖北省重点实验室, 湖北孝感 432000)

摘要: 为探究外源茉莉酸甲酯 (MeJA) 对鲜莲子采后品质的影响, 以清水为对照, 用 100 $\mu\text{mol/L}$ MeJA 浸泡处理鲜莲子, 每隔 2 d 比较莲子的色差 (L^* , a^* , b^*)、营养物质 (淀粉、可溶性糖) 和其他生理生化指标 (失重率、总酚、丙二醛、过氧化氢以及多酚氧化酶、超氧化物歧化酶、过氧化氢酶、过氧化物酶) 的变化。结果表明: 相比对照组, MeJA 处理可有效维持鲜莲子采后色泽。贮藏 8 d 时处理组的失重率降低了 33.84%, 淀粉含量提高了 38.34 mg/g, 可溶性糖含量提高了 70.58 mg/g; 同时, MeJA 处理可减少多酚含量, 抑制 PPO 活性和 MDA、 H_2O_2 的积累, 提高 SOD、CAT 和 POD 活性。以上结果显示 MeJA 可通过减少鲜莲子采后的物质消耗、维持淀粉和可溶性糖含量、减少酚类的氧化、提高抗氧化酶酶活、维持细胞膜完整性等延缓鲜莲子的采后品质衰退, 有助于延长其货架期。

关键词: 茉莉酸甲酯; 鲜莲子; 采后品质

文章编号: 1673-9078(2024)07-99-105

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2024.7.0621

Post-harvest Quality Changes in Fresh Lotus Seed Treated with Methyl Jasmonate

LI Juanjuan, LI Mengdie, XIE Xiangru, DAI Yujun*

(College of Life Science and Technology, Hubei Engineering University, Hubei Province Research Center of Engineering Technology for Utilization of Botanical Functional Ingredients, Hubei Key Laboratory of Quality Control of Characteristic Fruits and Vegetables, Xiaogan 432000, China)

Abstract: To investigate the effects of exogenous methyl jasmonate (MeJA) on the post-harvest quality of fresh lotus seed, MeJA (100 $\mu\text{mol/L}$) was used to soak the fresh lotus seed with water as the control. The changes in the color difference (L^* , a^* , b^*), nutrient content (starch, soluble sugar), and other physiological and biochemical indexes (weight loss rate, total phenol content, malondialdehyde content, hydrogen peroxide content, polyphenol oxidase activity, superoxide dismutase activity, catalase activity and peroxidase activity) were compared every 2 days. The results showed that compared with the control group, the MeJA treatment effectively maintained the postharvest color of fresh lotus seed. After 8 days of storage, compared with the control group, the MeJA-treated group had a lower weight loss rate (decreased by 33.84%), and higher starch content (increased by 38.34 mg/g), higher soluble sugar content (increased by 70.58 mg/g), along with a reduced total phenol content, suppressed PPO activity, MDA content and H_2O_2 accumulation, and enhanced SOD, CAT and POD activities. The above results revealed that the MeJA treatment could delay the post-harvest quality decline of fresh lotus seed through reducing material consumption, maintaining starch and soluble sugar contents, reducing the oxidation of phenols, improving

引文格式:

李娟娟,李梦蝶,谢湘汝,等.茉莉酸甲酯处理下鲜莲子采后品质的变化[J].现代食品科技,2024,40(7):99-105.

LI Juanjuan, LI Mengdie, XIE Xiangru, et al. Post-harvest quality changes in fresh lotus seed treated with methyl jasmonate [J]. Modern Food Science and Technology, 2024, 40(7): 99-105.

收稿日期: 2023-05-25

基金项目: 湖北省教育厅中青年项目 (Q20202702)

作者简介: 李娟娟 (1989-), 女, 博士, 讲师, 研究方向: 莲子发育及采后保鲜, E-mail: juanjuan_black@hbeu.edu.cn

通讯作者: 戴余军 (1972-), 女, 硕士, 教授, 研究方向: 特色农产品深加工和产业化, E-mail: dyj5925@hbeu.edu.cn

the activities of antioxidant enzymes, as well as maintaining the cell membrane integrity, thereby prolonging their shelf life.

Key words: methyl jasmonate; fresh lotus seed; postharvest quality

莲子, 又称莲米、莲肉等, 是水生经济作物莲的种子, 也是我国重要的出口创汇特色农副产品之一。莲子营养全面, 包括淀粉、蛋白、矿物质和多种人体必需氨基酸等, 同时富含莲心碱、黄酮类、磷脂、超氧化物歧化酶等功能活性物质^[1-3], 兼具食用和药用价值, 已被列入药食同源的名单。目前, 随着我国乡村振兴的持续推进, 栽培高莲子产量的莲品种已经成为拓宽农民增收的重要渠道。授粉后 13~16 d 的莲子最具鲜食价值^[4], 此时莲子含水丰富, 处于快速膨大和物质积累阶段。鲜莲子作为夏季的当季水果, 饱满酥脆、口感清甜, 深受消费者的喜爱。然而, 鲜莲子的发育特征也是导致其采后代谢旺盛, 物质快速消耗, 口感急剧下降的重要因素。除此之外, 鲜莲子的采收集中在 7~9 月, 高温环境下水分丧失快, 进一步加速鲜莲子的品质衰退。鲜莲子采后品质快速衰退降低了莲子的营养价值, 制约鲜莲产业的发展。因此有效的保鲜手段是延缓鲜莲子采后品质恶化、延长货架期的关键步骤, 对提高莲子鲜食价值至关重要。现有研究表明 6- 苜氨基腺嘌呤^[5-7]、一氧化氮^[8]、1- 甲基环丙烯^[9,10]、氯吡苯脲^[11,12]、褪黑素^[13]等处理已被用于改善鲜莲子采后品质, 取得了较为理想的效果。

茉莉酸甲酯 (Methyl Jasmonate, MeJA) 为茉莉酸经甲酯后形成的环戊酮衍生物, 作为内源信号分子调节植物生长发育、诱导防御反应等过程^[14]。大量研究表明 MeJA 能有效提高果实采后抗氧化能力, 加快组织对活性氧 (ROS) 的清除能力, 推迟膜脂过氧化, 减轻细胞质膜被破坏的程度, 从而延缓组织衰老, 使果实保持更佳的采后品质^[15,16]。另外, 外源添加 MeJA 还可通过降低果实呼吸强度^[17]、减少营养物质消耗^[18]、维持细胞壁的完整度和高水平的能量供应^[19]、保持果实硬度^[20]、抑制果皮褐变^[21]、减轻果实冷害程度^[22,23]、提高果实抗病性^[24]、改善果实风味^[25]等方面延缓果蔬采后品质衰退, 达到延长货架期的目的。基于以上研究基础, 本实验用 100 $\mu\text{mol/L}$ MeJA 处理鲜莲子, 探究 MeJA 处理对鲜莲子采后品质的影响, 以期 MeJA 在鲜莲子采后保鲜的应用提

供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

莲 (太空莲) 材料取于实验基地 (孝感市孝南区朋兴乡)。实验当天选取成熟度基本一致、形状规则、无明显损伤的莲蓬进行采摘, 采后半小时带回实验室备用。MeJA 购买于武汉武昌区新思远实验耗材经营部, 其他试剂均为分析纯。

1.2 仪器与设备

FlexA-200 全波长酶标仪, 杭州奥盛仪器有限公司; 5424R 高速冷冻离心机, 德国 Eppendorf 公司; HH-4J 水浴锅, 常州恩培仪器制造有限公司; Vortex-2 涡旋仪, 上海沪析实业有限公司; CS-200 色度仪, 杭州彩谱科技有限公司; PHS-3C pH 计, 上海越平科学仪器有限公司; FA1004 电子天平, 上海舜宇恒平科学仪器有限公司; 佳能 LC-E8C 相机, 佳能 (中国) 有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 材料的处理

将莲子从莲蓬中剥离出, 除去损伤、未发育等残次品。随机选择 50 颗莲子作为一组, 浸泡在 3 L 100 $\mu\text{mol/L}$ MeJA 处理液中 1 h 的莲子为处理组, 蒸馏水浸泡相同时间的莲子为对照组。处理结束后莲子晾干水分, 塑料盒密封后放置恒温室中 (23 $^{\circ}\text{C}$), 每组三个生物学重复。取 0、2、4、6、8 d 不同时间点的材料用于拍照、称重和取样, 其中用于淀粉等生理数据测定的样品液氮速冻后超低温 (-80 $^{\circ}\text{C}$) 保存备用。

1.3.2 贮藏品质的测定

1.3.2.1 失重率的测定

采用称重法进行失重率的测定^[26]。分别测定放置 0、2、4、6、8 d 后莲子的质量, 计算失重率。

1.3.2.2 L^* 值的测定

随机选取 10 颗莲子, 使用 CS-200 色度仪进行 L^* 、 a^* 、 b^* 值测定, 取平均值为最终结果。

1.3.2.3 淀粉和可溶性糖含量的测定

淀粉和可溶性糖含量的测定参考曹健康等^[27]的方法。

1.3.3 生理指标的测定

使用试剂盒进行各项生理指标的测定，其中多酚、多酚氧化酶 (PPO)、过氧化氢 (H₂O₂) 使用分光光度法测定，结果分别以 mg/g、U/g 和 mmol/g prot 表示。丙二醛 (MDA) 使用微板法测定，结果以 nmol/g 表示。超氧化物歧化酶 (SOD) 使用 WST 微板法测定，结果以 U/g 组织表示。过氧化氢酶 (CAT) 使用钼酸铵法测定，结果以 U/mg prot 表示。过氧化物酶 (POD) 在酶标仪下测得，结果以 U/g 鲜样表示。

1.4 数据处理

采用 Excel 2010 软件进行数据处理和图表绘制，SPSS 22 进行单因素方差分析 (ANOVA) 和邓肯氏 (Duncan's) 差异分析，其中 * 表示显著性差异 ($P < 0.05$)，** 表示极显著性差异 ($P < 0.01$)。

2 结果与讨论

2.1 MeJA处理对鲜莲子外观的影响

鲜莲子外观直接影响消费者的购买欲望，如图 1a 所示，刚采摘的鲜莲子有光泽，呈翠绿色，随着放置时间的延长，其外观变化明显。色泽是评判鲜莲子采后外观品质的重要指标， L^* 表示明暗度，肖越等^[28]认为其可反映褐变程度，且与褐变程度成反比。图 1b 显示 CK 和 MeJA 组的 L^* 呈下降趋势，说明采后褐变是不可避免的现象。第 2 天和 4 天 CK 和 MeJA 组的 L^* 分别为 61.03 和 67.24，53.52 和 62.92 ($P < 0.05$)，表明 MeJA 处理可推迟鲜莲子采后褐变，特别是贮藏前 4 d，以上结果与其他水果中研究 MeJA 延缓褐变的结论相似^[21]。 a^* 表示红绿差，正值为红，负值为绿， b^* 表示黄蓝差，正值代表黄，负值代表蓝， a^* 和 b^* 的绝对值越大，颜色越深^[28]。如图 1c 和 1d 所示 CK 和 MeJA 组的 a^* 均为负值， b^* 均为正值，且经 MeJA 处理后鲜莲子的 a^* 和 b^* (除第 2 天外) 低于 CK ($P < 0.01$)，说明了 MeJA 有助于维持鲜莲子采后的绿色，抑制其黄色成分的加深，并且对 a^* 和 b^* 的影响主要在贮藏 4 d 后。综上所述，MeJA 能有效维持鲜莲子采后的外观品质。

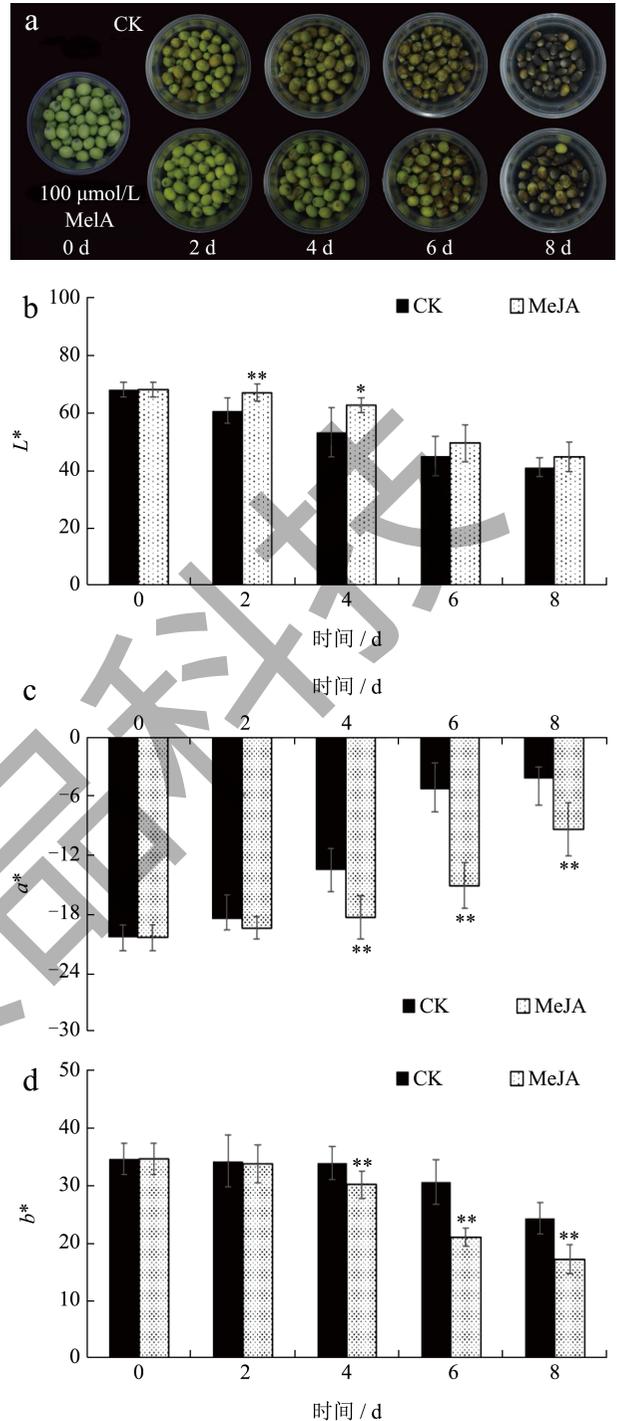


图 1 MeJA 处理对鲜莲子采后外观 (a)、 L^* (b)、 a^* (c) 和 b^* (d) 的影响

Fig.1 Effects of MeJA treatment on chromaticity of fresh lotus seed

注：同一时间不同处理下，* 表示显著水平 $P < 0.05$ ，** 表示极显著水平 $P < 0.01$ 。下图同。

2.2 MeJA处理对鲜莲子采后失重率的影响

整个贮藏期间，鲜莲子的失重率随时间延长持

续增加。由图2可知,MeJA组的失重率低于CK组,说明外源补充MeJA可以有效减少鲜莲子的物质消耗。采后第4天CK组和MeJA组重量呈现显著差异($P<0.05$),随着贮藏时间的延长,CK和MeJA组质量损失率差距逐渐增大,第8天CK的失重率达到43.78%,而MeJA组仅为28.97%。类似的现象在外源MeJA处理的冬枣、石榴、杏等都观察到^[15,17],以上现象的发生可能与MeJA降低果实采后乙烯的合成、抑制呼吸作用有关。鲜莲子采后离开母体,失去同化作用,持续的呼吸作用会导致内容物继续消耗。MeJA处理后显著减轻鲜莲子的采后失重,说明了MeJA能够通过减少物质消耗的方式提高采后品质。

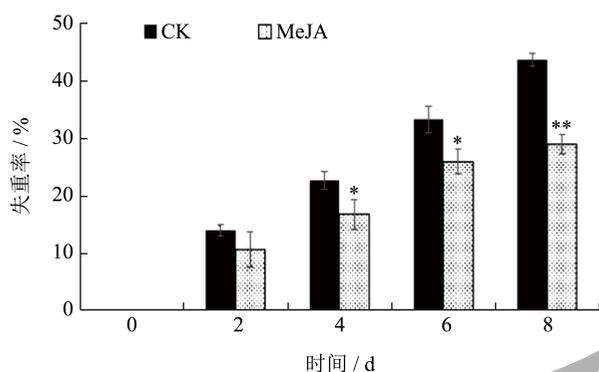


图2 MeJA处理对鲜莲子采后失重率的影响

Fig.2 Effects of MeJA treatment on weight loss rate of fresh lotus seed

2.3 MeJA处理对鲜莲子淀粉和可溶性糖的影响

淀粉和可溶性糖是鲜莲子中重要的营养成分,可影响鲜莲子的口感,因此是衡量其采后品质的重要指标之一^[2]。鲜莲子采后淀粉和可溶性糖的含量变化如图3所示。尽管CK组的4~6 d和MeJA组6~8 d的淀粉含量升高,但整体呈现淀粉含量先快速上升后下降的趋势。除了采后第6天,MeJA组的淀粉含量均高于CK组,其中贮藏的第2、4、8天内MeJA组淀粉含量分别比CK组高了2.6%、30.37%、34.41%。可溶性糖在莲子采后8 d内呈现先下降后上升的趋势,且MeJA组始终高于CK组,贮藏的第2、4、6、8天时MeJA组可溶性糖含量分别比CK组高了33.43%、48.04%、48.4%、43.34%。以上结果显示MeJA处理可提高鲜莲子采后淀粉和可溶性糖的含量,并且MeJA对可溶性含量增加的效果要比淀粉更显著。糖类是呼吸作用消耗的主要物质^[29],而MeJA能够有效的减少果实采

后呼吸强度,因此能够在一定程度上提高这类物质的积累。

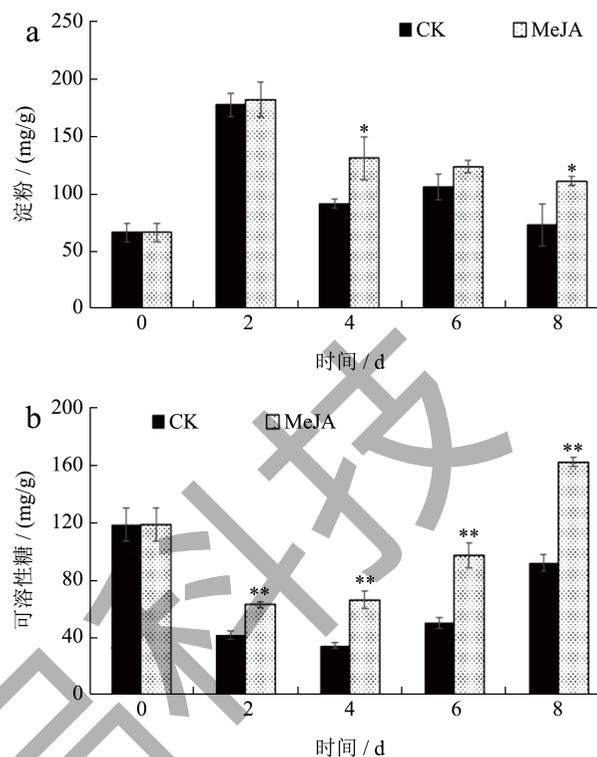


图3 MeJA处理对鲜莲子采后淀粉(a)和可溶性糖(b)的影响

Fig.3 Effects of MeJA treatment on starch (a) and soluble sugar (b) of fresh lotus seed

2.4 MeJA处理对鲜莲子采后总酚及PPO活性的影响

鲜莲子果皮中富含酚类及PPO,极易发生酶促褐变。褐变是鲜莲子采后常见的外观品质衰退现象。整体而言,4 d前MeJA组总酚及PPO低于CK组,且第4天时,MeJA组总酚含量和PPO酶活相比CK组下降了16.12% ($P<0.01$)、31.86% ($P<0.01$),差异达到最大值。由图4a可知,多酚含量呈现快速下降后缓慢上升再下降的趋势,第8天时CK组和MeJA组的含量分别只有采时的52.57%和63.43%。MeJA处理可在0~2 d时有效促进多酚的减少,2~4 d时抑制多酚的增加。由图4b可知,PPO活性呈下降趋势,MeJA处理可在0~4 d时有效抑制PPO的酶活,4~8 d时与CK组无显著差异。正常情况下多酚和PPO被分隔在细胞的不同区域,采后鲜莲子细胞膜结构受损,导致多酚和催化酶的区域性功能丧失,两者结合产生褐色物质,引起褐变现象,进而降低果实品质^[11,12]。有效的减少果实采后总酚含量或者抑制PPO活性都能减轻或者延缓褐变的发

生。以上结果说明了 MeJA 可通过减少底物含量和抑制催化酶活性的方式抑制酶促反应的强度,减少褐色物质的积累,从而提高鲜莲子采后的外观品质,这也与肖越等^[28]在莲藕中的研究结果类似。

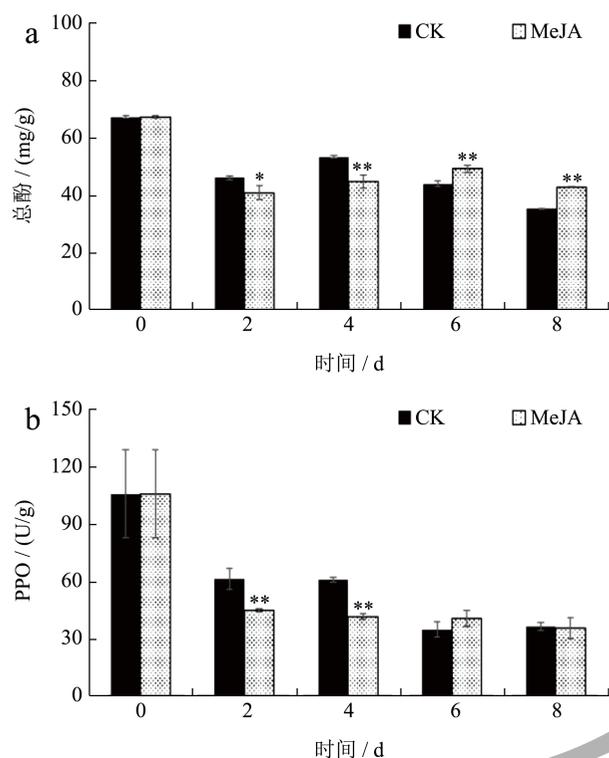


图4 MeJA处理对鲜莲子采后总酚(a)及PPO(b)的影响

Fig.4 Effects of MeJA treatment on phenols (a) and PPO (b) of fresh lotus seed

2.5 MeJA处理对鲜莲子MDA和H₂O₂和含量的影响

MDA是膜脂过氧化作用的产物,可反映细胞膜受损程度^[28]。由图5a可知,MDA持续增加,表明鲜莲子采后膜脂过氧化不断加重,细胞膜随着贮藏时间的延长损伤越严重。采后4d内,CK组的MDA快速上升,而MeJA组MDA则缓慢上升,第4天时其MDA含量只有CK组的48.8% ($P < 0.01$),说明了MeJA处理可有效减缓鲜莲子采后前4d内膜质的损伤,从而减轻鲜莲子的褐变。第4~8天内,MeJA组MDA含量仍然低于CK组,但差异并不显著。H₂O₂的大量积累会加快膜脂过氧化,加速细胞结构的破坏。由图5b可知,MeJA处理后能有效抑制鲜莲子采后4d内H₂O₂的积累。相比CK组,第2天和4天MeJA组H₂O₂含量分别下降了15.29%和15.24% ($P < 0.01$)。

果实结构的完整度与采后品质息息相关,而

MDA和H₂O₂的大量存在不利于细胞结构的维持,因此减少采后这类物质的积累对于维持果实品质非常重要。普红梅等^[26]发现预处理能减轻贮藏中芒果膜细胞的伤害,保持芒果贮藏中的色泽。喻文涛等^[29]通过采前脱落酸处理减少“井岗红糯”荔枝中MDA和H₂O₂的含量,有效控制荔枝的采后褐变和延缓采后荔枝腐烂的发生。本研究中MeJA处理减少了MDA和H₂O₂的积累,说明了MeJA可减轻膜脂的损害程度,更好的维持鲜莲子采后细胞结构的完整性。

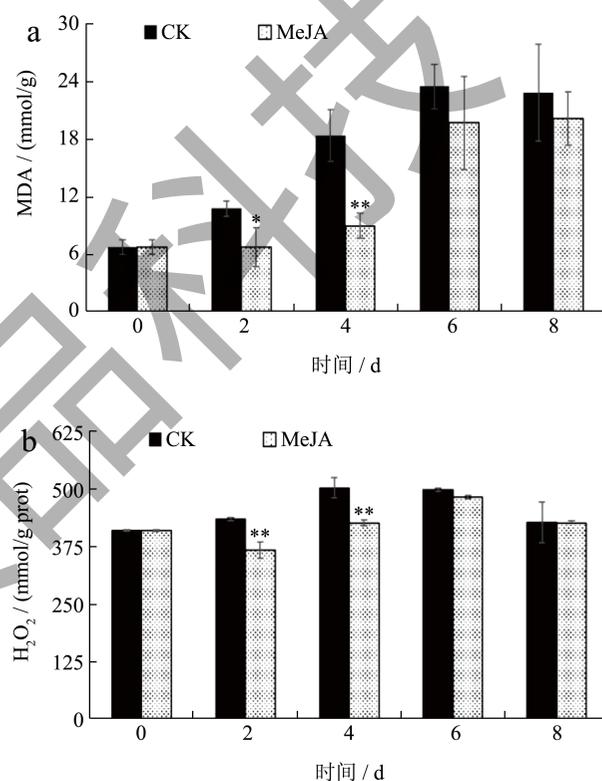


图5 MeJA处理对鲜莲子采后MDA(a)和H₂O₂(b)的影响

Fig.5 Effects of MeJA treatment on MDA (a) and H₂O₂ (b) of fresh lotus seed

2.6 MeJA处理对鲜莲子采后SOD、CAT和POD活性的影响

细胞中SOD、CAT和POD相互协作,清除细胞ROS等代谢物,减轻膜脂过氧化,从而达到延缓果蔬采后衰老的目的^[15]。由图6a可知,MeJA组中SOD活性采后快速上升,第2天时达到了最大值,其活性是CK组的1.17倍 ($P < 0.01$),尽管CK组中SOD活性缓慢上升至第8天,但都低于MeJA组。由图6b可知,与SOD类似,MeJA组的CAT活性在2d上升至最高值,其活性是CK组的1.86

倍 ($P<0.01$), CK 组的 CAT 活性持续上升至第 4 天, 但都显著低于 MeJA 组。由图 6c 可知, MeJA 组中 POD 活性显著高于 CK, 采后第 6 天时, 两组活性差异最大, MeJA 组是 CK 组的 2.11 倍 ($P<0.01$)。

增强抗氧化能力是提高果实采后品质, 延长货架期的重要手段。大量研究表明 MeJA 能够显著地提高 SOD、CAT、POD、APX 和 CAD 等酶活, 加快果实中 ROS 等物质的清除^[15]。与此同时, MeJA 还可以通过抗坏血酸、谷胱甘肽、酚类和类黄酮等抗氧化物质的增加, 增强果实采后抗氧化能力^[15,22]。这些结果表明 MeJA 处理可有效刺激鲜莲子采后 SOD、CAT 和 POD 的活性提高, 加快对 ROS 的清除, 从而减轻对细胞的伤害。

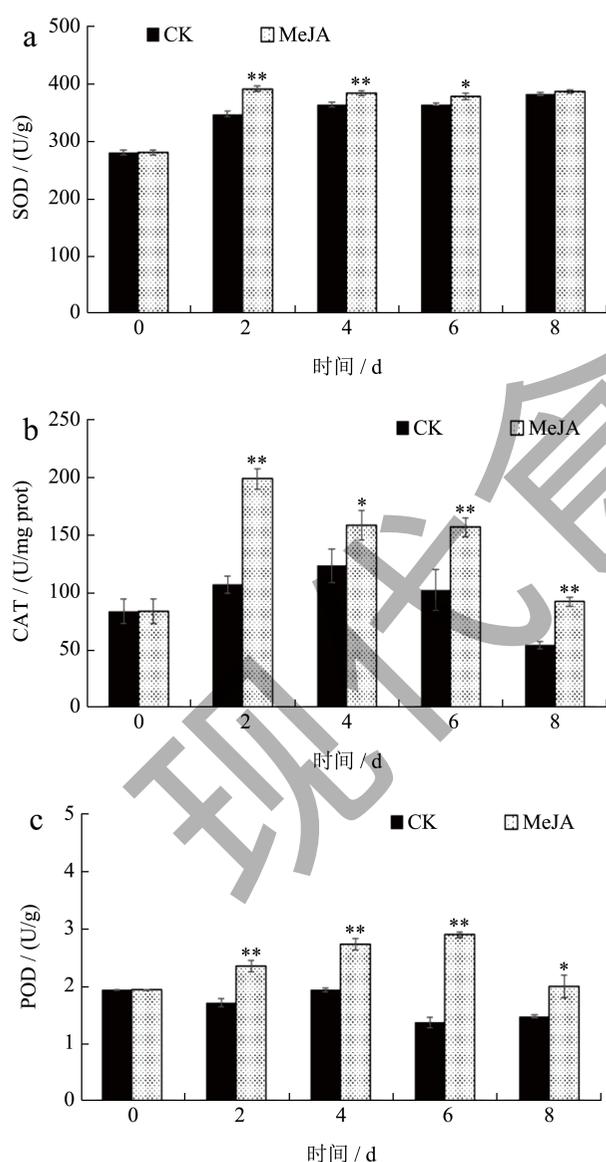


图 6 MeJA 处理对鲜莲子采后 SOD (a)、CAT (b) 和 POD (c) 的影响

Fig.6 Effects of MeJA treatment on MDA of fresh lotus seed

3 结论

100 $\mu\text{mol/L}$ MeJA 处理减少多酚含量并抑制 PPO 从而延缓鲜莲子采后褐变, 提高其外观品质, 同时 MeJA 还可减缓采后物质消耗, 维持子叶中较高的淀粉和可溶性糖含量, 提高鲜莲子采后的食用品质。另外, MeJA 处理提高了 SOD、CAT、POD 的酶活, 减少了细胞内 H_2O_2 和 MDA 含量, 这表明 MeJA 可通过提高抗氧化酶活性加快对 ROS 的清除, 减轻细胞膜脂过氧化从而维持细胞膜的完整性, 进而保持鲜莲子的采后品质。本研究为外源 MeJA 在鲜莲子上的保鲜应用提供了一定的理论依据。

参考文献

- [1] LIU Z W, ZHU H L, ZHOU J H, et al. Resequencing of 296 cultivated and wild lotus accessions unravels its evolution and breeding history [J]. *Plant Journal*, 2020, 104(6): 1673-1683.
- [2] SUN H, LI J J, SONG H Y, et al. Comprehensive analysis of AGPase genes uncovers their potential roles in starch biosynthesis in lotus seed [J]. *BMC Plant Biology*, 2020, 20(1): 457.
- [3] ZHANG Y, LU X, ZENG S X, et al. Nutritional composition, physiological functions and processing of lotus (*Nelumbo nucifera* Gaertn.) seeds: A Review [J]. *Phytochemistry Reviews*, 2015, 14(3): 321-334.
- [4] 许丽宾.不同成熟期莲子品质特性的研究与应用[D].福州:福建农林大学,2015.
- [5] LUO S F, HU H L, ZHANG L G, et al. Sugars in postharvest lotus seeds were modified by 6-benzylaminopurine treatment through altering related enzymes involved in starch-sucrose metabolism [J]. *Scientia Horticulturae*, 2017, 221: 73-82.
- [6] 罗淑芬,孙凤杰,胡花丽,等.6-苄基腺嘌呤对鲜莲子活性氧代谢及能量水平的影响[J].核农学报,2018,32(5):916-923.
- [7] 范传会,陈学玲,梅新,等.6-苄氨基腺嘌呤处理改善采后青莲子冷藏贮藏品质[J].现代食品科技,2019,35(6):177-183.
- [8] 王瑶,罗淑芬,胡花丽,等.外源NO处理对采后鲜莲子品质及乙烯代谢的影响[J].现代食品科技,2019,35(11):100-108.
- [9] LI P X, GAO J X, HU H L, et al. Postharvest senescence of fresh lotus pods and seeds is delayed by treatment with 1-methylcyclopropene [J]. *Annals of Applied Biology*, 2016, 169(3): 440-452.
- [10] LI P X, HU H L, LUO S F, et al. Shelf life extension of fresh lotus pods and seeds (*Nelumbo nucifera* Gaertn.) in

- response to treatments with 1-MCP and lacquer wax [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2017, 125: 140-149.
- [11] 孙凤杰,罗淑芬,颜廷才,等. 氯吡苯脲处理对莲子细胞壁多糖降解特性的影响[J]. *食品科学*, 2019, 40(5): 242-249.
- [12] 周宏胜,孙凤杰,罗淑芬,等. 氯吡苯脲处理对采后莲蓬保鲜效果的影响[J]. *食品科学*, 2018, 39(15): 225-232.
- [13] SUN L, LUO S F, HUALI H, et al. Melatonin promotes the normal cellular mitochondrial function of lotus seeds through stimulating nitric oxide production [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2022, 185: 111814.
- [14] WASTERNAK C, SONG S S. Jasmonates: biosynthesis, metabolism, and signaling by proteins activating and repressing transcription [J]. *Journal of Experimental Botany*, 2017, 68(6): 1303-1321.
- [15] WANG S Y, SHI X C, LIU F Q, et al. Effects of exogenous methyl jasmonate on quality and preservation of postharvest fruits: A review [J]. *Food Chemistry*, 2021, 353: 129482.
- [16] WANG H, WU Y, YU R P, et al. Effects of postharvest application of methyl jasmonate on physicochemical characteristics and antioxidant system of the blueberry fruit [J]. *Scientia Horticulturae*, 2019, 258: 108785.
- [17] 魏征,张政,魏佳,等. 茉莉酸甲酯雾化熏蒸对冬枣采后贮藏品质的影响[J]. *食品科技*, 2021, 45(1): 43-48.
- [18] BASWAL A K, DHALIWAL H S, SINGH Z, et al. Postharvest application of methyl jasmonate, 1-methylcyclopropene and salicylic acid extends the cold storage life and maintain the quality of 'Kinnow' mandarin (*Citrus nobilis* L. X *C. deliciosa* L.) fruit [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2020, 161: 111064.
- [19] WANG H B, CHENG X, WU C, et al. Retardation of postharvest softening of blueberry fruit by methyl jasmonate is correlated with altered cell wall modification and energy metabolism [J]. *Scientia Horticulturae*, 2021, 276: 109752.
- [20] 黎晓茜,龙友华,尹显慧,等. 茉莉酸甲酯处理对猕猴桃软腐病菌作用机制及果实品质的影响[J]. *食品科学*, 2019, 40(15): 239-248.
- [21] DESHI V, HOMA F, TOKALA V Y, et al. Regulation of pericarp browning in cold-stored litchi fruit using methyl jasmonate [J]. *Journal of King Saud University-Science*, 2021, 33(5): 101445.
- [22] 付安珍,左进华,王清,等. 茉莉酸甲酯处理对青圆椒采后冷害生理与营养品质的影响[J]. *食品科学*, 2021, 42(15): 213-219.
- [23] CHEN L, PAN Y F, LI H D, et al. Methyl jasmonate alleviates chilling injury and keeps intact pericarp structure of pomegranate during low temperature storage [J]. *Food Science and Technology International*, 2021, 27(1): 22-31.
- [24] WANG H B, KOU X H, WU C, et al. Methyl jasmonate induces the resistance of postharvest blueberry to gray mold caused by *Botrytis cinerea* [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2020, 100(11): 4272-4281.
- [25] CAI H F, HAN S, YUE M L, et al. The alleviation of methyl jasmonate on loss of aroma lactones correlated with ethylene biosynthesis in peaches [J]. *Journal of Food Science*, 2020, 85(8): 2389-2397.
- [26] 普红梅,王海丹,杨芳,等. 不同外源补充对西兰花采后贮藏品质的影响[J]. *现代食品科技*, 2022, 38(10): 162-169.
- [27] 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.
- [28] 肖越,祝梓淳,邓云,等. 不同包装对采后莲藕保鲜效果的比较[J]. *现代食品科技*, 2022, 38(7): 169-176.
- [29] 喻文涛,曲姗姗,李萌萌,等. 采前脱落酸处理对荔枝贮藏的保鲜作用[J]. *现代食品科技*, 2022, 38(10): 170-177.