

24-表油菜素内酯对茄子果实贮藏品质及抗氧化活性的影响

高 慧¹, 张宏军², 康丽娜¹, 程 妮¹, 曹 炜¹

(1 西北大学 化工学院食品科学与工程系, 西安 710069; 2 陕西省种子管理站, 西安 710021)

摘 要: 为了明确 24-表油菜素内酯 (EBR) 对茄子果实贮藏品质及抗氧化活性的影响, 以‘布利塔’茄子为试材, 研究了茄子果实冷藏过程贮藏品质和抗氧化活性相关指标的变化。结果显示: (1) 与对照相比, EBR 处理显著降低了茄子的冷害指数, 延缓了果实贮藏过程中呼吸强度的上升和果面硬度的下降, 明显抑制了茄子花萼变色, 促进了可溶性总糖的累积, 但对可滴定酸含量无明显影响。 (2) EBR 处理还诱导了茄子果实 3 种抗氧化酶 (SOD、CAT 和 APX) 活性的增加, 并降低了 H_2O_2 含量。研究表明, EBR 处理提高了茄子的耐贮性和贮藏品质, 这可能与维持了茄子果实较高的抗氧化活性有关。

关键词: 茄子; 油菜素内酯; 贮藏品质; 抗氧化活性

中图分类号: Q945.6⁺6

文献标志码: A

Effect of 24-epibrassionolide on the Postharvest Quality and Antioxidant Activity of Eggplant Fruit

GAO Hui¹, ZHANG Hongjun², KANG Lina¹, CHENG Ni¹, CAO Wei¹

(1 Department of Food Science and Engineering Northwest University, Xi'an 710069, China; 2 Shaanxi Seed Management Stations, Xi'an 710010, China)

Abstract: The present study aims to investigate the effect of 24-epibrassionolide (EBR) on the postharvest quality and antioxidant activity of eggplant fruit. With Brigitte eggplant fruits as material, the changes of chilling injury (CI), quality and antioxidant activity of eggplants were measured. Results showed that: (1) EBR treatment reduced CI index, inhibited respiration rate, and maintained tissue firmness of experimental samples compared with the control samples. The changes of calyx discoloration and total soluble sugar content of the eggplants were also significantly preserved by EBR treatment. However, EBR treatment showed no significant effect on titratable acid content. (2) The activities of SOD, CAT and APX in eggplant fruits during storage were also promoting by EBR, as well as lower content of H_2O_2 content. These results suggested that EBR improves storability and quality of eggplant fruit during cold storage, which might be due to the higher maintenance of antioxidant activity.

Key words: eggplant fruit; brassionolide; postharvest quality; antioxidant activity

茄子 (*Solanum melongena* L.) 是一种常见的果菜类蔬菜, 广泛种植于热带、亚热带地区。其果实富

含维生素、膳食纤维和植物营养素^[1]。这些营养成分赋予茄子多种健康促进功效, 如降血脂、保肝、抗

收稿日期: 2014-01-14; 修改稿收到日期: 2014-06-17

基金项目: 西北大学科研启动基金和陕西省电分析化学重点实验室开放基金 (201302)

作者简介: 高 慧 (1977—), 女, 博士, 讲师, 主要从事园艺产品采后生理及贮藏保鲜研究。E-mail: gaohui0815@nwu.edu.cn

氧化和抗癌等^[1-2],故倍受消费者青睐。当前,茄子仍以鲜销为主。常温下茄子极易失水萎蔫、花萼变色和腐烂变质,这使得其货架期被大大缩短。低温有利于果实的贮藏保鲜。但茄子冷敏性强,当贮藏温度低于7℃~10℃时,极易导致冷害的发生^[3-4]。因此,如何提高茄子果实的耐贮性和贮藏品质得到了大家的广泛关注。迄今,薄膜包装^[5]、氯化钙(CaCl₂)^[6]、1-甲基环丙烯(1-MCP)^[7]和热处理^[8]等外源处理方法已被用于茄子采后贮藏过程,并获得了较好的效果。

油菜素内酯是一类具有植物生长作用的物质,已被证实在植物生长和发育过程具有重要作用^[9]。同时,适当浓度的外源油菜素内酯处理还能有效缓解各种生物、非生物胁迫对植物造成的氧化损伤^[10]。随着研究的不断深入,近年来,油菜素内酯也被用于改善园艺产品采后的贮藏品质。Zhu等的研究表明,5 μmol/L的油菜素内酯处理能有效提高枣果实的抗病性,降低了果实的腐烂率^[11]。油菜素内酯处理还能显著抑制青椒^[12]、番茄^[13]果实采后冷害的发生,进而延长了果实的货架期。然而,迄今尚未见到将外源油菜素内酯用于茄子采后贮藏的相关研究报道。因此,本试验以24-表油菜素内酯(24-epibrassinolide, EBR,市售活性最强的一种油菜素内酯^[14])处理茄子果实,研究其对茄子贮藏品质和抗氧化活性的影响,以期为进一步丰富茄子保鲜实用技术提供一定理论依据和技术支持。

1 材料和方法

1.1 材料处理

以“布利塔”茄子品种为试材,于商业成熟度时采收,选择大小、成熟度基本一致,无机械损伤的果实为研究对象。将选出的果实随机分成2组,每组包含150个茄子。将其中一组用预实验筛选的10 μmol/L的EBR浸泡10 min作为处理组,另一组用蒸馏水浸泡10 min作为对照组。茄子晾干表面水分后,装入聚乙烯薄膜包装袋,每袋装10个茄子,重复3次。之后于1℃冷藏15 d。期间,分别于0、3、5、10和15 d定期取样测定各项理化指标。

1.2 测定指标与方法

1.2.1 冷害指数 参考 Concellón 等^[15]方法测定,并进行了适当调整。冷害按照发生的严重程度分为5级:0,无冷害;1,低冷害;2,轻度冷害;3,中度冷害;4,严重冷害。按下列公式计算冷害指数:

$$\text{冷害指数} = (\text{冷害级数} \times \text{果实数}) / \text{总果数}$$

1.2.2 花萼颜色 采用色差计法测定。以 L^* 值指示花萼亮度的变化, a^* 值指示花萼绿色的变化。

1.2.3 呼吸强度和果面硬度 呼吸强度采用静置法测定,单位为 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$;果面硬度采用GY-3硬度计测定,探头直径8 mm,单位表示为 $\text{kg} \cdot \text{cm}^{-2}$ 。

1.2.4 可溶性总糖和可滴定酸含量 可溶性总糖含量采用苯酚-硫酸法^[16]测定;可滴定酸含量采用酸碱滴定法测定,结果以柠檬酸百分数表示。

1.2.5 保护酶活性 (1)超氧化物歧化酶(SOD)活性 参考高俊凤方法^[17]测定。取1.0 g果肉,加入4 mL 50 mmol/L、pH 7.8的磷酸缓冲液(含1%聚乙烯吡咯烷酮),冰浴研磨后冷冻离心20 min(4℃、12 000 r/min),取上清液为粗酶提取液。反应体系包括:1.7 mL 50 mmol/L pH 7.8 磷酸缓冲液、0.3 mL 13 mmol/L 的甲硫氨酸、0.3 mL 75 μmol/L 的氮蓝四唑、0.3 mL 10 μmol/L 的乙二胺四乙酸、0.3 mL 10 μmol/L 的核黄素和0.1 mL 粗酶提取液,混匀后在4 000 lx光照下反应30 min,遮光终止反应后于560 nm下测定吸光值。以抑制氮蓝四光唑光化还原50%的酶量为1个酶活力单位(U),单位表示为 $\text{U} \cdot \text{g}^{-1}$ 。

(2)过氧化氢酶和抗坏血酸过氧化物酶活性 参考高俊凤等方法^[17]测定,并进行了适当调整。取1.0 g果肉,加入4 mL 50 mmol/L pH 7.5 的磷酸缓冲液(含5 mmol/L 二硫苏糖醇和2%聚乙烯吡咯烷酮),冰浴研磨后冷冻离心20 min(4℃、12 000 r/min),取上清液为粗酶提取液,用于过氧化氢酶(CAT)和抗坏血酸过氧化物酶(APX)活性的测定。CAT活性测定的反应体系包括:2.6 mL 0.1 mol/L pH 7.5 的缓冲液、0.1 mL 酶粗提液和0.3 mL 2 mmol/L 的 H_2O_2 ,摇匀后于240 nm处测定3 min内吸光值的变化,以每分钟 ΔOD_{240} 改变0.01为1个酶活力单位(U),表示为 $\text{U} \cdot \text{g}^{-1}$ 。APX活性测定的反应体系包括:2.5 mL 0.1 mol/L pH 7.5 的磷酸缓冲液(含0.1 mmol/L 乙二胺四乙酸、1 mmol/L 抗坏血酸和2%聚乙烯吡咯烷酮)、0.2 mL 酶粗提液和0.3 mL 2 mmol/L 的 H_2O_2 ,摇匀后于290 nm处测定3 min内吸光值的变化,以每分钟 ΔOD_{290} 改变0.01为1个酶活力单位(U),单位表示为 $\text{U} \cdot \text{g}^{-1}$ 。

1.2.6 过氧化氢含量 参考高俊凤方法^[17]测定。取1.0 g果肉,加6 mL 冷丙酮,冰浴研磨后冷冻离心20 min(4℃、12 000 r/min),取上清液用于过氧

化氢(H_2O_2)含量测定。 H_2O_2 反应混合物包括 0.5 mL 上清液、0.1 mL 5% 的硫酸钛、0.2 mL 浓氨水, 混匀反应 5 min 后离心 15 min, 沉淀以丙酮洗涤 3 次, 以消除色素干扰。最后将沉淀溶于 3 mL H_2SO_4 (2 mol/L) 溶液, 于 415 nm 处测定吸光值。以标准 H_2O_2 溶液制作标准曲线, 单位为 $\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$ 。

1.3 数据分析

所有指标均重复测定 3 次, 试验数据采用 Excel 进行计算和作图。应用 Origin 8.0 软件进行方差分析, 采用 Tukey 多重比较法检验差异显著性。

2 结果与分析

2.1 EBR 处理对茄子果实冷害指数、果面硬度及花萼颜色的影响

茄子果实低温贮藏易发生冷害, 并表现出果面不规则凹陷、花萼变色和果肉褐变等冷害症状。如图 1, A 所示, 低温贮藏的前 3 d, 对照和 EBR 处理果实均未发生冷害; 之后随贮藏时间延长, 对照果实的冷害指数急剧升高, 而 EBR 处理则显著抑制了果实冷害的发生 ($P < 0.05$); 在贮藏末期, EBR 处理果实的冷害指数仅为对照果实的 15%。这表明本试验中的 EBR 处理能有效提高茄子果实的耐冷性, 并

延缓冷害的发生时间。

同时, 果实果面硬度的高低在一定程度上可反映其品质的优劣程度。本研究中, 对照茄子果实的果面硬度随贮藏时间延长逐渐降低, 其在整个贮藏期内共损失约 52%; 与对照相比, EBR 处理果实的果面硬度损失主要发生在贮藏期的 5~15 d, 但整个贮藏期内, EBR 处理果实的果面硬度始终显著高于对照果实 (图 1, B, $P < 0.05$)。

另外, 花萼变色是茄子果实品质劣变的标志之一。在 $L^* a^* b^*$ 色值体系中, L^* 值越高、 a^* 值越小则花萼的亮度和绿色保持越完好。本研究中, 对照果实花萼的 L^* 值随贮藏时间延长逐渐降低, 其在第 15 天时较初始值降低约 21%; 与对照相比, EBR 处理果实的花萼 L^* 值则在贮藏前 3 d 内显著升高, 之后随贮藏时间延长逐渐降低; 在整个贮藏期内, EBR 处理果实花萼的 L^* 值始终显著高于对照 (图 2, A, $P < 0.05$)。同时, 伴随着花萼 L^* 值的降低, 对照和 EBR 处理果实的花萼 a^* 值均逐渐升高, 但 EBR 处理显著抑制了 a^* 值的变化率 ($P < 0.05$) 在贮藏末期时, EBR 处理果实花萼的 a^* 值 (-4.61) 较对照果实低约 18% (图 2, B)。以上结果表明 EBR 处理可有效保持茄子果实花萼的亮度和绿色。

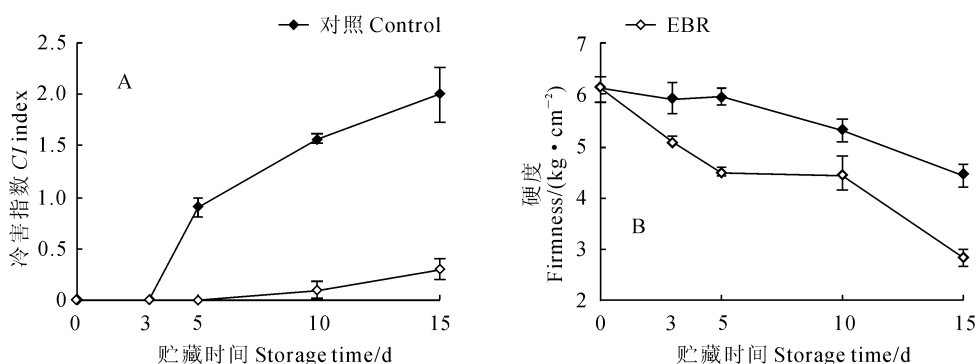


图 1 EBR 处理对茄子果实冷害指数和果面硬度的影响

Fig. 1 Effect of EBR on chilling injury index and firmness of eggplant fruit

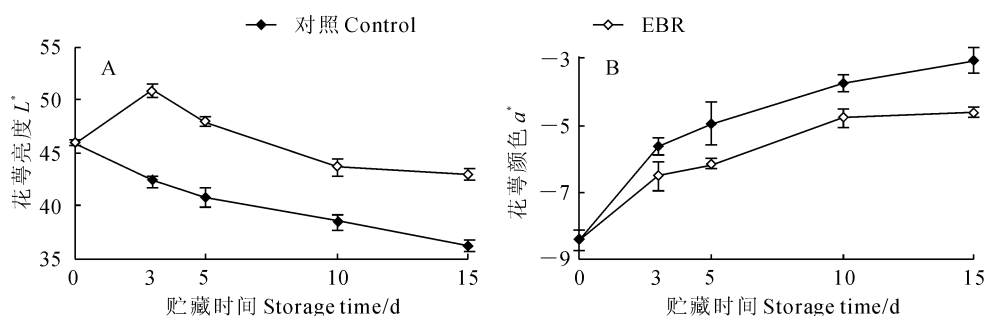


图 2 EBR 处理对茄子果实花萼 L^* (A) 和 a^* (B) 值的影响

Fig. 2 Effect of EBR on calyx L^* (A) and a^* (B) values of eggplant fruit

2.2 EBR 处理对茄子果实呼吸速率的影响

呼吸作用是果蔬采后最主要的生命活动,抑制果蔬的呼吸速率有利于贮藏品质的保持。如图 3 所示,在贮藏的 0~5 d 内,对照茄子果实的呼吸速率急剧升高,如在第 5 天时果实的呼吸速率已较采收当天增加了约 6 倍;之后,对照果实的呼吸速率有所降低,并在第 10~15 天时继续升高。EBR 处理茄子果实的呼吸速率与对照的变化趋势相似,但 EBR 处理显著抑制了茄子的呼吸速率($P<0.05$),其呼吸速率在整个贮藏过程中始终低于同期对照。

2.3 EBR 处理对茄子果实可溶性总糖和可滴定酸含量的影响

可溶性总糖是评价果蔬贮藏品质最重要的指标之一。如图 4,A 所示,EBR 处理显著促进了茄子果实可溶性总糖的累积($P<0.05$),并始终明显高于同期对照,且其间差异随处理时间延长逐步增大;在贮藏第 15 天时,EBR 处理果实的可溶性总糖含量($26.61\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$)是对照果实含量的 1.7 倍。有机酸是果实采后贮藏过程的一类呼吸底物。如图 4,B 所示,对照、EBR 处理茄子果实的可滴定酸含量在贮藏的 1~10 d 均未发生明显变化,仅在贮藏的 10~15 d 出现了显著的增加,且两者的可滴定酸含量间始终无显著性差异。这表明 EBR 处理对茄子果实可滴定酸含量无明显影响。

2.4 EBR 处理对茄子果实 SOD、CAT 和 APX 活性及果实 H_2O_2 含量的影响

SOD、CAT 和 APX 是植物细胞中重要的 3 种抗氧化酶。如图 5,A 所示,对照茄子果实的 SOD 活性在贮藏的 0~3 d 内急剧升高,之后迅速降低并在贮藏末期保持恒定;EBR 处理显著提高了果实的 SOD 活性,如其 SOD 活性最大值较对照果实高约 20%。与茄子果实的 SOD 活性变化不同,对照果实的 CAT 活性在贮藏 0~3 d 内急剧降低,其活性在

第 3 天时已较采收当天降低了 72%;之后,对照果实的 CAT 活性逐渐升高,但至贮藏末期时仍远低于采收当天。EBR 处理果实的 CAT 活性在 0~3 d 内亦显著降低,之后保持恒定,且整个贮藏期内 EBR 处理果实的 CAT 活性始终高于对照果实(图 5,B)。茄子果实 APX 活性的变化见图 5,C。其中,对照果实的 APX 活性在贮藏期的 0~10 d 内急剧下降,随后有所回升;而 EBR 处理有效抑制了这一降低过程,EBR 处理果实的 APX 活性仅在 0~5 d 呈下降趋势变化,之后迅速回升;整个贮藏期内 EBR 处理果实的 APX 活性始终高于对照果实,如贮藏末期 EBR 处理果实的 APX 活性约为对照的 1.5 倍。以上结果表明 EBR 处理显著诱导了茄子果实贮藏过程中 SOD、CAT 和 APX 活性($P<0.05$)。

H_2O_2 是植物组织活性氧代谢失调产物之一。如图 5,D 所示,对照茄子果实的 H_2O_2 含量随贮藏时间延长逐渐升高;在整个贮期期内,对照果实 H_2O_2 含量的增加量为 $0.87\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ 。与对照相比,EBR 处理显著抑制了茄子果肉组织 H_2O_2 的累积($P<0.05$);在整个贮藏过程中,EBR 处理茄子果实 H_2O_2 含量始终低于同期对照,如其在贮藏第 15 天时较对照果实降低 33%。

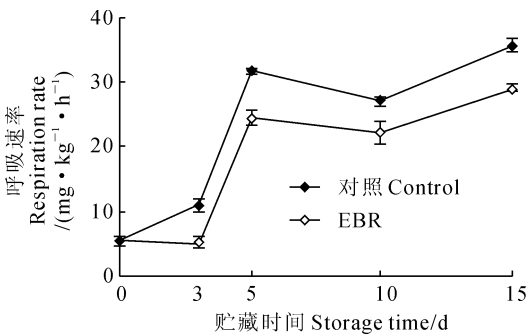


图 3 EBR 处理对茄子果实呼吸速率的影响
Fig. 3 Effect of EBR on respiration rate of eggplant fruit

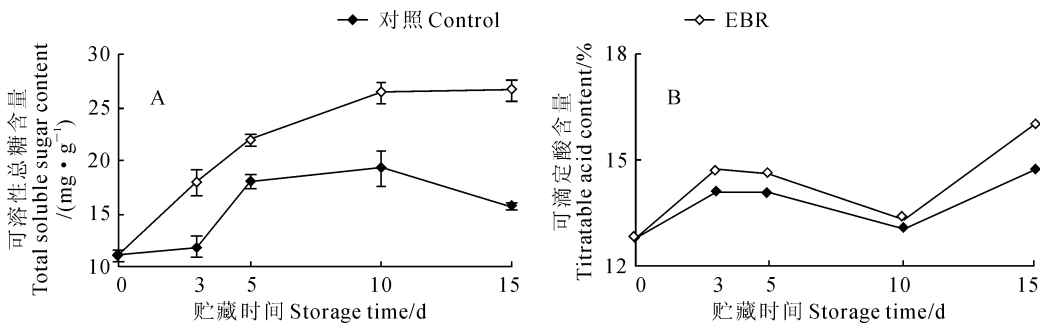


图 4 EBR 处理对茄子果实可溶性总糖(A)和可滴定酸含量(B)的影响
Fig. 4 Effect of EBR on the contents of total soluble sugars(A) and titratable acid(B) of eggplant fruit

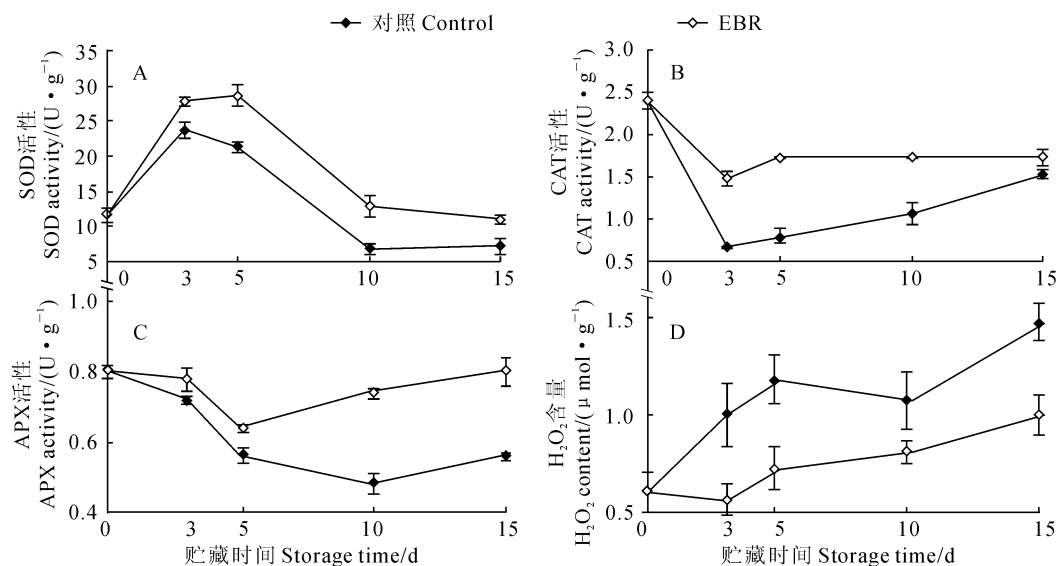


图5 EBR处理对茄子果实SOD(A)、CAT(B)和APX(C)活性及 H_2O_2 (D)含量的影响

Fig. 5 Effect of EBR on the activities of SOD(A), CAT(B) and APX(C) and H_2O_2 content(D) of eggplant fruit

3 讨论

茄子采后不耐贮藏,低温下又因易发生冷害而严重影响其商品价值。诸多研究表明,油菜素内酯(EBR)对低温逆境造成的氧化损伤具有保护作用,可延缓冷害的发生^[14,18-19]。本试验中,EBR处理也显著提高了茄子果实的耐冷性,这与前人在油菜素内酯提高青椒和番茄果实耐冷性的研究报道一致^[12-13]。因此,EBR处理具有提高茄子贮藏品质的潜力。

茄子商品品质的好坏与其花萼色泽直接相关^[7]。本研究表明,EBR处理有效保持了茄子花萼的亮度和绿色。Pongpraser等的研究发现低温条件下,香蕉果皮叶绿素降解相关的过氧化物酶活性异常升高是香蕉果皮褐变的原因之一^[20]。因此,我们推测EBR处理对茄子花萼颜色的保护作用可能是其抑制了过氧化物酶活性的结果。

油菜素内酯处理已被证实可显著抑制常温贮藏枣果实的呼吸强度^[11]。一般认为,抑制采后果蔬的呼吸速率对延缓果蔬采后成熟衰老进程有积极作用。本研究中,EBR处理显著抑制了茄子果实冷藏过程的呼吸速率,这意味着EBR处理有效抑制了贮藏过程茄子果实的代谢活性,有利于保持良好的贮藏品质。但Zaharah等的研究结果则认为外源油菜素内酯处理提前了常温贮藏芒果果实的呼吸跃变高峰并加速了软化进程^[21]。另一方面,呼吸速率的异常升高已被认为是果实遭受低温伤害的典型症状。因此,本研究中EBR处理对呼吸速率的抑制作用也

体现了其对茄子果实耐冷性诱导的积极作用。同时,EBR处理还有效保持了果实的果面硬度,这与前人在枣果实上的研究结果一致^[11]。1-MCP^[7]处理亦可促进茄子果实保持较高的硬度,这种有利的影响可归因于外源处理对茄子呼吸、乙烯代谢的抑制作用。可溶性糖是果实采后呼吸作用的主要底物。本研究中EBR处理果实具有较低的代谢活性,故降低了对可溶性糖的消耗。除作为呼吸底物,可溶性糖还因其抗氧化活性而对低温伤害具有一定保护作用^[20]。因此,EBR处理提高茄子果实耐冷性还与其促进可溶性总糖累积作用有关。

通常情况下,保持植物体内较高的抗氧化酶活性可减少活性氧的积累,延缓衰老^[22]。SOD、CAT和APX是植物体内重要的抗氧化酶。其中,SOD的主要作用是催化超氧阴离子歧化生成过氧化氢;CAT和APX则均能分解过氧化氢。SOD、CAT和APX活性的高低可一定程度上体现果实的耐藏性和成熟衰老程度。本研究中,对照茄子果实在贮藏3 d后即发生了冷害,低温伤害过程可导致组织内部累积大量活性氧自由基^[8],加之较低的抗氧化酶(SOD、CAT和APX)活性,最终致使冷害加剧、组织衰老和品质劣变;反之,EBR处理则通过激活SOD、CAT和APX活性而降低活性氧自由基的累积,维持了果实冷藏期间活性氧代谢的平衡,进而提高了茄子果实耐贮性和贮藏品质。Wang等^[12]的研究也表明外源油菜素内酯处理有效提高了青椒的抗氧化酶活性,进而降低了青椒的冷害发生率。

综上所述,EBR处理显著抑制了茄子果实冷害

的发生和花萼变色;有效降低了贮藏过程中呼吸强度的上升和果面硬度的下降;促进了可溶性总糖的累积,但对可滴定酸含量无明显影响;同时,EBR 处

理还诱导了茄子 SOD、CAT 和 APX 活性,从而提高了果实的耐贮性,并表现出较好的贮藏品质。

参考文献:

- [1] SINGH A P, LUTHRIA D, WILSON T, *et al.* Polyphenols content and antioxidant capacity of eggplant pulp[J]. *Food Chemistry*, 2009, 114: 955—961.
- [2] AKANITAPICHAT P, PHRAIBUNG K, NUCHKLANG K, Antioxidant and hepatoprotective activities of five eggplant varieties[J]. *Food Chemical and Toxicology*, 2010, 48: 3 017—3 021.
- [3] XI F(席 芳), YU T(余 挺), QIAN D M(钱冬梅). Studies on the physiology of chilling injury in eggplant(*Solanum melongena* L.)[J]. *Acta Horticulturae Sinica*(园艺学报), 1998, 25(3): 303—305(in Chinese).
- [4] FALLIK E, TEMKIN-GORODEISKI N, GRINBERG S, *et al.* Prolonged low-temperature storage of eggplants in polyethylene bags[J]. *Postharvest Biology Technology*, 1995, 5: 83—89.
- [5] WANG L J(王兰菊), SONG SH W(宋尚伟), HU Q X(胡青霞). Effects of different temperatures and modified atmosphere package on chilling injury and physiological changes during storage of eggplants[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*(华北农学报), 2003, 18(4): 23—25(in Chinese).
- [6] YU T(余 挺), XI Y F(席玛芳). Effects of CaCl_2 , AsA and GSH on inhibiting chilling-induced oxidative stress on eggplant(*Solanum melongena* L.) fruits[J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*(江西农业大学学报), 1997, 19(4): 66—70(in Chinese).
- [7] MASSOLO J F, CONCELL N A, CHAVES A R, *et al.* 1-Methylcyclopropene(1-MCP) delays senescence, maintains quality and reduces browning of non-climacteric eggplant(*Solanum melongena* L.) fruit[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2011, 59: 10—15.
- [8] ZHAO Y F(赵云峰), GU J Y(顾佳宇), YIN X J(尹学杰), *et al.* Effects of heat treatment on chilling injury and active oxygen metabolism of postharvest eggplant fruit[J]. *Journal of Yangzhou University*(Agricultural and Life Science Edition)(扬州大学学报·农业与生命科学版), 2011, 32(3): 78—82(in Chinese).
- [9] BAJGUZ A, TRETYN A. The chemical characteristic and distribution of brassinosteroids in plants[J]. *Phytochemistry*, 2003, 62: 1 027—1 046.
- [10] BAJGUZ A, HAYAT S. Effects of brassinosteroids on the plant responses to environmental stresses[J]. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2009, 47: 1—8.
- [11] ZHU Z, ZHANG Z, QIN G, *et al.* Effects of brassinosteroids on post harvest disease and senescence of jujube fruit in storage[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2010, 56: 50—55.
- [12] WANG Q, DING T, GAO LP, *et al.* Effect of brassinolide on chilling injury of green bell pepper in storage[J]. *Scientia Horticulturae*, 2012, 144: 195—200.
- [13] AGHDAM M S, ASGHARI M, FARMANI B, *et al.* Impact of postharvest brassinosteroids treatment on PAL activity in tomato fruit in response to chilling stress[J]. *Scientia Horticulturae*, 2012, 144: 116—120.
- [14] HU W H, WU Y, ZENG J Z, *et al.* Chilling-induced inhibition of photosynthesis was alleviated by 24-epibrassinolide pretreatment in cucumber during chilling and subsequent recovery[J]. *Photosynthetica*, 2010, 48: 537—544.
- [15] CONCELLÓN A, AN M C, CHAVES A R. Effect of low temperature storage on physical and physiological characteristics of eggplant fruit(*Solanum melongena* L.)[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2007, 40: 389—396.
- [16] ZHOU Y B(周跃斌), WANG W(王 伟), ZHOU X R(周向荣). Determination of polysaccharides in *Phyllostachys pubescens* leaves by phenol-vitriolic colorimetry[J]. *Modern Food Science and Technology*(现代食品科技), 2008, 24(2): 180—183(in Chinese).
- [17] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [18] YAN X H(闫小红), HU W H(胡文海), ZENG SH X(曾守鑫), *et al.* Effects of 24-epibrassinosteroids on the seed germination and seedling growth of pepper under low temperature stress[J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*(华中农业大学学报), 2012, 31(5): 563—568(in Chinese).
- [19] HUI ZH M(惠竹梅), WANG ZH ZH(王智真), HU Y(胡 勇), *et al.* Effects of 24-epibrassinolide on the antioxidant system and osmotic adjustment substance in grape seedlings(*V. vinifera* L.) under chilling stress[J]. *Scientia Agricultura Sinica*(中国农业科学), 2013, 46(5): 1 005—1 013(in Chinese).
- [20] PONGPRASERT N, SEKOZAWA Y, SUGAYA S, *et al.* A novel postharvest UV-C treatment to reduce chilling injury(membrane damage, browning and chlorophyll degradation) in banana peel[J]. *Scientia Horticulturae*, 2011, 130: 73—77.
- [21] ZAHARAH S S, SINGH Z, SYMONS G M, *et al.* Role of brassinosteroids, ethylene, abscisic acid and indole-3-acetic acid in mango fruit ripening[J]. *Journal of Plant Growth Regulation*, 2012, 31: 363—372.
- [22] LI Y H(李英华), YUAN H Y(袁海英), ZHANG H(张 辉), *et al.* Effect of postharvest 1-hexanol treatment on active oxygen metabolism and senescence of strawberry fruits[J]. *Food Science*(食品科学), 2010, 31(4): 272—275(in Chinese).