

外源褪黑素对玉露香梨常温贮藏品质和生理特性的影响

于宛婷,王文辉,张鑫楠,阎维巍,孙晓楠,贾晓辉*

(中国农业科学院果树研究所,辽宁兴城 125100)

摘要:【目的】以玉露香梨为试验材料,研究不同浓度($0, 0.1, 0.5, 1.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)褪黑素(melatonin, MT)处理对梨果实常温贮藏品质和生理特性的影响。【方法】将已达商业成熟的玉露香梨果实进行 $0.1, 0.5, 1.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 不同浓度MT浸泡处理,以蒸馏水浸泡作为对照。分别于 $(20\pm1)^\circ\text{C}$ 贮藏21 d,每隔7 d货架测定果实质量、果皮颜色(L^*, h°)、果实硬度、可溶性固形物含量、可滴定酸含量和维生素C含量等果实外观和内在品质指标,统计总腐烂果数,采用气相色谱法检测果实呼吸强度和乙烯释放速率,同时采用果皮冻样测定丙二醛(MDA)含量及过氧化物酶(POD)、多酚氧化酶(PPO)和苯丙氨酸解氨酶(PAL)活性等果实时生指标。【结果】与对照相比,不同浓度MT处理均能降低果实失重率和腐烂率,但与对照差异不显著。 $1.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ MT有效抑制货架前期0~7 d果实维生素C含量和硬度的下降, $0.5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ MT在货架第14天作用效果显著,而 $0.1 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ MT在整个贮藏期间无明显抑制作用。从总体上看,与对照相比, $1.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ MT处理能够维持果实较低的MDA含量和较高的PAL和POD活性。 $0.1, 0.5$ 和 $1.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ MT对PPO活性的影响差异较大,且无明显变化规律。此外, 0.5 和 $1.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ MT均降低了果实贮藏期间乙烯释放速率。【结论】适宜浓度MT处理能够改善玉露香梨常温贮藏期间果实时生特性,有效维持货架0~7 d果实硬度和维生素C含量,综合认为, $1.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ MT作用效果最佳。

关键词:玉露香梨;褪黑素;常温贮藏;品质;生理特性

中图分类号:S661.2

文献标志码:A

文章编号:1009-9980(2023)08-1583-09

Effects of exogenous melatonin on fruit quality and physiological characteristics during room temperature storage in Yuluxiang pear

YU Wanting, WANG Wenhui, ZHANG Xinnan, YAN Weiwei, SUN Xiaonan, JIA Xiaohui*

(Research Institute of Pomology, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Xingcheng 125100, Liaoning, China)

Abstract:【Objective】The objective of this research is to disclose the effects of different concentrations ($0, 0.1, 0.5$ and $1.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$) of exogenous melatonin (MT) on fruit quality and physiological characteristics of Yuluxiang pear during room temperature (20 ± 1) $^\circ\text{C}$ storage, so as to explore the optimum concentration of melatonin for Yuluxiang pear storage at room temperature.【Methods】The experiment fruits with uniform shape, size, color and maturity, and without any mechanical injury, disease or pest damage were selected. The fruits were soaked into $0.1, 0.5$ and $1.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ MT solution, and the fruits soaking into the distilled water was used as control. All of the fruits were air-dried for approximately 40 min and then placed into 0.02 mm thick polyethylene bags. Both groups were stored for 21 days at $(20\pm1)^\circ\text{C}$. At 7-day intervals during shelf-life, fruit appearance and internal quality index including fruit weight, skin color (L^*, h°), fruit hardness, soluble solids content, titratable acid content and vitamin C content were measured. Respiration rate and ethylene production were measured by gas chromatography for 20 days, the contents of malondialdehyde (MDA), and the activities of peroxidase (POD), polyphenol oxidase (PPO) and phenylalanine ammonia-lyase (PAL) were measured with the frozen

收稿日期:2022-12-13 接受日期:2023-04-26

基金项目:中国农业科学院科技创新工程项目(CAAS-ASTIP-RIP);中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(1610182022010)

作者简介:于宛婷,女,在读硕士研究生,主要从事果品采后生理研究。Tel:15628395761,E-mail:abcdefg1468929@qq.com

*通信作者 Author for correspondence. Tel:13898987003,E-mail:jiaxiahui@caas.cn

peel samples every 7 day. 【Results】The result showed that the application of melatonin at 0.1, 0.5 or 1.0 mmol·L⁻¹ reduced the decay rate and weight loss of fruit. In this study, both untreated and MT treated fruits exhibited gradual decrease in L^* value, h^* value and vitamin C, and the content of soluble solids and titratable acid increased at the first 7-day, and then fell down the next few days. At day 7, L^* value of 1.0 mmol·L⁻¹ MT treatment was the lowest, but there was no significant ($p>0.05$) difference with control. At day 21, h^* value of 0.05 mmol·L⁻¹ MT treatment was higher than other groups. MT treatment at 1.0 mmol·L⁻¹ reduced the decrease of vitamin C. In addition, 1.0 mmol·L⁻¹ MT treatment that significantly ($p<0.05$) delayed the fruit firmness deceased at the first 7 days of storage. Nevertheless, MT treatment had no notable impact on soluble solids content. As for fruit titratable acid content, there were significant ($p<0.05$) differences among the MT treatments with different concentrations. At day 7, titratable acid content in 0.1 mmol·L⁻¹ MT treated fruits was the highest. At day 14, titratable acid content in control was higher than 0.1, 0.5 and 1.0 mmol·L⁻¹ MT treatments. At day 21, titratable acid content in 1.0 mmol·L⁻¹ MT treated fruits was the highest. During the room temperature storage, the activity of POD increased at 14 days of storage, but dropped rapidly at 21 days of storage. PAL activity increased both in control and MT treated fruits at 21 days of storage. Compared to the control, 0.1 and 0.5 mmol·L⁻¹ MT treatment and 1.0 mmol·L⁻¹ MT treatment showed higher POD and PAL activity at 21 days of storage. At day 7, PPO activity with 0.5 mmol·L⁻¹ MT treatment was significantly ($p<0.05$) higher than that with other treatments. MDA content sharply increased in untreated fruits at 7 days of storage, which adversely decreased in 0.1, 0.5 and 1.0 mmol·L⁻¹ MT treatment. All the concentrations of MT treatments could inhibit the increase of MDA content, but 1.0 mmol·L⁻¹ was the suitable concentration. MDA content in 1.0 mmol·L⁻¹ MT treated fruits was significantly lower than that in untreated fruits at 14 days of storage. The ethylene release rate of both untreated and treated fruits reached a peak value on the 4th day. Compared to the control and 0.1 mmol·L⁻¹ MT treatment, 0.5 and 1.0 mmol·L⁻¹ MT treatments decreased the ethylene production of Yuluxiang pear during the whole shelf life. 【Conclusion】Compared with the control, suitable MT treatment can slow down the increase in fruit decay rate and weight loss. 1.0 mmol·L⁻¹ MT treatment delayed the decrease of vitamin C and fruit firmness at 7 days of storage, and enhanced the activity of POD and PAL during the shelf life, and meanwhile, restrained the flourish of MDA content and ethylene production. It is surely believed that suitable exogenous MT treatment can improve the storage quality of Yuluxiang pear during shelf life at room temperature.

Key words: Yuluxiang pear; Melatonin; Room temperature storage; Quality; Physiological characteristics

玉露香梨是由山西省农业科学院果树研究所以库尔勒香梨为母本、雪花梨为父本杂交选育的主栽优新品种^[1-2]。具有果个大、果面光滑、果肉酥脆、甘甜多汁和石细胞少等优点。该品种在国内梨市场深受消费者青睐,具有较高的商业价值。在我国山西、河北、北京、辽宁以及宁夏等地均有种植,并呈迅速增长趋势,成为梨主栽优新品种之一。但该品种在贮藏过程中易发生果实衰老、果皮褪绿转黄和油腻化等品质劣变现象,进而失去商品价值。目前,已有研究报道了适期采收、精准温度、气调、臭氧处理、自发气调、1-甲基环丙烯(1-MCP)处理以及复合处理等

方式对其贮藏品质的影响。张微等^[3]研究了冰温贮藏下玉露香梨的品质以及耐贮性,结果表明,冰温贮藏240 d玉露香梨口感较好,可溶性固形物含量较高。贾晓辉等^[4]的研究显示,低温(-1 °C)贮藏能够抑制玉露香梨果实呼吸强度和乙烯释放速率,延缓果皮和果心相对电导率升高,保持较好的食用品质。刘佰霖等^[5]的研究表明,自发气调结合1-MCP处理能够保持玉露香梨果皮颜色并维持其贮藏品质。但关于玉露香梨采后常温货架期间生理特性相关研究鲜有报道,而抗氧化酶类是影响果实衰老的关键因子。因此,在保证果实品质的前提下,研究抗氧化酶

活性对玉露香梨采后保鲜的影响具有重要意义。

近年来,褪黑素(melatonin, MT)作为一种天然、无污染、环保的新型保鲜剂受到人们广泛关注。MT 化学名 N-乙酰基-5-甲氧基色胺,最初于 1995 年在植物中被发现,作为一种内源性植物生长调节剂,其广泛分布于植物的表皮、果肉以及种子中,具有清除植物活性氧自由基、促进种子萌发、调节生物节律、调控果实成熟和衰老进程等作用^[6-7]。目前,国内外关于 MT 应用于果品采后贮藏保鲜的研究越来越多,主要有对热带水果如荔枝和杧果等^[8-9]的冷害防治,有效维持北方主栽水果如苹果、梨、桃和李等^[10-13]果实品质,降低浆果类如樱桃、葡萄、草莓和猕猴桃等^[14-17]的腐烂率等。采用喷施或浸泡方式对果实进行处理,MT 处理浓度范围在 0.01~10.00 mmol·L⁻¹之间。Sun 等^[18]研究发现,0.1 mmol·L⁻¹MT 处理能够降低脂氧合酶活性和丙二醛(MDA)含量以减轻南果梨冷藏期间果皮褐变程度。Liu 等^[19]研究表明,在 0.1 mmol·L⁻¹浓度下,MT 处理可以降低红茄、阿巴特、红安久梨果呼吸速率和乙烯释放速率,进而延缓果实衰老。但上述研究主要围绕秋子梨和西洋梨系统展开,不同浓度梯度 MT 处理应用于白梨系统的研究相对较少。秋子梨和西洋梨因其在采后贮藏过程中释放特殊香味受到人们的喜爱,但又因其自身较高的乙烯含量极不耐贮藏,且贮藏后期果实释放大量乙醇、乙醛影响果实风味。玉露香梨具备典型的白梨特征,同时结合了西洋梨果实香味浓郁的特

点,冷藏期间乙烯释放速率相对较低,贮藏时间较长,能更好地满足果实周年供应。而 MT 应用于玉露香梨果实保鲜效果的研究尚未见报道。近年来,玉露香梨因其酥脆爽口、甘甜多汁等特点深受消费者喜爱,但在实际生产中,玉露香梨极易发生果心褐变、果皮油腻化等氧化衰老现象,降低果实商品性。因此,笔者在本研究中采用不同浓度 MT 处理玉露香梨果实,旨在探究 MT 对玉露香梨保鲜效果,筛选出适宜 MT 浓度,为玉露香梨以及白梨家族新型保鲜技术方案的制定提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

试验材料玉露香梨采摘于辽宁省葫芦岛市南票区高桥镇赵家沟一个管理良好的果园,树龄 10 a(年),土壤为壤沙土,采收当年盛花期为 4 月 25 日,采收时间为 9 月 15 日,采摘日果实已达到商业成熟。选取具有代表性树体 20 株,在树冠外围、内膛等不同方向均匀采收。单果套上塑料发泡网后装箱,并于 2 h 内运输至中国农业科学院果树研究所,挑选果型大小一致、无磕碰伤和病虫害的果实进行试验。将果实随机分成 4 组,每组 160 个果实,分别用 0.1、0.5 和 1.0 mmol·L⁻¹ MT 溶液浸泡 15 min,以蒸馏水浸泡处理作为对照,取出后在室温下晾干,使用 0.02 mm 厚的保鲜袋免口包装,放置于(20±1)°C 恒温库贮藏。运回当天测定果实基础指标(表 1),而

表 1 基础品质测定值
Table 1 Basic quality values

测定指标 Determination of indicators	单果质量 Fruit mass/g	硬度 Firmness/ (kg·cm ⁻²)	w(可溶性固形物) Soluble solid content/%	w(可滴定酸) Titratable acid content/(g·kg ⁻¹)	w(维生素 C) Vitamin C content/ (mg·100 g ⁻¹)	L [*] 值 L [*] value	h ^o 值 h ^o value
基础值 Base value	268.4±12.69	4.87±0.47	10.93±0.61	0.53±0.002 6	5.52±0.05	63.57±2.57	109.04±1.76

后每隔 7 d 测定 1 次,共测定 3 次。

1.2 测定方法

1.2.1 失重率 采用差量法计算,按照失重率(%)=(梨果贮前质量-梨果贮后质量)/梨果贮前质量×100 计算,3 次重复。

1.2.2 腐烂率 腐烂率按照货架期间腐烂果数占总果实数的百分比计算,腐烂率(%)=腐烂果个数/贮藏果实总个数×100。150 个果实共分 3 组,每组 50 个果实作为一个重复。

1.2.3 果皮颜色 采用 CR-400 色差计(MINOLTA

日本)进行测定,测定部位为果实赤道对称两点,L^{*} 值表示亮度,果实由亮(L^{*}=100)到暗(L^{*}=0),色度角h^o 表示果皮由绿转黄程度,h^o 值越接近 90,表示果皮颜色越黄。

1.2.4 内在品质 果实硬度(去皮)采用 GS-15 水果质地分析仪(FTA2 南非)进行测定,测定部位为果实赤道对称两个点,所用探头直径为 11.3 mm,取平均值,单位 kg·cm⁻²。可溶性固形物含量采用 PR-101α 折光仪(ATAGO 日本)进行测定,测定部位为果实赤道对称两侧果肉,挤出果汁进行测定,取平均值,单

位为%;可滴定酸和维生素C含量分别采用酸碱滴定法和2,6-二氯靛酚滴定法,利用Metrohm808智能电位滴定仪(瑞士万通)进行测定,单位分别为 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $\text{mg}\cdot100\text{ g}^{-1}$ 。

1.2.5 酶活性测定 过氧化物酶(POD)活性参照Wang等^[20]的方法,采用愈创木酚法测定,单位 $\text{U}\cdot\text{g}^{-1}$ (以鲜质量计);多酚氧化酶(PPO)活性参照李健等^[21]的方法,采用邻苯二酚法测定,单位 $\text{U}\cdot\text{g}^{-1}$ (以鲜质量计);苯丙氨酸解氨酶(PAL)活性参照Zhang等^[22]的方法,采用苯丙氨酸比色法测定,单位 $\text{U}\cdot\text{g}^{-1}$ (以鲜质量计)。

1.2.6 丙二醛(MDA)含量测定 MDA含量参照Xia等^[23]的方法,采用硫代巴比妥酸法测定,单位 $\text{nmol}\cdot\text{g}^{-1}$ 。

1.2.7 呼吸强度和乙烯释放速率测定 果实呼吸强度和乙烯释放速率采用SP-9890气相色谱仪(山东鲁南)测定,测定条件:高纯N₂为载气,燃气为空气和氢气,其中氢气流量为80 $\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$,空气流量为400 $\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$,FID检测器检测;色谱参数为进样器80 °C,柱炉100 °C,检测器160 °C,转化炉360 °C。单位分别为 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 和 $\mu\text{L}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 。每个处理3个平行,每个平行3次重复,每个重复2个果实。将果实置于2.25 L可密封塑料盒,20 °C密封1 h,用注射器抽取1 mL顶空气体,手动注入气相色谱仪进行测定。

1.3 数据处理与分析

利用Excel 2011软件进行数据计算和作图,采用SPSS 25.0软件进行方差分析和邓肯检验。

2 结果与分析

2.1 不同浓度MT对果实失重率的影响

如图1所示,贮藏期间玉露香梨果实失重率呈现持续上升的趋势,与对照相比,不同浓度MT处理均降低了果实失重率。货架7 d,0.1、0.5和1.0 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ MT处理与对照相比,果实失重率分别低27%、33%和43%;货架14 d,0.1、0.5和1.0 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ MT处理与对照相比,果实失重率分别低48%、56%和68%;货架21 d,0.1、0.5和1.0 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ MT处理与对照相比,果实失重率分别低56%、70%和99%。总体看来,1.0 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ MT处理组果实失重率始终最低,方差分析结果表明,各组间无显著差异($p>0.05$)。

2.2 不同浓度MT对果实腐烂率的影响

腐烂率是衡量果实耐贮性和综合实力的重要指

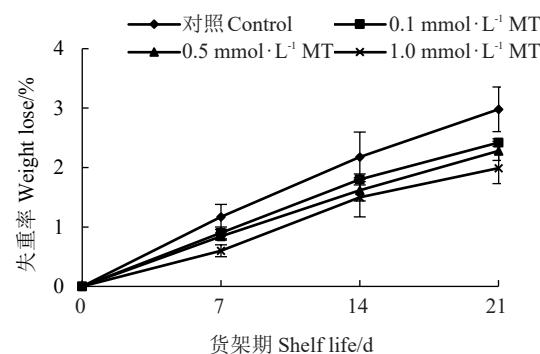


图1 不同浓度MT处理对常温货架期间玉露香梨失重率的影响

Fig. 1 Effects of MT treatment with different concentrations on weight loss rate of Yuluxiang pear during shelf life at room temperature

标之一。不同浓度MT处理对果实腐烂率的影响如图2所示,由图可知,与对照相比,0.1、0.5和1.0 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ MT处理均能降低果实腐烂率,作用效果依次为,1.0 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}>0.5 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}>0.1 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。未经处理的果实腐烂率最高,为0.19%。由此说明,MT能够抑制常温货架期间果实腐烂,以1.0 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ MT处理

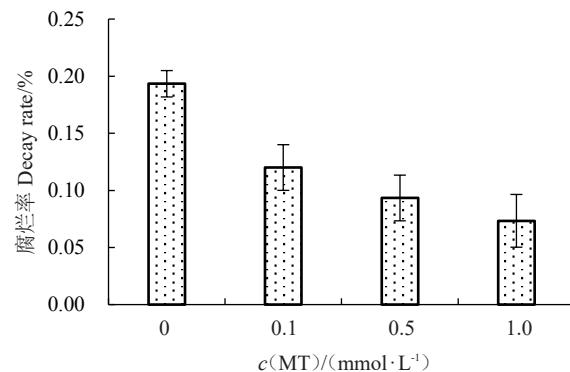


图2 不同浓度MT处理对常温货架期间玉露香梨腐烂率的影响

Fig. 2 Effects of different concentrations of MT on decay rate of Yuluxiang pear during shelf life at room temperature

效果最佳。

2.3 不同浓度MT对果皮色泽的影响

果皮色泽可以评价果实的成熟度。玉露香梨采摘后果皮颜色随贮藏时间的延长不断由绿转黄,且果皮油腻化加重。 L^* 值表示亮度,可以反映果皮的油腻化程度, L^* 值越低,说明果皮油腻化程度越低。 h° 值为综合色度指标,指示成熟度, h° 值越小,表示成熟度越高,果皮越黄。不同浓度MT处理玉露香梨果皮色泽指标变化情况如表2所示,各组 L^* 值在货架期间均呈

表2 不同浓度MT处理对常温贮藏期间玉露香梨果皮色差值的影响

Table 2 Effects of different concentrations of MT on color difference of Yuluxiang pear peel during normal temperature storage

货架期 Shelflife/ d	处理浓度 Treatment concentration/(mmol·L ⁻¹)	果皮颜色 Peel color	
		L*	h°
7	0.0	61.37±2.55 a	108.17±3.37 a
	0.1	62.11±2.05 a	108.68±2.04 a
	0.5	62.47±2.08 a	107.92±2.41 a
	1.0	62.35±1.01 a	109.63±1.32 a
14	0.0	64.26±2.62 a	105.14±1.38 a
	0.1	64.36±2.25 a	104.47±3.51 a
	0.5	62.33±3.73 a	105.19±2.23 a
	1.0	63.73±3.50 a	104.86±2.43 a
21	0.0	66.08±3.04 a	101.67±1.58 a
	0.1	66.31±2.21 a	101.51±2.47 a
	0.5	65.77±2.97 a	101.86±1.97 a
	1.0	65.42±3.20 a	101.69±3.48 a

注:表中数据为平均值±标准差,表内小写字母代表同一贮藏期各处理显著差异水平($p<0.05$)。下同。

Note: Data are means± std. The lowercase letters in the Table represent the significant difference level of each treatment in the same storage period ($p<0.05$). The same below.

现不断上升的趋势, h° 值逐渐下降。贮藏至第7天,对照组果实 L^* 值最低,但各组间无显著差异。随着贮藏时间的延长, 0.5 和 1.0 mmol·L⁻¹ MT 处理组分别在第 14 天和第 21 天果实的 L^* 值最低,但各组间无显著差异。1.0 mmol·L⁻¹ MT 处理的梨果实 h° 值在贮藏至第

7 天时最高, 贮藏第 14 天和第 21 天时, 0.5 mmol·L⁻¹ MT 处理组果实 h° 值最高, 但同一贮藏期内各处理 h° 值均无显著差异。由此得出结论, 1.0 mmol·L⁻¹ MT 处理可以维持梨果实贮藏前期(0~7 d) h° 值, 延缓果皮变黄。0.5 mmol·L⁻¹ MT 处理能够保持贮藏后期(14~21 d) 果实 h° 值, 减轻果皮油腻化程度。

2.4 不同浓度MT对果实内在品质的影响

硬度与果实质地相关, 是评价果实品质的一项重要指标。由表3可知, 玉露香梨在整个贮藏期间果肉硬度变化并不明显, 贮藏第7天, 1.0 mmol·L⁻¹ MT 处理组果实硬度显著高于对照组, 贮藏第21天, 0.1 mmol·L⁻¹ MT 处理组硬度显著高于对照组。果实可溶性固形物含量先上升, 这可能是由于果实呼吸代谢旺盛, 大量消耗底物和能量所导致, 加速果实内部高分子淀粉转化为低分子糖的进程。贮藏至第7天, 各组可溶性固形物含量均较高, 其中 0.5 mmol·L⁻¹ MT 处理组果实可溶性固形物含量最高。贮藏第14天, 各组可溶性固形物含量均降低, 但同一贮藏期内各处理与对照差异不显著。贮藏至第21天, 由于果实失水增多导致可溶性固形物含量增加, 这与果实失重率逐渐升高保持一致。可滴定酸含量的变化趋势与可溶性固形物含量保持一致, 均呈现先上升后下降再上升趋势, 贮藏第7天, 0.1 mmol·L⁻¹ MT 处理组可滴定酸含量显著高于其他处理组, 贮藏至 21 d 时, 0.5 mmol·L⁻¹ MT 处理组可滴定酸含量较其他处理组更高, 且差异显著。随着贮藏时间的延长, 果实

表3 不同浓度MT处理对常温贮藏期间玉露香梨果实内在品质的影响

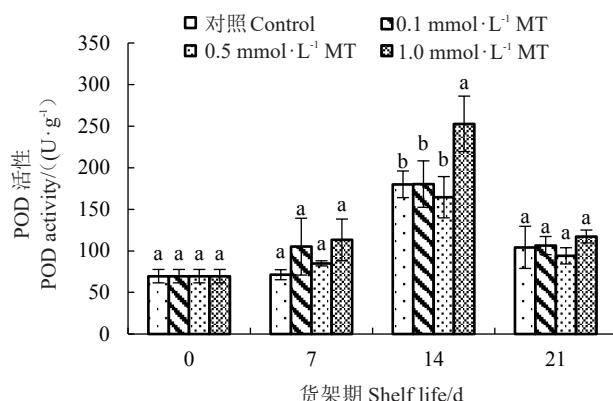
Table 3 Effects of different concentrations of MT on the internal quality of Yuluxiang pear fruit during normal temperature storage

货架期 Shelf life/d	处理浓度 Treatment concentration/ (mmol·L ⁻¹)	果实内在品质指标 Fruit internal quality index		
		硬度 Firmness/(kg·cm ⁻²)	w(可溶性固形物) Soluble solid content/%	w(可滴定酸) Titratable acid content/(g·kg ⁻¹)
7	0.0	4.92±0.56 b	11.18±0.56 ab	0.557±0.006 c
	0.1	5.24±0.63 ab	11.08±0.70 ab	0.670±0.010 a
	0.5	5.00±0.39 ab	11.41±0.43 a	0.603±0.015 b
	1.0	5.33±0.50 a	11.00±0.56 b	0.577±0.015 c
14	0.0	5.06±0.56 a	10.78±0.47 a	0.321±0.015 a
	0.1	4.86±0.67 a	10.83±0.53 a	0.274±0.014 c
	0.5	5.09±0.60 a	10.48±0.93 a	0.294±0.017 bc
	1.0	4.75±0.52 a	10.69±0.64 a	0.306±0.006 ab
21	0.0	4.71±0.50 b	11.08±0.65 a	0.393±0.013 c
	0.1	5.09±0.63 a	11.07±0.60 a	0.447±0.008 b
	0.5	4.74±0.46 ab	11.07±0.48 a	0.468±0.003 a
	1.0	4.74±0.57 ab	10.80±0.62 a	0.442±0.014 b

维生素C含量呈现逐渐下降的趋势,贮藏第7天和第21天,1.0 mmol·L⁻¹ MT处理组维生素C含量显著高于其他组。贮藏第14天,0.5 mmol·L⁻¹ MT处理组维生素C含量显著高于对照组。由此说明,1.0 mmol·L⁻¹ MT处理能够抑制常温贮藏第7天和第21天时玉露香梨果实维生素C含量的降低,维持果实风味品质。

2.5 不同浓度MT对果实POD活性的影响

由图3可知,随着常温贮藏时间的延长,4组玉露香梨果实的POD活性整体变化趋势表现为先升高后降低,贮藏至第14天时,各组POD活性均达最高。0.1和1.0 mmol·L⁻¹ MT处理的梨果实POD活性始终高于对照组。除贮藏至第14天时1.0 mmol·L⁻¹ MT处理组POD酶活性显著($p<0.05$)高于对照外,其余均与对照无显著差异,以上结果表明1.0 mmol·L⁻¹ MT处理玉露香梨能够提高其常温贮藏期间POD活性。



不同小写字母代表同一贮藏期各处理达显著差异水平($p<0.05$)。下同。

The different lowercase letters in the table represent the significant difference level of each treatment in the same storage period ($p<0.05$). The same below.

图3 不同浓度MT处理对常温贮藏期间玉露香梨POD活性的影响

Fig. 3 Effects of different concentrations of MT on POD activity of Yuluxiang pear during normal temperature storage

2.6 不同浓度MT对果实PAL活性的影响

由图4可知,在整个货架期间,果实PAL活性不断升高,贮藏至第7~14天,果实PAL活性急速增强。1.0 mmol·L⁻¹ MT处理的果实PAL活性始终高于其他处理,且在第14天和第21天时PAL活性显著($p<0.05$)高于各组。此外,在整个贮藏期内,0.1和0.5 mmol·L⁻¹ MT处理组PAL活性始终低于对照组,且两组间无显著($p>0.05$)差异。由此说

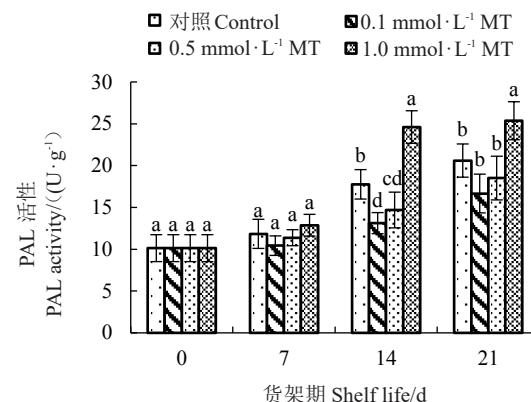


图4 不同浓度MT处理对常温贮藏期间玉露香梨PAL活性的影响

Fig. 4 Effects of different concentrations of MT on PAL activity of Yuluxiang pear during normal temperature storage

明1.0 mmol·L⁻¹ MT处理能够提高常温货架期间玉露香梨果实PAL活性,其他各处理对增强果实PAL活性无明显作用。

2.7 不同浓度MT对果实PPO活性的影响

由图5可知,常温货架期间,玉露香梨果实PPO活性先上升后降低,贮藏至第7天,各组PPO活性达到最高,随后下降。贮藏至第7天时,0.5 mmol·L⁻¹ MT处理的果实PPO活性最高,且显著高于其他处理组,1.0 mmol·L⁻¹ MT处理组果实PPO活性最低。货架14 d,对照组果实PPO活性显著高于其他处理组,货架21 d,果实PPO活性在组间无显著差异。因此,不同浓度MT处理对常温货架期间玉露香梨PPO活性的作用效果并不明显。

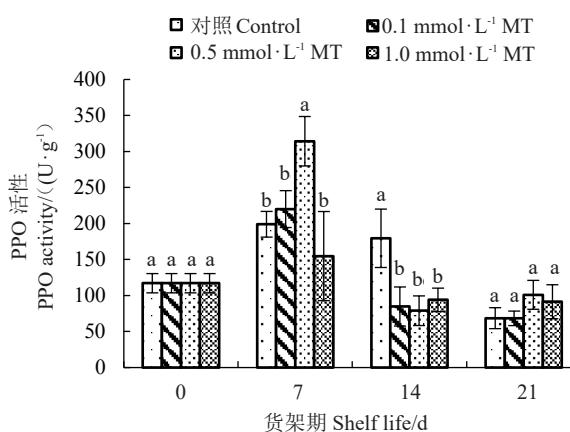


图5 不同浓度MT处理对常温贮藏期间玉露香梨PPO活性的影响

Fig. 5 Effects of different concentrations of MT on PPO activity of Yuluxiang pear during normal temperature storage

2.8 不同浓度 MT 对果实 MDA 含量的影响

MDA 是膜脂质过氧化的产物,其含量的高低可以衡量果实的衰老程度,反映玉露香梨细胞膜脂质过氧化程度。由图 6 可知,在整个货架期间,对照组果实 MDA 含量始终高于不同浓度 MT 处理组。

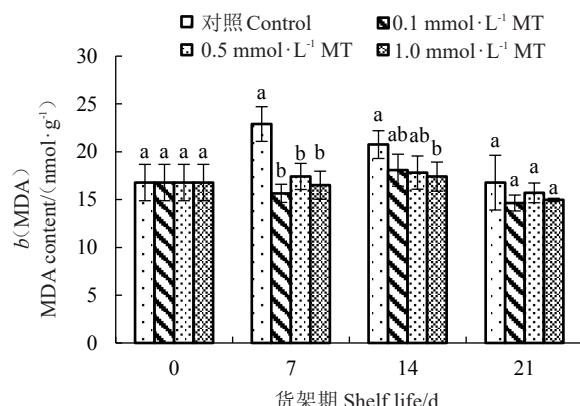


图 6 不同浓度 MT 处理对常温贮藏期间玉露香梨 MDA 含量的影响

Fig. 6 Effects of MT treatment with different concentrations on MDA content of Yuluxiang pear during normal temperature storage

货架 7 d, 对照组果实 MDA 含量显著高于 0.1、0.5、1.0 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ MT 处理组。货架 14 d, 对照显著高于 1.0 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ MT, 但与 0.1 和 0.5 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ MT 之间无显著差异。货架 21 d, 各组间均无显著差异。由此得出结论, 不同浓度 MT 处理均能抑制果实 MDA 含量的增加, 而 1.0 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 为最佳处理浓度。

2.9 不同浓度 MT 对果实呼吸速率和乙烯释放速率的影响

果实采摘后一段时间内, 仍能进行正常的生理活动, 除酶活性变化外, 果实呼吸作用和乙烯释放同时进行。呼吸作用增强, 底物消耗增加, 会导致果实品质降低以及贮运过程中果实腐烂变质等现象。由图 7-A 可知, 常温贮藏期间玉露香梨果实呼吸强度呈现上下波动变化趋势, 与对照组相比, 不同浓度 MT 处理对果实呼吸速率无明显抑制作用。乙烯是一种天然的催熟剂, 乙烯释放增加, 果实后熟加重, 加速果实衰老。玉露香梨在常温货架期间, 不同浓度 MT 处理的果实均在第 4 天达到乙烯高峰(图 7-B)。总体来看, 0.5 和 1.0 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ MT 处理组果实乙烯

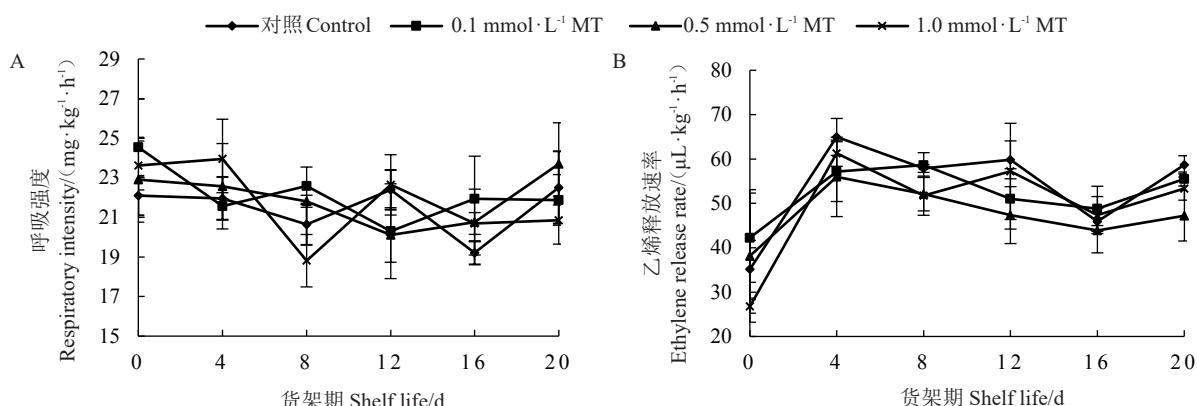


图 7 不同浓度 MT 处理对常温贮藏期间玉露香梨呼吸强度 (A) 和乙烯释放速率 (B) 的影响

Fig. 7 Effects of different concentrations of MT on respiration rate (A) and ethylene release rate (B) of Yuluxiang pear during normal temperature storage

释放速率均低于对照组, 其中 0.5 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ MT 处理的梨果实乙烯释放速率最低。以上结果表明, 不同浓度 MT 处理对果实呼吸强度变化无影响, 但 0.5 和 1.0 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ MT 处理对果实乙烯释放速率产生抑制作用, 延缓果实后熟。

3 讨论

3.1 不同浓度 MT 处理对常温贮藏期间玉露香梨果皮色泽的影响

玉露香梨在贮藏期间, 果皮不断褪绿转黄, 并伴

随着油腻化的发生。果皮一旦转黄, 果实即失去商品性。 L^* 值和 h^* 值可以表征果实油腻化程度和转黄程度, 贾晓辉等^[4]研究发现, 玉露香果实冷藏 120 和 210 d 时, -1 °C 下贮藏的果实 L^* 显著低于 0 °C 和 2 °C, 而 h^* 显著高于 0 °C 和 2 °C, 说明 -1 °C 冷藏条件对果皮油腻化和果皮转黄的抑制效果较好。马风丽等^[24]研究报道, 1-MCP 处理可维持常温货架期间玉露香梨果皮颜色, 并抑制其油腻化的发生。叶春苗等^[25]研究表明, 1-MCP、SNP 和 MT 处理均能抑制南果梨贮藏期间 L^* 升高。在本研究中, 0.5 和 1.0 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$

MT 处理抑制玉露香梨贮藏期间 L^* 值升高, 同时抑制 h° 下降, 说明高浓度 MT 处理能够延缓常温货架期间玉露香梨果皮由绿转黄, 而低浓度 MT 不稳定, 见光易分解, 因此作用效果不明显。

3.2 不同浓度 MT 处理对常温贮藏期间玉露香梨贮藏品质的影响

常温货架期间, 果实失重率、腐烂率、硬度与果实品质密切相关。本研究中, $1.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ MT 降低了果实失重率和腐烂率, 维持了果实硬度、可溶性固形物和可滴定酸含量等果实基础品质, 并未对贮藏期间果实感官品质造成不良影响。货架期间, 从总体来看, 不同于秋子梨和西洋梨等贮藏后期果肉变软的特性, 各组玉露香梨果实去皮硬度变化并不明显, 可溶性固形物和可滴定酸含量均呈现先上升后下降再上升的趋势, 这可能是由于果实自身在不断地调节糖酸平衡。MT 处理的果实可溶性固形物含量与对照无显著差异, 而可滴定酸含量在不同货架期时, 不同浓度处理表现出较大差异, 因此 MT 浓度对果实可滴定酸含量变化影响较大。维生素 C 含量可作为衡量果实抗氧化能力的一个指标^[26]。在本研究中, 货架第 7 天和第 21 天时, $1.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ MT 处理的梨果实维生素 C 含量均显著高于其他处理。外源 MT 作为一种天然的抗氧化剂参与果实氧化还原反应, 抑制了维生素 C 的氧化还原, 而高浓度 MT 较低浓度 MT 反应更加迅速。因此 $1.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ MT 处理延缓了果实常温货架期间维生素 C 含量的降低。

3.3 不同浓度 MT 处理对常温贮藏期间玉露香梨生理特性的影响

果实生理特性影响其贮藏品质, 生理指标也是衡量果实贮藏品质的重要指标。果实在采后进行正常的代谢活动如呼吸、蒸腾以及受到病原菌等的感染, 进而引起果实贮藏品质的改变。在本研究中, MT 通过抑制玉露香梨果实乙烯释放速率进而延缓果实衰老进程, 如 MT 处理的果实失重率和腐烂率始终低于对照。MT 浸泡后, 保鲜剂在果实表面形成一层薄膜, 可抵御外界病菌的入侵并防止水分散失。MDA 是膜脂质过氧化的终产物, 反映果实采后贮藏过程中细胞膜的破坏程度。在本试验中, 常温贮藏期间对照组果皮 MDA 含量始终高于各处理组, 这与千春录等^[27]在低温贮藏条件下 MT 处理对水蜜桃 MDA 含量影响的研究结果一致, 推测 MT 通过抑制果实失水和腐烂减少底物产生进而阻止膜脂质过氧

化代谢反应, 降低果实 MDA 含量。在本研究中, 不同浓度 MT 处理玉露香梨果实对其 POD、PPO 活性的影响差异较大, $1.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ MT 处理组果实 POD 活性高于对照, 但除货架第 14 天外, 其余均无显著性差异。推测 MT 通过抑制 POD 酶活性进而消除果实内部的过氧化氢等物质, 降低活性氧代谢速率, 抑制氧化应激反应。在整个货架期间, PPO 活性先上升后下降, MT 处理组与对照组之间果实 PPO 活性的差异无明显变化规律。因此 MT 处理对玉露香梨 PPO 活性的影响尚不明确。PAL 是苯丙烷代谢途径的关键酶, 在玉露香梨果实常温贮藏期间, 各组 PAL 活性保持上升趋势, 且 $1.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ MT 处理的果实始终保持较高的 PAL 活性, 因此 MT 通过提高 PAL 活性进而加速苯丙烷代谢过程, 促进黄酮、类黄酮、花色苷等具备抗氧化活性物质的生成, 提高果实抗氧化能力。

4 结 论

不同浓度 MT 处理玉露香梨对其常温贮藏品质和生理特性的影响差异较大, $1.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ MT 能够延缓贮藏初期($0\sim 7$ d)维生素 C 含量的降低, 维持整个贮藏期间较低的 MDA 含量和较高的 PAL 活性, 降低乙烯释放速率。同时, 未对果实外观品质如皮颜色、硬度, 果实营养品质如可滴定酸、可溶性固形物含量产生不良影响。因此, 适宜浓度 MT 处理可以维持玉露香梨常温贮藏品质, 改善其生理特性。

参考文献 References:

- [1] 郭黄萍, 李晓梅, 张建功. 优质中熟红梨新品种“玉露香”(暂定名)[J]. 山西果树, 2001(1):3-4.
GUO Huangping, LI Xiaomei, ZHANG Jiangong. A new variety of high-quality medium-ripe red pear “Yuluxiang” (tentative name)[J]. Shanxi Fruits, 2001(1):3-4.
- [2] 梁志宏, 吕英忠, 张拥兵. 影响玉露香梨贮藏的因素及保鲜技术[J]. 保鲜与加工, 2011, 11(2):38-41.
LIANG Zhihong, LV Yingzhong, ZHANG Yongbing. Preservation technology and factors affecting the quality of Yuluxiang pear during storage[J]. Storage & Process, 2011, 11(2):38-41.
- [3] 张微, 赵迎丽, 王亮, 杨志国, 陈会燕. 冰温贮藏对不同产地玉露香梨果实品质及耐贮性的影响[J]. 山西农业科学, 2020, 48(10):1665-1670.
ZHANG Wei, ZHAO Yingli, WANG Liang, YANG Zhiguo, CHEN Huiyan. Effect of ice-temperature storage on fruit quality and storability of Yuluxiang pears from different places[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2020, 48(10):1665-1670.
- [4] 贾晓辉, 王文辉, 姜云斌, 杜艳民, 王志华, 佟伟. 不同贮藏温度对‘玉露香’梨果实保绿效果和品质维持的影响[J]. 果树学报, 2016, 33(S1):166-174.
JIA Xiaohui, WANG Wenhai, JIANG Yunbin, DU Yanmin, WANG Zhihua, TONG Wei. Effects of storage temperature on green keeping and quality of ‘Yuluxiang’ pear[J]. Journal of

- Fruit Science, 2016, 33(S1):166-174.
- [5] 刘佰霖,王文辉,马风丽,王阳,杜艳民,贾晓辉.自发气调包装和乙烯吸收剂对‘玉露香’梨果实品质及耐贮性的影响[J].果树学报,2019,36(7):911-921.
LIU Bailin, WANG Wenhui, MA Fengli, WANG Yang, DU Yanmin, JIA Xiaohui. Effect of modified atmosphere packaging and ethylene absorbents on postharvest fruit quality and storage performance of ‘Yuluxiang’ pear[J]. Journal of Fruit Science, 2019,36(7):911-921.
- [6] WU X, REN J, HUANG X Q, ZHENG X Z, TIAN Y C, SHI L, DONG P, LI Z G. Melatonin: Biosynthesis, content, and function in horticultural plants and potential application[J]. Scientia Horticulturae, 2021, 288:110392.
- [7] SALEHI B, SHAROPOV F, FOKOU P V T, KOBYLINSKA A, JONGE L, TADIO K, SHARIFI-RAD J, POSMYK M M, MARTORELL M, MARTINS N, IRITI M. Melatonin in medicinal and food plants: Occurrence, bioavailability, and health potential for humans[J]. Cells, 2019, 8(7):681.
- [8] BHARDWAJ R, PAREEK S, DOMÍNGUEZ-AVILA J A, GONZALEZ-AGUILAR G A, VALERO D, SERRANO M. An exogenous pre-storage melatonin alleviates chilling injury in some mango fruit cultivars, by acting on the enzymatic and non-enzymatic antioxidant system[J]. Antioxidants, 2022, 11(2):384.
- [9] LIU G S, ZHANG Y X, YUN Z, HU M J, LIU J L, JIANG Y M, ZHANG Z K. Melatonin enhances cold tolerance by regulating energy and proline metabolism in *Litchi* fruit[J]. Foods, 2020, 9 (4):454.
- [10] 冯雪立,董晓庆,朱守亮,杨顺,王洪艳,龙海军,喻卉.褪黑素处理对蜂糖李果实的保鲜效应[J].食品工业科技,2020,41 (6):265-271.
FENG Xueli, DONG Xiaoqing, ZHU Shouliang, YANG Shun, WANG Hongyan, LONG Haijun, YU Hui. Effects of melatonin treatments on preservation of Fengtang plum fruits[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(6):265-271.
- [11] 王纪忠,童瑶,史云勇,魏树伟.外源褪黑素处理对常温货架期梨果实贮藏品质的影响[J].果树学报,2021,38(4):569-579.
WANG Jizhong, TONG Yao, SHI Yunyong, WEI Shuwei. Effects of exogenous melatonin treatment on storage quality of pear fruits during shelf life at room temperature[J]. Journal of Fruit Science, 2021, 38(4):569-579.
- [12] 赵治兵,黄婷婷,吕嘉瀚,杜晓吉,张长凤,张雨,曹森.褪黑素结合丁香酚处理对红桃贮藏品质的影响[J].食品工业科技,2022,43(23):341-346.
ZHAO Zhibing, HUANG Tingting, LÜ Jiahuan, DU Xiaojie, ZHANG Changfeng, ZHANG Yu, CAO Sen. Effect of melatonin coupling with eugenol treatment on storage quality of red *Amygdalus persica*[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(23):341-346.
- [13] ONIK J C, WAI S C, LI A, LIN Q, SUN Q Q, WANG Z D, DUAN Y Q. Melatonin treatment reduces ethylene production and maintains fruit quality in apple during postharvest storage[J]. Food Chemistry, 2021, 337:127753.
- [14] 吕馨宁,王玥,贾润普,王胜男,姚玉新.不同温度下褪黑素处理对‘阳光玫瑰’葡萄采后品质的影响[J].中国农业科学,2022,55(7):1411-1422.
LÜ Xinning, WANG Yue, JIA Runpu, WANG Shengnan, YAO Yuxin. Effects of melatonin treatment on quality of stored Shine Muscat grapes under different storage temperatures[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2022, 55(7):1411-1422.
- [15] WANG F, ZHANG X P, YANG Q Z, ZHAO Q F. Exogenous melatonin delays postharvest fruit senescence and maintains the quality of sweet cherries[J]. Food Chemistry, 2019, 301:125311.
- [16] LIU C H, ZHENG H H, SHENG K L, LIU W, ZHENG L. Effects of melatonin treatment on the postharvest quality of strawberry fruit[J]. Postharvest Biology and Technology, 2018, 139:47-55.
- [17] CAO S, QU G F, MA C, BA L J, JI N, MENG L S, LEI J Q, WANG R. Effects of melatonin treatment on the physiological quality and cell wall metabolites in kiwifruit[J]. Food Science and Technology, 2022, 42:e85421.
- [18] SUN H J, LUO M L, ZHOU X, ZHOU Q, JI S J. Influence of melatonin treatment on peel browning of cold-stored “Nanguo” pears[J]. Food and Bioprocess Technology, 2020, 13(8): 1478-1490.
- [19] LIU J L, YANG J E, ZHANG H Q, CONG L, ZHAI R, YANG C Q, WANG Z G, MA F W, XU L F. Melatonin inhibits ethylene synthesis via nitric oxide regulation to delay postharvest senescence in pears[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2019, 67(8):2279-2288.
- [20] WANG Y N, LIANG C Z, MENG Z G, LI Y Y, ALI ABID M, ASKARI M, WANG P L, WANG Y, SUN G Q, CAI Y P, CHEN S Y, LIN Y, ZHANG R, GUO S D. Leveraging *Atriplex hortensis* choline monooxygenase to improve chilling tolerance in cotton[J]. Environmental and Experimental Botany, 2019, 162:364-373.
- [21] 李健,徐艳聪,黄美,杨洋,曹建康,姜微波.鸭梨果实多酚氧化酶学特性[J].食品科学,2013,34(15):154-157.
LI Jian, XU Yancong, HUANG Mei, YANG Yang, CAO Jiankang, JIANG Weibo. Characterization of polyphenol oxidase from Ya-li pear[J]. Food Science, 2013, 34(15):154-157.
- [22] ZHANG J, LV J, XIE J M, GAN Y T, COULTER J A, YU J H, LI J, WANG J W, ZHANG X D. Nitrogen source affects the composition of metabolites in pepper (*Capsicum annuum* L.) and regulates the synthesis of capsaicinoids through the GOGAT-GS pathway[J]. Foods, 2020, 9(2):150.
- [23] XIA X J, XING Y X, KAN J Q. Antioxidant activity of Qingke (highland hull-less barley) after extraction/hydrolysis and *in vitro* simulated digestion[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2020, 44(2):e14331.
- [24] 马风丽,杜艳民,王阳,佟伟,刘佰霖,王文辉,贾晓辉.1-MCP对‘玉露香’梨采后果实品质和叶绿素保持的影响[J].园艺学报,2019,46(12):2299-2308.
MA Fengli, DU Yanmin, WANG Yang, TONG Wei, LIU Bailin, WANG Wenhui, JIA Xiaohui. Effect of 1-Methylcyclopropene (1-MCP) on quality and chlorophyll maintenance of postharvest ‘Yuluxiang’ pear[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2019, 46(12): 2299-2308.
- [25] 叶春苗,李莉峰,韩艳秋.不同保鲜剂处理对南果梨贮藏期品质的影响[J].北方园艺,2022(20):99-103.
YE Chunmiao, LI Lifeng, HAN Yanqiu. Effects of different preservative treatments on quality of Nanguo pear during storage[J]. Northern Horticulture, 2022(20):99-103.
- [26] 张四普,邓楠茜,胡青霞,鲁云风,牛佳佳.柠檬酸和植酸结合1-MCP复合保鲜处理对芥蓝常温贮藏品质的影响[J].中国瓜菜,2021,34(5):57-63.
ZHANG Sipu, DENG Nanxi, HU Qingxia, LU Yunfeng, NIU Jiajia. Effects of citric acid and phytic acid combined with 1-MCP on storage quality of kale at room temperature[J]. China Cucurbits and Vegetables, 2021, 34(5):57-63.
- [27] 千春录,朱芹,高姗,陈国华,戚思影,季正捷,金昌海,陈学好,齐晓花.外源褪黑素处理对采后水蜜桃冷藏品质及冷害发生的影响[J].江苏农业学报,2020,36(3):702-708.
QIAN Chunlu, ZHU Qin, GAO Shan, CHEN Guohua, QI Siying, JI Zhengjie, JIN Changhai, CHEN Xuehao, QI Xiaohua. Effects of exogenous melatonin treatment on cold storage quality and chilling injury of postharvest peach fruit[J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2020, 36(3):702-708.