

油菜素内酯对辣椒果实贮藏及抗氧化能力的影响

单国雷^{1,3}, 陈飞², 袁凌云^{1,3}, 侯金锋^{1,3}, 汪承刚^{1,3*}

(1. 安徽农业大学园艺学院, 合肥 230036; 2. 泗洪县农业农村局, 泗洪 223900;

3. 安徽省皖江蔬菜产业技术研究院, 马鞍山 238200)

摘要:为探究油菜素内酯(BR)对辣椒果实贮藏效果及抗氧化能力的影响,采用浓度为1、10、20和30 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的24-表油菜素内酯(24-epibrassinolide, EBR)处理辣椒果实,然后分别在温度4 $^{\circ}\text{C}$ 和25 $^{\circ}\text{C}$,湿度70%~80%下贮藏,检测果实失重率、腐烂率和冷害指数以及最适EBR浓度处理下辣椒果实丙二醛(MDA)和总抗氧化能力的变化。研究表明,EBR处理浓度20 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$,温度4 $^{\circ}\text{C}$ 较适宜辣椒贮藏,能有效降低辣椒的失重率和腐烂率,且出现腐烂的时间延迟。在4 $^{\circ}\text{C}$ 低温下,较其他3种浓度的EBR处理,20 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理的辣椒冷害指数降低,出现冷害现象的时间延迟。与对照相比,外源最适EBR处理,有效抑制了辣椒果实MDA含量的积累,减缓了总抗氧化能力的下降,其中4 $^{\circ}\text{C}$ + 20 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ EBR处理,显著抑制了辣椒果实MDA含量的积累和总抗氧化能力的降低,较好地保持了辣椒果实中抗氧化酶的活性,保护细胞膜的完整性和功能性,减少营养的流失,维持辣椒的感官品质和营养品质,延长辣椒的贮藏时间。该研究为辣椒果实的贮藏保鲜提供新的参考与路径。

关键词:辣椒; 油菜素内酯; 贮藏; 丙二醛; 抗氧化

中图分类号: S641.3

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2021)05-0750-07

Effects of brassinolide on storage and antioxidant capacity of pepper fruits

SHAN Guolei^{1,3}, CHEN Fei², YUAN Lingyun^{1,3}, HOU Jinfeng^{1,3}, WANG Chenggang^{1,3}

(1. School of Horticulture, Anhui Agricultural University, Hefei 230036;

2. Agriculture and Rural Affairs Bureau of Sihong County, Sihong 223900,

3. Anhui Wanjiang Vegetable Industry Technology Research Institute, Maanshan 238200)

Abstract: In order to explore the effects of brassinolide (BR) on storage and antioxidant capacity, the pepper fruits were treated with 1, 10, 20 and 30 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 24-epibrassinolide (EBR), respectively, and then stored at 4 $^{\circ}\text{C}$ or 25 $^{\circ}\text{C}$ with the humidity of 70% - 80%. The weight loss rate, decay rate, chilling injury index and the changes of malondialdehyde (MDA) and total antioxidant capacity of pepper fruits under the optimal EBR concentration were monitored. The results showed that pepper fruits treated with 20 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ EBR and storage at 4 $^{\circ}\text{C}$ were more suitable, which could effectively reduce the weight loss rate and decay rate, and the decay time was delayed. Compared with the other 3 concentrations of EBR treatment and storage at 4 $^{\circ}\text{C}$, the chilling injury index of the peppers treated with 20 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ was decreased and the time of chilling injury was delayed. Compared with the control, exogenous optimal EBR treatment effectively inhibited the accumulation of MDA in pepper fruits, slowed down the decline of total antioxidant capacity. 4 $^{\circ}\text{C}$ + 20 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ EBR treatment significantly inhibited the accumulation of MDA in pepper fruits and the decrease of total antioxidant capacity, maintained the activity of antioxidant enzymes, protected the integrity and function of cell membrane, reduced the loss of nutrition, maintained the sensory and nutritional quality, and prolonged the storage time of the pepper fruits. This study provides a new reference and route for the storage and preservation of pepper fruits.

Key words: pepper; brassinolide; storage; malondialdehyde; antioxidation

收稿日期: 2021-08-10

基金项目: 安徽省自然科学基金(1608085QC48)资助。

作者简介: 单国雷, 助理研究员。E-mail: 52786389@qq.com

* 通信作者: 汪承刚, 研究员。E-mail: 542883697@qq.com

辣椒 (*Capsicum annuum* L.) 为一年生或多年生植物^[1], 原产中南美洲热带和亚热带地区, 是我国主要种植的蔬菜品种之一。辣椒含有丰富的维生素 C、胡萝卜素、碳水化合物、蛋白质等营养物质^[2-3], 其中维生素 C 含量在蔬菜中居首位。辣椒果实因含有辣椒素而具有辣味, 不仅能增强人的食欲, 还具有温胃驱寒、健脾、促消化等多种功效, 深受人们的喜爱。近年来, 随着大棚栽培和越冬栽培技术的推广应用, 鲜食辣椒实现周年生产, 辣椒产量不断增加, 而辣椒采后保鲜技术却不够完善。辣椒属非呼吸跃变型果实, 采后不仅容易发生失水萎蔫、衰老转红及腐烂, 且对低温敏感, 低温贮藏过程中容易发生冷害, 进而腐烂变质^[4], 严重制约着辣椒产业的发展。探寻辣椒适宜的贮藏保鲜技术已成为广大科技工作者的努力方向。有研究认为适宜低温可以延长辣椒贮藏时间^[5], 低温可以减缓辣椒呼吸速率、减少失重和腐烂率、保持硬度, 有效降低绿辣椒短期贮藏过程中的品质损失^[6]。此外, 采用 UV-C 处理^[7-8]、热处理、1-MCP 处理^[9]及壳聚糖涂膜处理^[10]等在一定程度上降低了果实腐烂指数, 延长辣椒果实的贮藏期。

24-表油菜素内酯 (24-epibrassinolide, EBR) 是植物生长和发育所必需的一种新型植物激素^[11], 广泛存在于植物的花粉、茎、种子和叶等器官内^[12], 已被应用于提高果蔬幼苗抗性及果蔬产品采后保鲜中。Kang 等^[13]研究发现 EBR 处理能提高低氧胁迫下黄瓜根系中抗氧化酶活性, 降低 ROS 含量, 增强黄瓜抗低氧胁迫的能力。在低温贮藏环境中, EBR 处理有利于提高茄果实的耐冷性^[14]。为探究 EBR 对不同贮藏温度下辣椒果实贮藏期抗氧化能力及贮藏品质是否产生影响, 作者以马鞍山和县地区栽种的 4 个辣椒品种 ‘徽椒 7 号’、‘徽椒 8 号’、‘徽椒 18 号’ 和 ‘好农 11 号’ 为试验材料, 研究了不同浓度 EBR 处理后, 分别在 4 °C 和 25 °C 温度下贮藏, 测定贮藏期辣椒果实失重率、腐烂率和冷害指数等指标的变化, 筛选出较适宜的辣椒贮藏处理组合, 并进一步研究最适 EBR 浓度处理辣椒果实抗氧化的机理, 以期对辣椒采后贮藏保鲜提供理论支撑。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本试验选取的 4 个辣椒品种 ‘徽椒 7 号’、‘徽椒 8 号’、‘徽椒 18 号’ 和 ‘好农 11 号’, 于 2018 年 8 月初在马鞍山和县科技示范园塑料大棚进行种植, 10 月中下旬选取绿熟期的辣椒, 采收后放在泡

沫箱中, 立即运回安徽农业大学生物科技楼, 在 25 °C 室内环境条件下放置 1 h, 以去除田间热量, 挑出果实中的伤果、病果, 从剩余辣椒果实中选择形状大小相近、颜色均匀、成熟度一致的辣椒果实进行试验处理。

1.2 试验方法

1.2.1 试验设计 用自来水清洗果实表面泥土等杂物; 再用 1% 的次氯酸钠溶液浸泡清洗, 去除辣椒表面细菌、微生物等病原有害物质; 最后用纯水进行冲洗, 去除果实表面的次氯酸钠残留液, 清洗后的果实在室内自然风干。每个辣椒品种分成 4 组, 每组 60 个辣椒。

EBR 浓度处理: 将分好组的辣椒分别放入容器中, 把配制好的 1、10、20 和 30 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 EBR 溶液依次倒入容器中, 隔 5 min 轻轻翻动辣椒 1 次, 浸泡 20 min。

温度处理: 将 4 个不同浓度处理的辣椒均匀的分成 2 组, 每组 30 个辣椒, 分别放置在 (4 ± 1) °C、 (25 ± 1) °C, 70%~80% RH 的两个温度下贮藏, 分别于第 2、4、6、8、10、12、14、16 和第 18 天, 取样测定辣椒失重率、腐烂率和冷害指数。

指标测定: 经试验筛选出最适宜 4 种辣椒果实贮藏的 EBR 处理浓度, 再用最适 EBR 处理浓度对 4 个品种辣椒进行处理, 在 (4 ± 1) °C 和 (25 ± 1) °C 条件下贮藏, 以不添加 EBR 为对照, 分别于贮藏第 0、3、6、9、12、15、18 和第 21 天取样测定辣椒果实中丙二醛含量和总抗氧化能力的变化。

1.2.2 冷害指数的测定 参照王兰菊等^[15]方法, 根据果面褐变面积大小, 将果实冷害级别划分为 0 级、1 级、2 级、3 级和 4 级, 分别代表无冷害 (0%)、轻度冷害 (0~25%)、中度冷害 (25%~50%)、严重冷害 (50%~75%) 和极严重冷害 (75%~100%) 5 个等级。冷害指数 (CI) = $\sum (ni \times i) / N$; 式中: ni 代表发生冷害的果实个数, i 代表冷害级别, N 代表果实总数。

1.2.3 腐烂率和失重率的测定 参照许惠金兰等^[16]方法, 腐烂率计算参照公式 (1) 计算:

$$\text{腐烂率}/\% = (\text{腐烂果数} / \text{总果实数}) \times 100 \quad (1)$$

失重率按照理论公式 (2) 计算:

$$\text{失重率}/\% = (\text{贮藏前果实重量} - \text{贮藏后果实重量}) / \text{贮藏前果实重量} \times 100 \quad (2)$$

1.2.4 丙二醛含量的测定 丙二醛含量的测定参照 Liu 等的方法^[17]。取 0.2 g 样品, 加入 2 mL 10% 的三氯乙酸 (TCA) 溶液, 冰浴研磨后 12 000 $\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$ 低温离心提取 10 min。取 1.5 mL 上清液加入 1.5

mL 0.67% 硫代巴比妥酸 (TBA), 封口沸水浴 15 min, 迅速冷却至室温后再在 $10\ 000\ \text{r}\cdot\text{min}^{-1}$ 低温离心 10 min。取上清液在 450 nm、532 nm 和 600 nm 波长下测定吸光值。

1.2.5 总抗氧化能力的测定 使用 Solarbio 试剂盒 (Cat # BC1310, Beijing Solarbio Science & Technology Co., Ltd., China) 测量总抗氧化能力。

1.3 数据分析

试验数据采用 Prism 软件制图, 用 SPSS20.0 软件进行统计分析, 显著性水平设为 0.05。

2 结果与分析

2.1 不同浓度 EBR 处理对辣椒失重率的影响

辣椒在采后贮藏过程中, 由于呼吸作用和蒸腾作用的共同影响, 果实会发生失重现象。温度是影

响辣椒果实采后失重重要因素之一。低温可以有效抑制果实的呼吸作用和蒸腾作用, 延缓果实衰老, 延长贮藏期^[18]。由图 1 可知, 在 25 °C 条件下贮藏, 4 个辣椒品种的失重率均较高, ‘徽椒 7 号’和‘好农 11 号’在 $10\ \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 、‘徽椒 8’在 $1\ \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 、‘徽椒 18’在 $30\ \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 浓度处理下, 辣椒失重率较高(图 1(a)、(c)、(e)和(g)), 最高失重率分别为 8.85%、3.68%、4.43% 和 3.89%。与其他处理浓度相比, 在 $20\ \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ EBR 处理下, ‘徽椒 7 号’、‘徽椒 18 号’和‘好农 11 号’ 3 个辣椒品种失重率均为最低, 分别为 5.46%、4.04% 和 3.28%, 表明在 25 °C 的贮藏温度下, $20\ \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ EBR 处理能够有效降低辣椒的失重率。从图 1(b)、(d)、(f)和(h)可以看出: 在 4 °C 条件下贮藏, 辣椒的失重率均较低, ‘徽椒 7 号’和‘徽椒 18 号’在 $10\ \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ EBR 处理下, 辣椒失

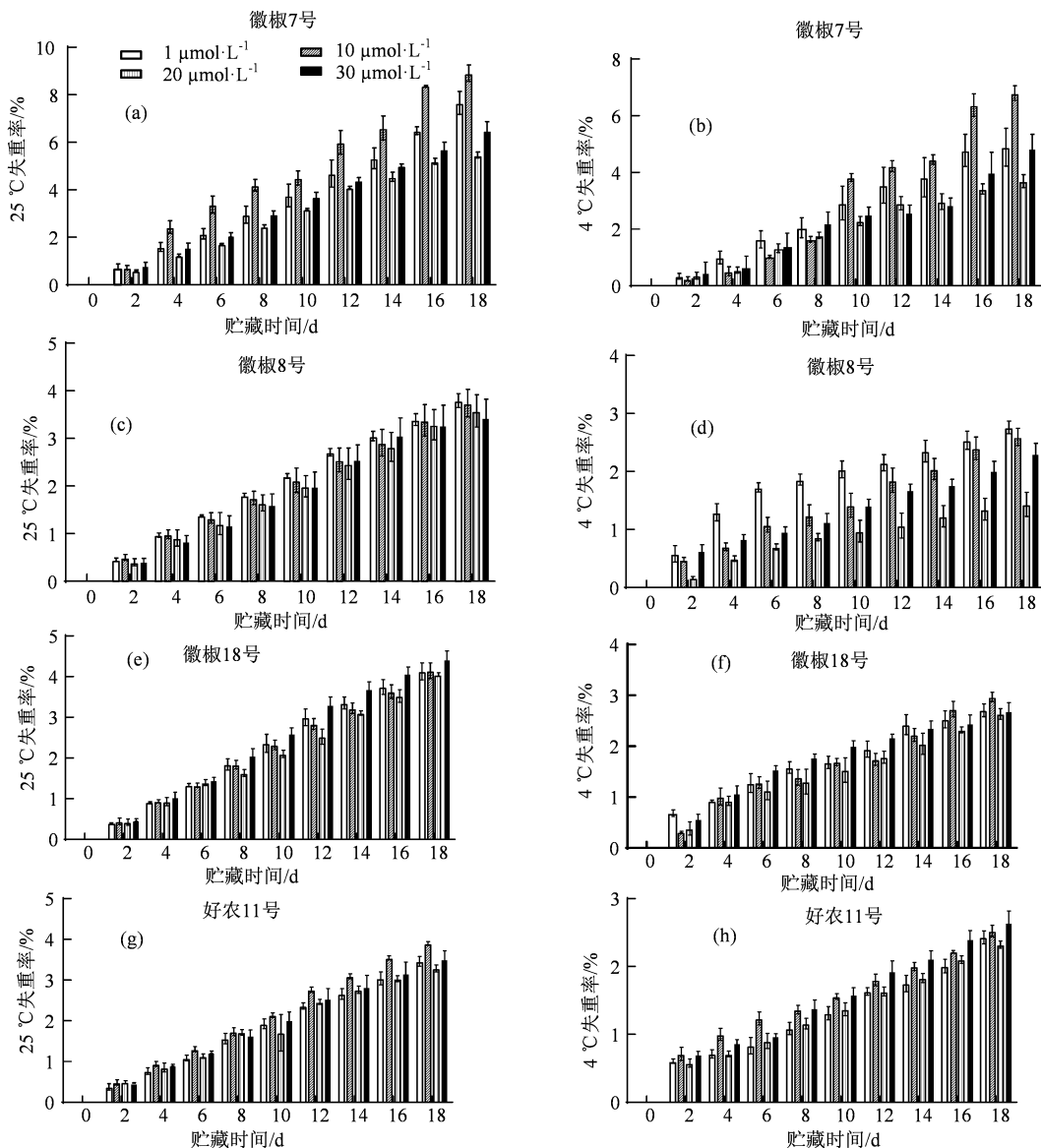


图 1 不同浓度 EBR 处理对辣椒失重率的影响

Figure 1 Effects of different concentrations of EBR on the weight loss rate of pepper fruits

重率较高; ‘徽椒 8’ 和 ‘好农 11 号’ 分别在 1 和 30 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理下, 辣椒失重率最高; 4 个辣椒品种中 20 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ EBR 处理, 辣椒失重率均为最低, 分别为 3.68%、1.43%、2.63% 和 2.32%。与 25 $^{\circ}\text{C}$ 贮藏相比, 在 4 $^{\circ}\text{C}$ 贮藏环境下, 不同浓度 EBR 处理,

4 个品种辣椒的失重率均降低, 且 20 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ EBR 处理辣椒失重率降低更显著。许蕙金兰等^[16]研究表明, 与 5、10 和 25 $^{\circ}\text{C}$ 相比, 0 $^{\circ}\text{C}$ 低温贮藏有利于延缓葡萄果实的失重。

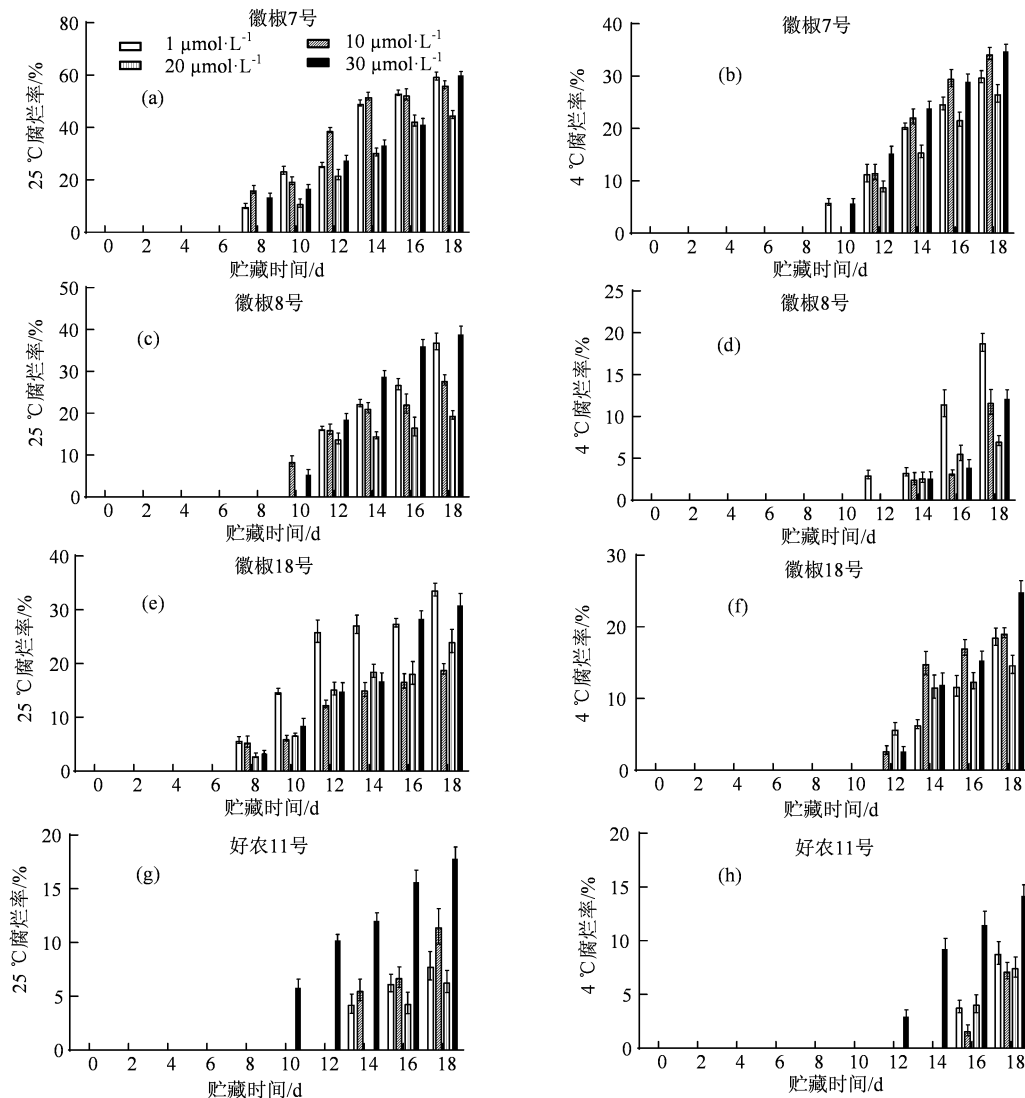


图 2 不同浓度 EBR 处理对辣椒腐烂率的影响

Figure 2 Effects of different concentrations of EBR on decay rate of pepper fruits

2.2 不同浓度 EBR 处理对辣椒腐烂率的影响

由图 2 可知, 在辣椒采后贮藏过程中, 随着时间的推移, 腐烂率逐渐增加。在 25 $^{\circ}\text{C}$ 贮藏下, 4 个品种辣椒从第 8 天开始出现不同程度腐烂。贮藏的第 18 天, 30 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ EBR 处理下的 ‘徽椒 7 号’、‘徽椒 8 号’ 和 ‘好农 11 号’ 辣椒腐烂率最高, 1 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ EBR 处理 ‘徽椒 18 号’ 辣椒腐烂率最高, ‘徽椒 7 号’、‘徽椒 8 号’、‘徽椒 18 号’ 和 ‘好农 11 号’ 最高腐烂率约分别为 60.04%、38.71%、34.13% 和 17.93%, 20 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ EBR 处理下的 ‘徽椒 7 号’、‘徽椒 8 号’ 和 ‘好

农 11 号’ 辣椒的腐烂率最低, 分别为 44.63%、19.62% 和 6.32%, 10 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ EBR 处理下的 ‘徽椒 18 号’ 辣椒的腐烂率最低, 为 24.34%; 较贮藏于 25 $^{\circ}\text{C}$ 下, 贮藏于 4 $^{\circ}\text{C}$ 下, 不同浓度 EBR 处理的辣椒腐烂率均降低, 且出现腐烂的时间延迟, 贮藏第 10 天开始出现腐烂现象。蓬桂华等^[19]的研究结果也表明, 与 CK (常温) 相比, 7、9 与 11 $^{\circ}\text{C}$ 低温处理均能有效抑制辣椒果实的后熟和腐烂, 其中以 7 $^{\circ}\text{C}$ 处理效果最为明显。在 20 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ EBR 处理下, ‘徽椒 7 号’ 和 ‘徽椒 18 号’ 第 12 天、‘徽椒 8 号’ 第 14 天、‘好农 11 号’ 第 16 天开始出

现腐烂。贮藏第 18 天, 20 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ EBR 处理的辣椒腐烂率均最低, 分别为 26.71%、7.12%、14.62% 和 8.21%。结果表明, 不同 EBR 浓度处理, 较低的贮藏温度能够显著降低采后辣椒的腐烂率, 且适宜浓度的 EBR 处理能够明显延缓果实腐烂速度。李园园等^[20]研究发现, 5 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ EBR 处理能有效降低草莓果实采后贮藏过程中的腐烂率。

2.3 不同浓度 EBR 处理对辣椒冷害指数的影响

4 $^{\circ}\text{C}$ 条件下贮藏, 不同浓度的 EBR 处理对辣椒冷害指数见图 3。由图 3 可知, 随着贮藏时间的延长, 辣椒果实发生冷害症状越来越明显。‘徽椒 7 号’在贮藏第 10 天, 1 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理的辣椒发生冷害现象, 其他 3 种浓度处理的辣椒在第 12 天才出现冷害现象, 而 20 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理的辣椒冷害指数明显偏低。‘徽椒 8 号’在贮藏第 10 天, 1 和 30 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理的辣椒发生冷害现象, 贮藏第 18 天, 不同浓度 EBR 处理的辣椒冷害指数分别为 29.00%、28.67%、21.70%

和 32.87%, 20 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理的辣椒冷害指数最低。‘徽椒 18 号’在贮藏第 8 天, 1 和 30 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理的辣椒开始出现冷害现象, 而 20 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理的辣椒在第 12 天才开始出现冷害现象, 在贮藏第 18 天, 不同浓度 EBR 处理的辣椒冷害指数分别为 31.81%、25.62%、20.5% 和 31.58%, 20 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理的辣椒冷害指数降低 19.98%~35.56%。‘好农 11 号’在贮藏第 14 天, 1 和 30 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理的辣椒开始出现冷害现象, 贮藏第 18 天, 不同浓度 EBR 处理的辣椒冷害指数分别为 8.67%、6.62%、6.45% 和 12.27%。与‘徽椒 7 号’、‘徽椒 8 号’和‘徽椒 18 号’相比, ‘好农 11 号’的冷害指数显著偏低, 且出现冷害现象的时间较晚。结果表明: 在低温环境下贮藏, 20 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 EBR 处理可以减轻辣椒果实受冷害影响, 从而减少辣椒的损失, 提高经济效益。张瑞杰等^[21]研究发现在低温贮藏过程中, 用 0.9 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ EBR 溶液浸泡杏果实处理, 能显著降低其冷害指数。

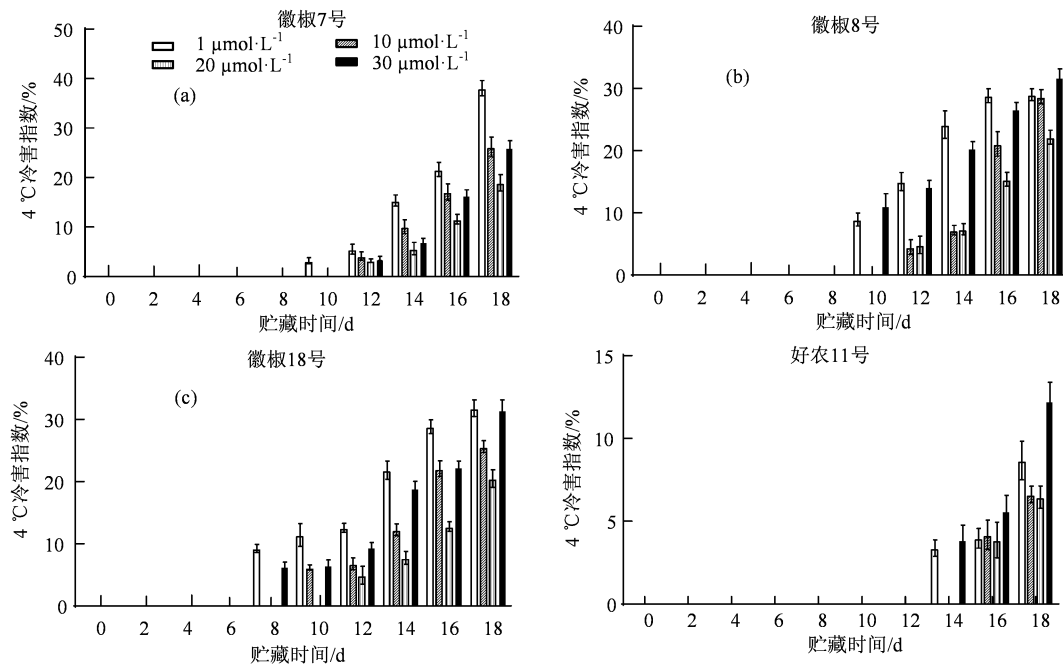


图 3 不同浓度 EBR 处理对辣椒冷害指数的影响

Figure 3 Effects of different concentrations of EBR on chilling injury index of pepper fruits

2.4 最适 EBR 浓度处理对丙二醛含量的影响

辣椒在贮藏过程中进行呼吸作用, 产生活性氧 (ROS), 而活性氧的积累导致 MDA 含量上升, MDA 是膜脂过氧化作用的最终产物, 其含量反应膜脂氧化的程度^[22-23]。由图 4 可知, 4 个辣椒品种在不同处理下, 其辣椒果实 MDA 含量随贮藏时间的延长而逐渐上升, 表明植物细胞内的活性氧含量逐渐增加, 膜脂过氧化程度逐渐加重。‘徽椒 7 号’在贮藏第 21 天, 不同处理的 MDA 含量大小为 25 $^{\circ}\text{C}$ >

25 $^{\circ}\text{C}$ + EBR > 4 $^{\circ}\text{C}$ > 4 $^{\circ}\text{C}$ + EBR, 对应的 MDA 含量分别为 4.46、3.58、3.48 和 3.00 $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ (FW), 较初始值分别上升 2.26 倍、1.86 倍、1.78 倍和 1.40 倍。‘徽椒 8 号’、‘徽椒 18 号’在贮藏前 6 d MDA 含量变化趋势基本一致, 贮藏第 21 天, 4 $^{\circ}\text{C}$ + EBR 处理的辣椒 MDA 含量显著低于其他 3 种处理。‘好农 11 号’在贮藏第 21 天, 不同处理的 MDA 含量均达到最大值, 分别为 4.42、3.85、3.96 和 3.47 $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ (FW)。结果表明, 与对照相比, 添加 EBR 对 4 种

辣椒果实 MDA 含量的积累均有一定的抑制作用, 在贮藏中后期, 4 °C + EBR 处理的 MDA 含量显著低于其他处理, 这说明低温下, 外源 EBR 处理可以较好地抑制辣椒果实 MDA 含量的增加, 维持细胞膜的完整性, 减少营养的流失, 从而保持辣椒的感

官品质和营养品质, 延长辣椒的贮藏时间。研究结果与 Liu 等^[24]采用外源油菜素内酯对控制鲜食葡萄灰霉病和保持采后品质的作用研究结果基本一致。Yuan 等^[25]研究结果也表明 EBR 处理可以显著降低黄瓜干旱胁迫下 MDA 的含量。

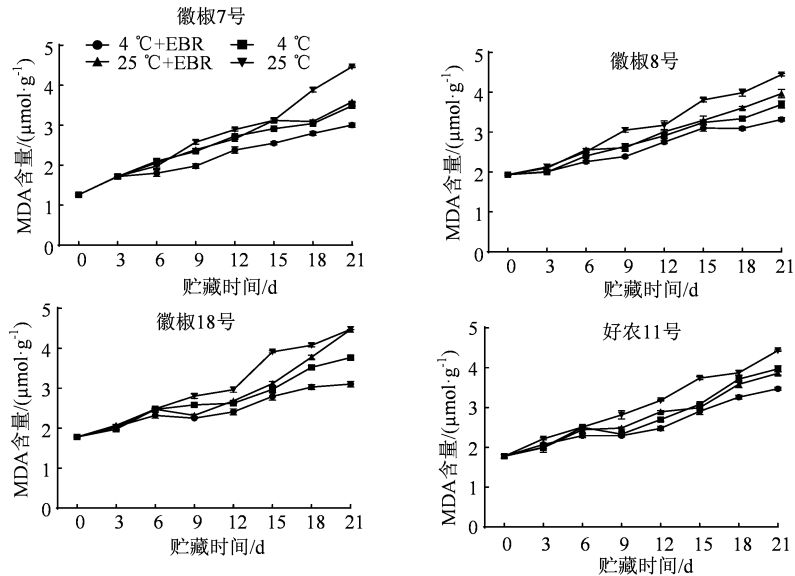


图 4 不同处理条件下 4 种辣椒果实中丙二醛含量的变化

Figure 4 Changes of malondialdehyde content in four pepper fruits under different treatment conditions

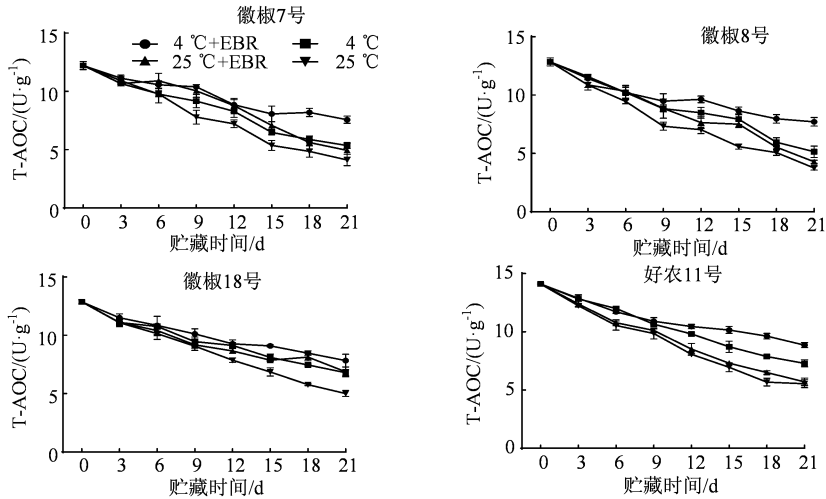


图 5 不同处理条件下 4 种辣椒果实中总抗氧化能力的变化

Figure 5 Changes of total antioxidant capacity in four pepper fruits under different treatment conditions

2.5 最适 EBR 浓度处理对总抗氧化能力的影响

由图 5 可知, 随着贮藏时间的延长, 4 个辣椒品种的总抗氧化能力均呈下降趋势, ‘徽椒 7 号’在贮藏第 9 天后, 不同处理辣椒总抗氧化能力差别明显增大, 在贮藏第 21 天, 4 °C + EBR 处理的辣椒总抗氧化能力明显高于另外 3 种处理, 总抗氧化能力从高到低为 4 °C + EBR > 4 °C > 25 °C + EBR > 25 °C, 从初始的 12.21 U·g⁻¹ 分别下降至 7.56、5.36、4.94 和

4.11 U·g⁻¹, 分别下降 38.08%、56.1%、59.54% 和 66.33%。‘徽椒 8 号’总抗氧化能力降低趋势和 ‘徽椒 7 号’相似, ‘徽椒 18 号’和 ‘好农 11 号’在贮藏第 12 天总抗氧化能力开始有明显的差别。‘徽椒 8 号’、‘徽椒 18 号’和 ‘好农 11 号’贮藏第 21 天, 4 °C + EBR 处理总抗氧化能力均最高, 分别为 7.70、7.82、8.85 和 7.29 U·g⁻¹。表明低温贮藏, 外源 EBR 处理对辣椒果实总抗氧化能力的下

降具有较好地抑制作用,可以较好地保持辣椒果实中抗氧化酶的活性,减少细胞组织损伤,延缓果实衰老的速度。这与谢琳淼等^[26]研究中发现喷施油菜素内酯可大幅提高蓝莓果实的抗氧化能力的结果基本一致。

3 结论

筛选出 $20 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 浓度 EBR 处理, $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 环境温度较适宜辣椒贮藏,果实腐烂率、失重率均明显低于其他 3 种 EBR 浓度处理,且出现腐烂的时间延迟。 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下贮藏, $20 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 浓度 EBR 处理,辣椒果实冷害指数最低,出现冷害现象的时间延迟,降低了辣椒的损失,提高了辣椒种植的经济效益。在辣椒贮藏过程中,随贮藏时间的延长,4 个辣椒果实 MDA 含量逐渐上升,总抗氧化能力降低,与对照相比,外源最适浓度 ($20 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$) EBR 处理,有效抑制了辣椒果实 MDA 含量的积累,减缓了总抗氧化能力的下降,其中 $4\text{ }^{\circ}\text{C} + 20 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ EBR 处理对辣椒果实 MDA 含量的积累抑制作用更显著,辣椒果实总抗氧化能力降低最小,较好地保持辣椒果实中抗氧化酶的活性,防止活性氧的过量积累对辣椒机体造成损害,保护细胞膜的完整性和功能性,减少营养的流失,维持辣椒较高的果实品质,延长了辣椒的贮藏时间。试验结果对辣椒果实的贮藏保鲜具有指导意义。

参考文献:

- [1] 王利群,张西露,戴雄泽.我国辣椒资源分类研究现状及探讨[J].辣椒杂志,2015,13(2):1-5,8.
- [2] 邹学校.中国辣椒[M].北京:中国农业出版社,2002:374-391.
- [3] 高翔.辣椒的保健功能及其产品的开发研究[J].食品研究与开发,2004,25(3):115-116.
- [4] 高伦江,曾小峰,贺肖寒,等.辣椒采后贮藏生理及保鲜技术研究进展[J].南方农业,2019,13(1):96-100.
- [5] 赵迎丽,王春生,郝利平.青椒果实低温贮藏及冷害生理的研究[J].山西农业大学学报(自然科学版),2003,23(2):129-132.
- [6] RAHMAN M M, MIARUDDIN M, CHOWDHURY M G F, et al. Effect of different packaging systems and chlorination on the quality and shelf life of green chili[J]. Bangladesh J Agric Res, 2013, 37(4): 729-736.
- [7] VICENTE A R, PINEDA C, LEMOINE L, et al. UV-C treatments reduce decay, retain quality and alleviate chilling injury in pepper[J]. Postharvest Biol Technol, 2005, 35(1): 69-78.
- [8] 蓬桂华,张爱民,邢丹,等.UV-C 照射剂量对辣椒果实贮藏效果的影响[J].贵州农业科学,2015,43(1):149-153,158.
- [9] 程顺昌,任小林,张少颖,等.不同处理方法对辣椒采后贮藏特性的影响[J].长江蔬菜,2005(4):41-42.
- [10] 盛玮,薛建平,许毅,等.壳聚糖涂膜对辣椒采后生理的影响[J].生物学杂志,2005,22(4):32-34.
- [11] 曹云英,许锦彪,赵华.油菜素内酯生理效应的研究进展[J].种子,2006,25(8):39-42.
- [12] CLOUSE S D. Brassinosteroid signal transduction: from receptor kinase activation to transcriptional networks regulating plant development[J]. Plant Cell, 2011, 23(4): 1219-1230.
- [13] KANG Y Y, GUO S R, LI J, et al. Effect of root applied 24-epibrassinolide on carbohydrate status and fermentative enzyme activities in cucumber (*Cucumis sativus* L.) seedlings under hypoxia[J]. Plant Growth Regul, 2009, 57(3): 259-269.
- [14] GAO H, KANG L, LIU Q, et al. Effect of 24-epibrassinolide treatment on the metabolism of eggplant fruits in relation to development of pulp browning under chilling stress[J]. J Food Sci Technol, 2015, 52(6): 3394-3401.
- [15] 王兰菊,宋尚伟,胡青霞.不同温度和薄膜包装对茄子冷害及果实生理变化的影响[J].华北农学报,2003,18(4):23-25.
- [16] 许蕙金兰,吴培文,陈仁驰,等.贮藏温度对巨峰葡萄采后生理和贮藏品质的影响[J].食品研究与开发,2018,39(21):192-197.
- [17] LIU H T, LIU Y Y, PAN Q H, et al. Novel interrelationship between salicylic acid, abscisic acid, and PIP2-specific phospholipase C in heat acclimation-induced thermotolerance in pea leaves[J]. J Exp Bot, 2006, 57(12): 3337-3347.
- [18] 蒋国玲,孙志高,沈海亮,等.低温在鲜切果蔬保鲜技术中研究进展[J].饮料工业,2011,14(1):15-17.
- [19] 蓬桂华,韩世玉,张爱民,等.低温对辣椒贮藏特性的影响[J].长江蔬菜,2014(14):41-46.
- [20] 李园园,王莉,周梦洁,等.2,4-表油菜素内酯对草莓果实贮藏品质及抗氧化活性的影响[J].食品科学,2018,39(1):279-284.
- [21] 张瑞杰,张籽润,金鹏,等.24-表油菜素内酯减轻杏果实冷害及与活性氧的代谢关系[J].现代食品科技,2018,34(4):39-44,5.
- [22] MITTLER R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance[J]. Trends Plant Sci, 2002, 7(9): 405-410.
- [23] LIU Z L, LI L, LUO Z S, et al. Effect of brassinolide on energy status and proline metabolism in postharvest bamboo shoot during chilling stress[J]. Postharvest Biol Technol, 2016, 111: 240-246.
- [24] LIU Q, XI Z M, GAO J M, et al. Effects of exogenous 24-epibrassinolide to control grey mould and maintain postharvest quality of table grapes[J]. Int J Food Sci Technol, 2016, 51(5): 1236-1243.
- [25] YUAN L, YUAN Y, DU J, et al. Effects of 24-epibrassinolide on nitrogen metabolism in cucumber seedlings under $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ stress[J]. Plant Physiol Biochem, 2012, 61: 29-35.
- [26] 谢琳淼,赵冬雪,王洪瑞,等.油菜素内酯对蓝莓品质及抗氧化活性的影响[J].贵州农业科学,2018,46(4):29-33.