

农产品保鲜与食品包装

1-MCP 结合 EA 对蓝靛果贮藏品质及活性氧代谢的影响

张鹏^{1,2}, 赵倩³, 贾晓昱^{1,2}, 李春媛^{1,2}, 霍俊伟⁴, 李江阔^{1,2}, 魏宝东³

(1.天津市农业科学院农产品保鲜与加工技术研究所, 天津 300384; 2.国家农产品保鲜工程技术研究中心(天津) a.农业农村部农产品贮藏保鲜重点实验室 b.天津市农产品采后生理与贮藏保鲜重点实验室, 天津 300384; 3.沈阳农业大学 食品学院, 沈阳 110866; 4.东北农业大学 园艺园林学院寒地小浆果开发利用国家地方联合工程研究中心, 哈尔滨 150030)

摘要: **目的** 探究不同处理对贮藏 0~60 d 期间蓝靛果实贮藏品质及活性氧(ROS)代谢的影响, 为蓝靛果贮藏保鲜提供技术依据。**方法** 以蓝靛果为实验材料, 采后将其装入保鲜箱中, 用 1-甲基环丙烯(1-MCP)、乙烯吸收剂(EA)、1-MCP+EA 进行处理, 在 $(-0.5 \pm 0.3)^\circ\text{C}$ 下贮藏 60 d, 每隔 15 d 取样观察果实的感官品质, 并测定其营养、生理及活性氧代谢相关指标。**结果** 与对照组相比, 3 种处理方式均能保持果实较好的感官特性, 延缓果实抗坏血酸、花色苷、总酚和黄酮等含量的流失, 以及果实的软化; 在贮藏 60 d 时, 处理组果实的呼吸强度分别比对照组果实的呼吸强度低 22.73、12.92、34.04 $\text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{h})$, 乙烯生成速率分别比对照组果实的低 6.38、3.98、10.11 $\mu\text{L}/(\text{kg} \cdot \text{h})$; 可抑制超氧阴离子($\text{O}_2^{\cdot-}$)活性、过氧化氢(H_2O_2)含量、丙二醛含量及相对电导率的升高, 保持较高的超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)、抗坏血酸过氧化物酶(APX)活性。通过 SPSS 分析可知, 综合得分顺序为 $\text{CK} < \text{EA} < 1\text{-MCP} < 1\text{-MCP} + \text{EA}$, 表明 1-MCP+EA 处理的效果最好。**结论** 1-MCP+EA 处理对蓝靛果贮藏 60 d 的保鲜效果最好, 可更好地保留果实的外观和内在品质, 利于运输和销售。

关键词: 蓝靛果; 1-甲基环丙烯; 乙烯吸收剂; 贮藏品质; 活性氧代谢

中图分类号: TS255.36 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2023)13-0063-11

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.13.009

Effects of 1-MCP Combined with EA on Storage Quality and Reactive Oxygen Species Metabolism of Blue Honeysuckle

ZHANG Peng^{1,2}, ZHAO Qian³, JIA Xiao-yu^{1,2}, LI Chun-yuan^{1,2}, HUO Jun-wei⁴,
LI Jiang-kuo^{1,2}, WEI Bao-dong³

(1. Institute of Agricultural Products Preservation and Processing Technology, Tianjin Academy of Agricultural Sciences, Tianjin 300384, China; 2. a. Key Laboratory of Storage of Agricultural Products, Ministry of Agriculture and Rural Affairs b. Tianjin Key Laboratory of Postharvest Physiology and Storage of Agricultural Products, National Engineering and Technology Research Center for Preservation of Agricultural Products (Tianjin), Tianjin 300384, China; 3. School of Food Science, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China; 4. National-Local Joint Engineering Research Center for Development and Utilization of Small Fruits in Cold Regions, School of Horticulture, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

收稿日期: 2022-11-17

基金项目: 国家重点研发计划(2022YFD1600504); 兵团重点领域科技攻关项目(2019AB024)

作者简介: 张鹏(1981—), 女, 博士后, 副研究员, 主要研究方向为果蔬贮藏保鲜。

通信作者: 李江阔(1974—), 男, 博士后, 研究员, 主要研究方向为农产品安全与果蔬贮藏保鲜新技术。

ABSTRACT: The work aims to investigate the effects of different treatments on the storage quality and reactive oxygen species (ROS) metabolism of blue honeysuckle during storage for 0-60 d, to provide a certain technical basis for storage and preservation of blue honeysuckle. With blue honeysuckle as the test material, the harvested blue honeysuckle was put into a fresh-keeping box and treated with 1-Methylcyclopropene (1-MCP), ethylene absorbent (EA), 1-MCP+EA, stored at $(-0.5\pm0.3)^{\circ}\text{C}$ for 60 days. The samples were taken every 15 days to investigate the sensory quality and measure nutritional, physiological and reactive oxygen species metabolism related indicators. Compared with the control group, the three treatments could maintain good organoleptic properties, delay the loss of ascorbic acid, anthocyanins, total phenols and flavonoids and soften the fruits. At 60 days of storage, the respiration intensity of the treatment group was 22.73, 12.92, 34.04 $\text{mg}/(\text{kg}\cdot\text{h})$, the ethylene formation rates were 6.38, 3.98 and 10.11 $\mu\text{L}/(\text{kg}\cdot\text{h})$ lower than those in the control group, respectively. At the same time, it could inhibit the activity of superoxide anion ($\text{O}_2^{\cdot-}$), hydrogen peroxide (H_2O_2) content, malondialdehyde content and relative conductivity, and maintain high superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), peroxidase (POD) and ascorbyl peroxidase (APX) activities. Through SPSS analysis, the comprehensive score was $\text{CK}<\text{EA}<1\text{-MCP}<1\text{-MCP+EA}$, indicating that 1-MCP+EA had the best effect. Treatment with 1-MCP+EA has the best preservation effect on blue honeysuckle stored for 60 days, which can better retain the appearance and internal quality of the fruit, and is convenient for transportation and sales.

KEY WORDS: blue honeysuckle; 1-Methylcyclopropene; ethylene absorbent; storage quality; reactive oxygen species metabolism

蓝靛果 (*Lonicera caerulea* L.) 是忍冬科忍冬属蓝果忍冬的变种, 产于吉林省长白山、黑龙江省大兴安岭东部山区、黑龙江省东部 (勃利县境内), 以及内蒙古、甘肃、四川等地。蓝靛果的果实多浆汁、种子极小、出汁率高, 富含矿物质、维生素、氨基酸等营养成分, 以及花色苷、类黄酮等活性物质, 具有很好的营养及医疗保健作用^[1-2]。蓝靛果的果实较软, 在贮运时易受到机械损伤, 在逆境胁迫下易产生大量的活性氧, 进而加速果实的衰老, 导致果实品质下降, 因此活性氧代谢平衡对蓝靛果的品质较重要。目前, 在蓝靛果保鲜方面, 主要采用低温贮藏^[3]、可溶性涂膜 (壳聚糖等)^[4]、1-甲基环丙烯^[5]、己醛^[6]及微环境气调^[7]等方式保鲜。

1-甲基环丙烯 (1-Methylcyclopropene, 1-MCP) 作为果蔬的一种新型绿色化学保鲜剂, 通过抑制乙烯与受体的结合, 延缓果实后熟衰老的进程, 延长贮藏期。Li 等^[8]研究发现, 1-MCP 可诱导芒果的 POD、SOD、CAT 活性, 推迟呼吸强度和乙烯高峰的出现。陈曦冉等^[9]研究发现, 1-MCP 可降低软枣猕猴桃的呼吸强度和乙烯生成速率, 维持 SOD、POD、APX、CAT 活性。另有研究表明, 采用 1-MCP 处理可维持杨梅^[10]、香梨^[11]、杏^[12]等果实较高的 SOD、CAT、POD 等活性氧代谢相关酶活性, 降低果实的活性氧水平, 延缓其衰老进程。乙烯吸收剂 (ethylene absorbent, EA) 的成分主要为晶体或粉末状的 KMnO_4 , 可通过吸收和氧化作用去除果蔬贮藏环境中的乙烯, 达到延缓果实衰老的目的。乙烯吸收剂在维持许多果蔬的贮藏品质方面具有很好的效果。杨志国等^[13]对阳丰甜柿进行了研究, 发现采用 EA 处理可抑制乙烯释放率和呼吸速率, 改善果实的贮藏品质。阎根柱等^[14]

研究发现, EA 可显著延缓猕猴桃果实的硬度、营养物质消耗、呼吸和乙烯释放速率的降低, 也广泛适用于山楂^[15]、杏^[12]、蓝莓^[16]等果实。

目前, 研究 1-MCP 结合 EA 对蓝靛果贮藏品质及活性氧代谢的影响还鲜有报道。文中通过实验, 研究采用 1-MCP、EA、1-MCP+EA 3 种处理方法对贮藏期间蓝靛果实的贮藏品质及活性氧代谢等指标的影响, 以期为其保鲜研究提供技术参考。

1 实验

1.1 材料

主要材料: 蓝靛果, 于 2021 年 6 月 21 日采自黑龙江省哈尔滨市蓝靛果示范园; 1-MCP 便携包, 国家农产品保鲜工程技术研究中心 (天津); 乙烯吸收剂, 山西省农科院农产品贮藏保鲜研究所; 小篮 (17.5 cm×10 cm×11 cm)、保鲜箱 (28 cm×22 cm×12 cm), 宁波国嘉农产品保鲜包装技术有限公司。

1.2 仪器与设备

主要仪器与设备: 精准温控库, 国家农产品保鲜工程技术研究中心 (天津); TU-1810ASPC 紫外可见分光光度计, 北京普析通用仪器有限责任公司; DDS-307A 型电导率仪, 上海仪电科学仪器仪表有限公司; Sigma3-30K 型高速离心机, 德国 SIGMA 离心机有限公司; 岛津 2010 气相色谱仪, 美国 Finnigan 公司; Check PiontII 便携式残氧仪, 丹麦 Dansensor 公司; TA.XT.Plus 物性仪, 英国 SMS 公司; Synergy H1 全功能微孔板检测仪酶标仪, 美国伯腾仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 处理方法

如图 1 所示,用小篮采摘果实后,将其放入侧面带孔的保鲜箱中,每个处理做 3 个平行实验,每个平行实验用 1 箱果实,每箱可放 2 篮,每篮果实的净质量为 1.0 kg 左右。在采摘过程中,严格挑选果实发育期(开花后 50 d)一致、果体颜色呈蓝紫色、果肉饱满、大面积覆盖果霜、无机械损伤、无病害的蓝靛果果实。将果实在产地经过预冷后,用冷链物流车运送。物流时间为 5 d,运输温度为 0~4 °C,运回天津实验室后在 (-0.5±0.3) °C 下开盖预冷 24 h,然后分装处理。此实验分为 4 个处理组:将蓝靛果置于保鲜箱中,将 1 袋用蒸馏水浸湿后的 1-MCP 便携包(理论环境浓度为 1 μL/L)立即放入箱体中部,然后将盖子盖上,此处理组记为 1-MCP;将蓝靛果置于保鲜箱中,加入 1 袋乙烯吸收剂,然后立即放入箱体中部,并盖上盖子,此处理组记为 EA;将蓝靛果置于保鲜箱中,同时将 1 袋用蒸馏水浸湿后的 1-MCP 便携包(理论环境浓度为 1 μL/L)和 1 袋乙烯吸收剂立即放入箱体中部后,将盖子盖上,此处理组记为 1-MCP+EA;将蓝靛果置于保鲜箱中,不加入任何保鲜剂,直接用盖子盖上,此对照组记为 CK。将以上 4 组果实均置于温度 (-0.5±0.3) °C、相对湿度 85%~95% 条件下,每隔 15 d 检测果实的各项品质指标,测试周期为 60 d。



图 1 蓝靛果在处理及贮藏过程中所用的载体

Fig.1 Carriers used in treatment and storage of blue honeysuckle

1.3.2 测定指标和方法

好果率、风味指数及果霜覆盖指数均参考李江阔等^[17]的方法测定。总酚含量参考福林酚比色法^[18]测定,黄酮含量参考 NaNO₂-Al(NO₃)₃ 法^[19]测定,抗坏血酸含量参考钼蓝比色法^[20]测定,花色苷含量参考 pH 示差法^[21]测定。硬度用 TA.XT.Plus Texture Analyser 物性仪测定^[17]。呼吸强度和乙烯生成速率分别参考静置法^[22]和张鹏等^[23]的方法测定。丙二醛含量参考硫代巴比妥酸法^[24]测定。相对电导率用 DDS-307A 型电导仪测定。O₂⁻活性采用试剂盒(比色法)测定。H₂O₂ 含量采用试剂盒(比色法)测定。SOD 活性采用试剂盒(羟胺法)测定,CAT、POD 和 APX 活性参照曹建康等^[24]的方法测定。

1.3.3 数据处理

所有数据重复测定 3 次,用 Excel 2010 进行数据处理与分析。用 SPSS 23.0 和 DPS 7.5 软件进行主成分和差异性分析, $P < 0.05$ 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 不同处理对蓝靛果感官品质的影响

蓝靛果的感官品质主要体现在好果率、果霜覆盖指数和风味指数等方面。从图 2 可以看出,在贮藏 60 d 时,CK 组果实的腐烂现象最严重,个别果肉出现了白色霉斑、软化,甚至流汁等现象,果霜的覆盖面积减少,基本失去贮藏价值;1-MCP 处理组果实贮藏末期,果霜的覆盖面积有所减少,但未出现明显的腐烂发霉现象;EA 处理组果实的果霜覆盖面积减少幅度最大,但未出现明显的腐烂发霉现象;1-MCP+EA 处理组果实在贮藏 60 d 时仍保持了较好的感官品质,在好果率、果霜覆盖面积及风味指数等方面的效果最好。由表 1 可知,在整个贮藏期间,处理组果实的感官数据均好于对照果实,且在贮藏 60 d 时各组之间好果率和果霜覆盖指数达到显著差异水平($P < 0.05$)。整体效果顺序为 1-MCP+EA > 1-MCP > EA > CK。

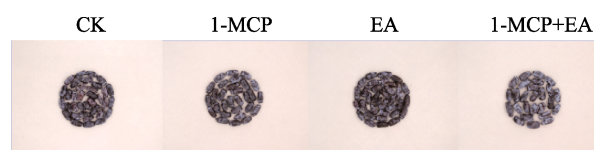


图 2 在贮藏 60 d 时不同处理组蓝靛果的外观

Fig.2 Appearance of blue honeysuckle stored for 60 days with different treatments

2.2 不同处理对蓝靛果花色苷、抗坏血酸、总酚、黄酮等含量及硬度的影响

通过不同处理后,蓝靛果的内在品质指标存在一定差异。果实中花色苷、抗坏血酸、总酚、黄酮等含量及硬度的变化情况如图 3 所示。花色苷含量呈逐渐下降趋势,CK 组果实的花色苷含量在整个贮藏过程中处于最低水平,与各个处理组达到显著差异水平($P < 0.05$)。在贮藏 60 d 时,1-MCP、EA、1-MCP+EA 组果实的花色苷含量分别为 CK 组果实的 1.05、1.04、1.09 倍。抗坏血酸含量呈不断下降趋势,CK 组果实的抗坏血酸含量明显比处理组果实的抗坏血酸含量低($P < 0.05$),并在 60 d 时分别比处理组的抗坏血酸含量低 42.15%、36.41%、49.12%。总酚和黄酮含量的变化趋势一致,均呈先升高后降低的趋势,在贮藏 30 d 时达到最高值。在整个贮藏期内,CK 组果实的含量最低。随着时间的延长,蓝靛果出现软化现象,硬度表现为逐渐下降趋势,各组之间的差异较小,但处理组始终高于 CK 组。综上所述,1-MCP、EA、1-MCP+EA 处理均对果实的营养品质有着较好的保持作用,保持效果依次为 1-MCP+EA > 1-MCP > EA > CK。

表 1 不同处理对蓝靛果感官指标的影响
Tab.1 Effects of different treatments on sensory indexes of blue honeysuckle

贮藏时间/d	处理方法	指标		
		好果率/%	风味指数/%	果霜覆盖指数/%
0	CK	100.00±1 ^a	94.44±1 ^c	97.00±1 ^a
	1-MCP	100.00±1 ^a	97.77±1 ^{ab}	98.00±1 ^a
	EA	100.00±1 ^a	96.66±1 ^b	98.00±1 ^a
	1-MCP+EA	100.00±1 ^a	98.88±1 ^a	99.00±1 ^a
15	CK	97.00±1 ^a	94.44±1 ^b	96.00±1 ^a
	1-MCP	97.50±1 ^a	97.77±1 ^a	97.50±1 ^a
	EA	97.50±1 ^a	96.66±1 ^a	97.50±1 ^a
	1-MCP+EA	98.00±1 ^a	97.77±1 ^a	98.00±1 ^a
30	CK	86.00±1 ^b	92.22±1 ^c	86.00±1 ^c
	1-MCP	89.00±1 ^a	94.44±1 ^{ab}	89.00±1 ^b
	EA	87.00±1 ^b	93.33±1 ^{bc}	87.00±1 ^c
	1-MCP+EA	90.00±1 ^a	95.55±1 ^a	95.00±1 ^a
45	CK	79.00±1 ^d	79.99±1 ^c	75.00±1 ^d
	1-MCP	83.00±1 ^b	84.44±1 ^b	83.00±1 ^b
	EA	81.00±1 ^c	83.33±1 ^b	81.00±1 ^c
	1-MCP+EA	85.00±1 ^a	86.66±1 ^a	88.00±1 ^a
60	CK	65.00±1 ^d	64.44±1 ^c	64.00±1 ^d
	1-MCP	75.00±1 ^b	68.88±1 ^b	75.00±1 ^b
	EA	73.00±1 ^c	65.55±1 ^c	73.00±1 ^c
	1-MCP+EA	78.00±1 ^a	82.22±1 ^a	78.00±1 ^a

注：不同小写字母表示每项指标在 $P<0.05$ 的水平下有显著性差异，下同。

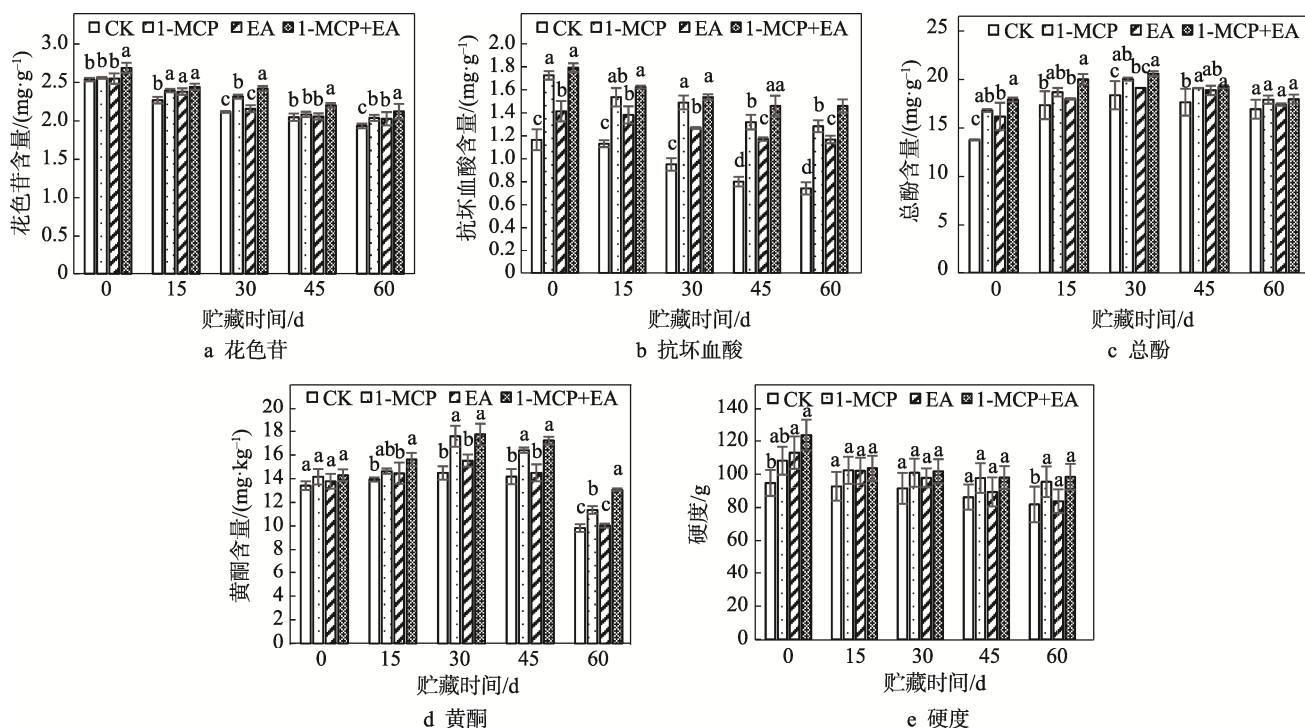


图 3 不同处理对蓝靛果花色苷、抗坏血酸、总酚、黄酮等含量及硬度的影响
Fig.3 Effects of different treatments on anthocyanins, ascorbic acid, total phenols, flavonoids and hardness of blue honeysuckle

2.3 不同处理对蓝靛果呼吸强度和乙烯生成速率的影响

由图 4a 可见, 蓝靛果的呼吸强度呈不断上升的趋势, 在整个贮藏期间处理组始终低于 CK 组。在贮藏 0 d 时, 各组果实的呼吸强度差异不明显。在 15~60 d 期间, CK、1-MCP、EA、1-MCP+EA 各组之间达到显著差异水平 ($P < 0.05$)。在 60 d 时, 各组果实的呼吸强度分别为 346.25、323.52、333.33、312.21 $\text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{h})$, 对照组分别为处理组的 1.07、1.03、1.10 倍。说明不同处理对蓝靛果的品质有较好的抑制作用, 可以达到延长果实贮藏期的目的。综合来看, 效果依次为 1-MCP+EA > 1-MCP > EA > CK。

由图 4b 可见, 在整个贮藏过程中蓝靛果的乙烯生成速率呈不断上升趋势。在贮藏 0~60 d 时, 对照组果实的乙烯生成速率始终最高。在贮藏 45~60 d 时, 各组之间达到显著差异水平 ($P < 0.05$)。CK、1-MCP、EA、1-MCP+EA 处理组果实的乙烯生成速率在贮藏 60 d 时分别为 34.93、28.55、30.95、24.82 $\mu\text{L}/(\text{kg} \cdot \text{h})$, 对照组分别是处理组的 1.22、1.12、1.40 倍。说明各处理方法均可抑制蓝靛果乙烯的升高, 其中 1-MCP+EA 处理更有利于延缓果实的衰老。

2.4 不同处理对蓝靛果 O_2^- 活性、 H_2O_2 、MDA 含量及相对电导率的影响

由图 5a 可知, 蓝靛果在贮藏期间的 O_2^- 活性呈逐渐上升趋势。在整个贮藏期内 CK 组果实的自由基积累含量最高, 损伤最严重, 在贮藏 60 d 时分别比 1-MCP、EA、1-MCP+EA 组果实的高 22.15%、20.90%、30.54%, 达到显著差异水平 ($P < 0.05$)。说明各处理方法都能较好地降低蓝靛果 O_2^- 的产生速率, 维持果实的品质。其中, 1-MCP+EA 处理的效果最佳, 其次分别为 1-MCP、EA 处理。

H_2O_2 积累可导致细胞膜脂质过氧化损害。由图

5b 可知, 果实的 H_2O_2 含量与贮藏时间总体上成正比, 整个贮藏期内 CK 组的含量始终最高, 在贮藏 60 d 时, CK、1-MCP、EA、1-MCP+EA 处理组果实的含量积累 (采用蛋白做对照) 分别为 412.95、346.48、406.45、285.40 mmol/g , CK 组果实的含量是处理组果实含量的 1.19、1.01、1.44 倍, 显著高于处理组 ($P < 0.05$)。说明各个处理方法均可较好地抑制 H_2O_2 对蓝靛果果实的损害, 复合处理的效果比单一处理好。黄钰萍等^[10]对杨梅的研究中也表明 1-MCP 可减少 H_2O_2 的积累, 与文中实验结论一致。

MDA 可以反映果蔬细胞膜的完整性。由图 5c 可见, 果实的丙二醛含量呈不断上升趋势, CK 组始终高于各处理组, 其中 1-MCP+EA 处理组在 0~60 d 内显著低于对照组 ($P < 0.05$)。CK、1-MCP、EA 和 1-MCP+EA 组的贮藏初值为 76.05、67.76、73.53、61.70 $\mu\text{mol}/\text{g}$, CK 组与处理组达到显著差异水平。在贮藏 60 d 时各组的含量分别升高至 96.85、89.54、91.98、79.80 $\mu\text{mol}/\text{g}$, CK 组果实的含量是处理组果实的 1.08、1.05、1.21 倍。说明各处理方法能够不同程度地降低蓝靛果果实细胞膜的受损程度。Wu 等^[25]对桃果实的研究中发现, 1-MCP 可降低 MDA 含量, 这与文中实验结论一致。

由图 5d 可知, 蓝靛果的相对电导率在整个贮藏过程中呈上升趋势。在贮藏 0 d 时, CK、1-MCP、EA、1-MCP+EA 组差异显著 ($P < 0.05$)。在贮藏 15 d 时, 3 个处理组之间无明显区别, 但均显著低于 CK 组。随着贮藏时间的延长, 相对电导率在贮藏 30~60 d 时达到显著差异水平 ($P < 0.05$), 在贮藏 60 d 时各处理组的相对电导率分别比对照组的低 3.76%、1.88%、6.24%。说明各个处理方法对蓝靛果相对电导率的上升均有显著抑制作用, 可不同程度地维持果实较好的细胞膜完整性。穆茜等^[26]对海棠果实的研究中发现, 1-MCP 处理可抑制相对电导率的上升, 该结果与文中结果一致。

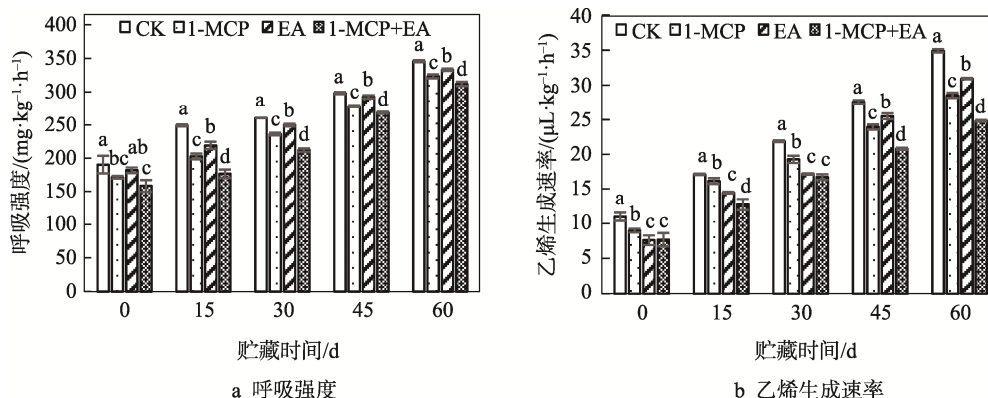


图 4 不同处理对蓝靛果呼吸强度、乙烯生成速率的影响
Fig.4 Effects of different treatments on respiration intensity and ethylene formation rate of blue honeysuckle

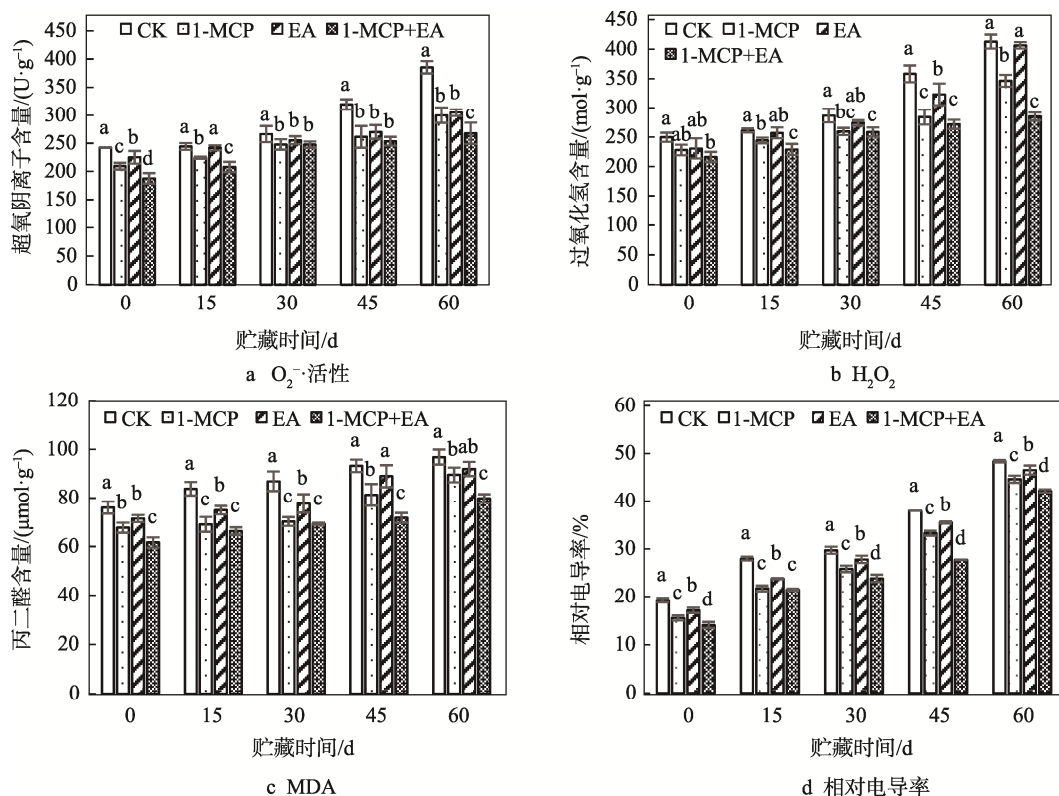


图5 不同处理对蓝靛果 O₂·-活性、H₂O₂ 含量、MDA 含量和相对电导率的影响

Fig.5 Effects of different treatments on O₂·-activity, H₂O₂ content, MDA content and relative conductivity of blue honeysuckle

2.5 不同处理对蓝靛果 SOD、CAT、POD、APX 活性的影响

由图 6a 可知,在贮藏 0~60 d 内,果实的 SOD 含量呈不断下降趋势,其中 CK 组果实的含量始终显著低于其他 3 个处理组 ($P < 0.05$)。在贮藏 60 d 时,CK、1-MCP、EA、1-MCP+EA 组果实的 SOD 含量分别为 115.53、123.08、120.20、140.89 U/g。说明 1-MCP、EA、1-MCP+EA 处理均可维持蓝靛果中 SOD 的活性,其中 1-MCP+EA 处理的效果更显著。Xu 等^[27]对猕猴桃的研究中也证实 1-MCP 可提高果实的 SOD 活性。

由图 6b 可见,CAT 活性呈先升高再降低的趋势,在整个贮藏过程中 CK 组始终低于处理组。在贮藏 0 d 时,各组之间差异显著 ($P < 0.05$)。在贮藏 15~60 d 期间,对照组果实的 CAT 活性显著 ($P < 0.05$) 低于处理组果实的 CAT 活性。在贮藏 45 d 时,各组果实的 CAT 活性达到峰值,CK 组果实的 CAT 活性为 2.25 U/g,1-MCP、EA、1-MCP+EA 组果实的 CAT 活性分别为 4.30、3.32、5.80 U/g,随后开始下降。在贮藏 60 d 时,处理组果实的 CAT 活性分别是对照组的 2.81、2.01、4.77 倍。说明各处理方法均可维持蓝靛果较高的 CAT 活性,其中 1-MCP+EA 处理的效果最佳。

由图 6c 可见,POD 活性与 CAT 活性的变化趋势一致,呈先上升后下降的趋势。在贮藏 0~15 d 时,CK 组果实的 POD 活性显著 ($P < 0.05$) 低于处理组果实的 POD 活性。在贮藏 30 d 时,各组果实的 POD 活性达到最高值,其中 1-MCP+EA 组果实的 POD 活性最高,CK 组果实的 POD 活性最低。在贮藏 45~60 d 时,果实的 POD 活性开始下降。在贮藏 60 d 时,处理组果实的 POD 活性分别是对照组的 1.15、1.06、1.30 倍。在贮藏 0~60 d 时,处理组果实的 POD 活性显著 ($P < 0.05$) 高于对照组果实的 POD 活性,说明 1-MCP、EA 及两者结合均可维持果实较好的 POD 活性。朱婉彤等^[12]对杏果实的研究中也证实 1-MCP 可保持果实的 POD 活性。

由图 6d 可见,APX 活性呈下降趋势,CK 组果实的 APX 活性在整个贮藏过程中一直最低。在贮藏 15~45 d 时,各组之间的 APX 活性达到显著差异水平 ($P < 0.05$)。在贮藏 60 d 时,CK、1-MCP、EA、1-MCP+EA 组果实的 APX 活性分别为 1.83、2.16、2.00、2.66 U/g,处理组果实的 APX 活性是 CK 组的 1.18、1.09、1.45 倍。说明各处理方法均可保持蓝靛果较高的 APX 活性,降低机体伤害。其中,1-MCP+EA 处理的效果最佳,其次是 1-MCP 处理和 EA 处理。

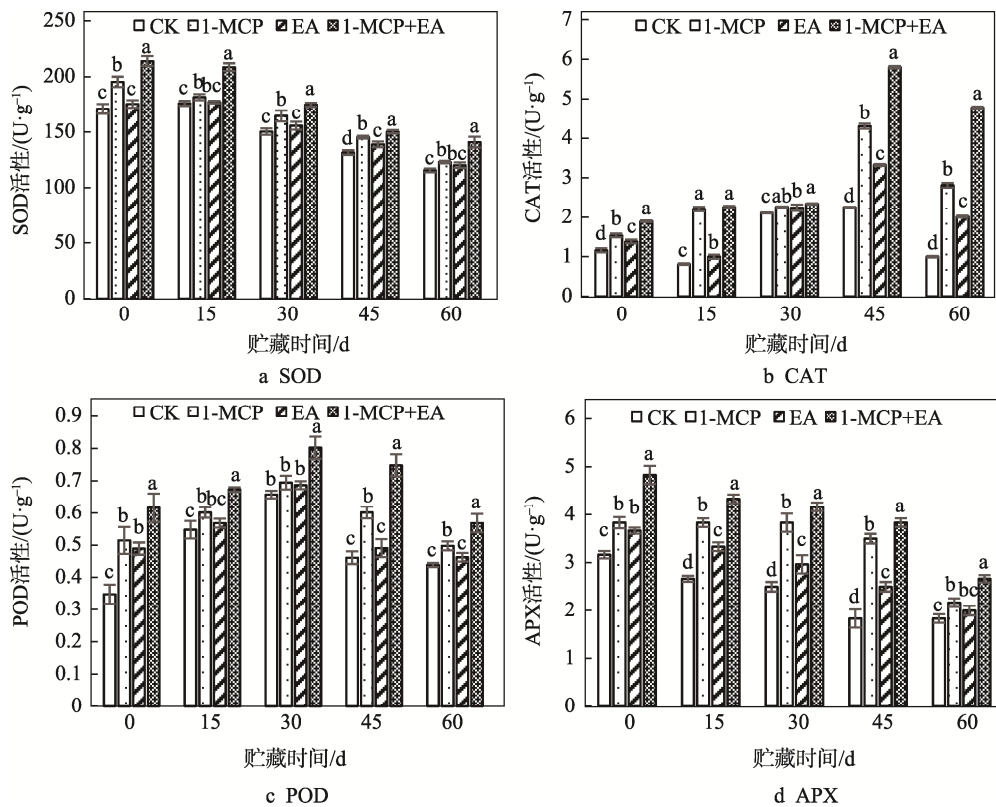


图 6 不同处理对蓝靛果 SOD、CAT、POD 及 APX 活性的影响
Fig.6 Effects of different treatments on activities of SOD, CAT, POD and APX of blue honeysuckle

2.6 蓝靛果品质的 PCA 分析

利用蓝靛果贮藏期内的所有指标进行不同纬度的 PCA 分析, 自动拟合成 2 个主成分, 并进行 SPSS 打分, 见表 2—3。相关性综合得分 (F) 为 FC_1 、 FC_2 对应的特征值与对应的因子得分相乘, 即 $F=(F_1\times 71.142+F_2\times 16.299)/87.441$, 计算贮藏期间 4 种处理方式与蓝靛果品质指标的相关性, 综合得分表示蓝靛果品质的高低, 综合得分越高, 其品质越佳。由表 2—3 可知, 综合得分的顺序为 $CK < EA < 1-MCP < 1-MCP+EA$ 。综上可知, 采用 1-MCP+EA 处理蓝靛果的效果最佳。

表 2 蓝靛果主成分特征值及贡献率
Tab.2 Characteristic values and contribution rates of principal components of blue honeysuckle

主成分	特征值	贡献率/%	累计贡献率/%
1	12.806	71.142	71.142
2	2.934	16.299	87.441

3 讨论

结果表明, 在贮藏过程中采用 1-MCP、EA、1-MCP+EA 处理方法, 均可保持蓝靛果较好的感官品

质, 处理组的好果率、果霜覆盖指数、风味指数等均好于 CK 组, 可以有效维持果实的硬度, 不同程度地减缓抗坏血酸、花色苷、总酚、黄酮等营养成分的流失, 抑制呼吸强度和乙烯的生成。其中, 1-MCP+EA 处理的效果最显著。张鹏等^[28]对富士苹果进行了研究, 结果表明, 采用 1-MCP、EA、1-MCP+EA 处理可推迟呼吸高峰的出现, 抑制乙烯生成速率, 维持果实的质地, 其中 1-MCP+EA 处理的效果最好。张二芳等^[29]对水蜜桃的研究结果表明, 1-MCP、1-MCP+EA 处理均可维持果实的硬度, 抑制果实呼吸强度和乙烯生成速率, 并延缓营养物质的流失, 其中 1-MCP+EA 处理的效果最佳。刘媛等^[30]对黄金梨的研究结果也表明, 1-MCP+EA 复合处理可保持果实较好的贮藏品质, 并能抑制细胞膜透性的升高。以上实验结果均与文中结论一致。

果蔬产生活性氧 (ROS) 的途径包括 $O_2^{\cdot-}$ 、 H_2O_2 等, ROS 积累过多会加速果实的衰老进程。文中实验结果表明, 采用 1-MCP、EA、1-MCP+EA 处理方法均可降低果实的 ROS 含量, 抑制丙二醛含量及相对电导率的上升, 不同程度地减少因细胞膜破坏引起的果实损伤。降解 ROS 的途径包括酶促和非酶促体系。酶促系统主要有 SOD、CAT、POD 和 APX 等, 非酶促系统包括抗坏血酸、总酚类和黄酮类等。随着贮藏时间的延长, 果实的丙二醛含量、相对电导率均

表 3 蓝靛果主成分得分
Tab.3 Main component score of blue honeysuckle

处理	货架时间/d	FAC1	FAC2	F_1	F_2	F	F 平均	排名
CK	0	0.464 13	-2.279 47	1.661	-3.904	0.627	-2.076	4
	15	0.119 2	-0.860 21	0.427	-1.473	0.074		
	30	-0.350 19	0.148 36	-1.253	0.254	-0.972		
	45	-1.216 32	-0.323 29	-4.353	-0.554	-3.644		
	60	-2.130 33	-0.817 43	-7.623	-1.400	-6.462		
1-MCP	0	1.132 22	-0.926 53	4.052	-1.587	3.002	0.602	2
	15	0.768 01	0.032 44	2.748	0.056	2.246		
	30	0.464 27	1.071 18	1.661	1.835	1.692		
	45	-0.265 08	1.155 12	-0.949	1.979	-0.405		
	60	-1.211 74	0.005 35	-4.336	0.009	-3.526		
EA	0	0.931 92	-1.277 67	3.335	-2.189	2.307	-0.556	3
	15	0.550 63	-0.551 12	1.970	-0.944	1.428		
	30	0.036 8	0.556 79	0.132	0.954	0.284		
	45	-0.737 68	0.357 7	-2.640	0.613	-2.034		
	60	-1.584 49	-0.474 24	-5.670	-0.812	-4.764		
1-MCP+EA	0	1.614 28	-0.336 01	5.777	-0.576	4.593	2.030	1
	15	1.117 89	0.537 87	4.000	0.921	3.426		
	30	0.743 07	1.364 13	2.659	2.337	2.597		
	45	0.143 34	1.874 88	0.513	3.211	1.013		
	60	-0.589 93	0.742 15	-2.111	1.271	-1.482		

呈上升趋势,CK 组在贮藏 60 d 时的上升趋势更显著 ($P < 0.05$)。与 CK 组相比,1-MCP、EA、1-MCP+EA 等 3 处理方式均可维持蓝靛果在整个贮藏期内 SOD、CAT、POD、APX 较高活性,保持较高的抗坏血酸含量,抑制 $O_2^{\cdot-}$ 、 H_2O_2 含量的升高。这有利于维持活性氧代谢的平衡,减少细胞膜损伤,各处理对果实总酚和黄酮含量流失的影响不大,CK 组始终最低。这与袁芳等^[31]、谢晶等^[32]、杜林笑等^[11]的研究结果一致。

基于 SPSS 法对蓝靛果进行了 PCA 分析,结果表明,1-MCP 和 EA 单一处理在保持蓝靛果品质,减少果实流汁和霉变腐烂等方面均有一定的效果,复合处理的效果优于单独处理的效果。综合来看,处理效果的排序为 1-MCP+EA > 1-MCP > EA > CK。

4 结论

与 CK 组相比,1-MCP、EA、1-MCP+EA 等 3 种处理方法均可不同程度地维持蓝靛果的营养价值,延长其贮藏期,可在贮藏期间保持较好的感官品质,有效维持果实的营养品质(抗坏血酸、花色苷、总酚和黄酮),降低果实的软化进程,抑制果实呼吸强度、

乙烯生成速率、 $O_2^{\cdot-}$ 活性、 H_2O_2 、丙二醛含量和相对电导率的上升,保持较高的 SOD、CAT、POD、APX 活性。其中,1-MCP+EA 处理的效果最显著,其次为 1-MCP 和 EA 组。

参考文献:

- [1] 包怡红,赵鑫磊,唐妍,等. 蓝靛果米糠酵素发酵工艺优化及其代谢产物变化分析[J]. 中南林业科技大学学报, 2022, 42(2): 147-158.
BAO Yi-hong, ZHAO Xin-lei, TANG Yan, et al. The Optimization of Fermentation Technology and the Changes of Metabolites of Lonicera Caerulea Rice Bran Enzyme[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2022, 42(2): 147-158.
- [2] 蔡朋举,丁宁,史君彦,等. 超高压-温度联合杀菌工艺对蓝靛果忍冬脱苦果汁品质及风味的影响[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(18): 60-67.
CAI Peng-ju, DING Ning, SHI Jun-yan, et al. Effects of High Hydrostatic Pressure Combined with Temperature

- Sterilization on the Quality and Flavor of *Lonicera Caerulea* Debitting Juice[J]. Food and Fermentation Industries, 2022, 48(18): 60-67.
- [3] OCHMIAN I, GRAJKOWSKI J, SKUPIEŃ K. Field Performance, Fruit Chemical Composition and Firmness under Cold Storage and Simulated Shelf-Life Conditions of Three Blue Honeysuckle Cultigens (*Lonicera Caerulea*)[J]. Journal of Fruit and Ornamental Plant Research, 2008, 16: 83-91.
- [4] 张玮圳, 于晓红, 刘丽宅, 等. 壳聚糖可食膜的不同涂膜方式对蓝靛果贮藏的影响[J]. 农产品加工, 2016(20): 12-16.
- ZHANG Wei-zhen, YU Xiao-hong, LIU Li-zhai, et al. Effect on *Lonicera Caerulea* from Different Coating Methods of Chitosan Eatable Film[J]. Farm Products Processing, 2016(20): 12-16.
- [5] 霍俊伟, 高静, 张鹏, 等. 1-甲基环丙烯对蓝靛果贮藏品质的影响[J]. 食品工业科技, 2021, 42(19): 321-328.
- HUO Jun-wei, GAO Jing, ZHANG Peng, et al. Effect of 1-Methylcyclopropene on the Storage Quality of *Lonicera Caerulea* L[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(19): 321-328.
- [6] MACKENZIE J O, ELFord E M A, SUBRAMANIAN J, et al. Performance of Five Haskap (*Lonicera Caerulea* L) Cultivars and the Effect of Hexanal on Postharvest Quality[J]. Canadian Journal of Plant Science, 1918: CJPS-2017-0365.
- [7] 李江阔, 高静, 张鹏, 等. 微环境气调对蓝果忍冬贮藏品质和抗氧化酶的影响[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(6): 152-159.
- LI Jiang-kuo, GAO Jing, ZHANG Peng, et al. Micro-Environmental Modified Atmosphere on Storage Quality and Antioxidant Enzymes of Blue Honeysuckle Fruits[J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(6): 152-159.
- [8] LI Li, LI Chang-bao, SUN Jian, et al. The Effects of 1-Methylcyclopropene in the Regulation of Antioxidative System and Softening of Mango Fruit during Storage[J]. Journal of Food Quality, 2020, 2020: 1-11.
- [9] 陈曦冉, 张鹏, 贾晓昱, 等. 1-MCP 处理维持软枣猕猴桃活性氧的代谢平衡[J]. 现代食品科技, 2022, 38(4): 83-91.
- CHEN Xi-ran, ZHANG Peng, JIA Xiao-yu, et al. Reactive Oxygen Metabolism Balance in *Actinidia Arguta* by 1-MCP Treatments[J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(4): 83-91.
- [10] 黄钰萍, 刘青娥. 1-MCP 处理对杨梅果实贮藏期间品质及活性氧代谢的影响[J]. 保鲜与加工, 2021, 21(9): 13-20.
- HUANG Yu-ping, LIU Qing-e. Effects of 1-MCP Treatment on Qualities and Reactive Oxygen Metabolism of *Myrica Rubra* Fruits during Storage[J]. Storage and Process, 2021, 21(9): 13-20.
- [11] 杜林笑, 赵晓敏, 谢季云, 等. 1-MCP 处理对库尔勒香梨低温贮藏期间活性氧代谢及品质的影响[J]. 保鲜与加工, 2020, 20(2): 28-34.
- DU Lin-xiao, ZHAO Xiao-min, XIE Ji-yun, et al. Effects of 1-MCP Treatment on Active Oxygen Metabolism and Quality of Korla Fragrant Pear during Cold Storage[J]. Storage and Process, 2020, 20(2): 28-34.
- [12] 朱婉彤, 白羽嘉, 冯作山, 等. 1-MCP、乙烯调控杏果采后活性氧代谢酶活性及同工酶电泳的研究[J]. 现代食品科技, 2019, 35(4): 70-76.
- ZHU Wan-tong, BAI Yu-jia, FENG Zuo-shan, et al. Activities of Active Oxygen Metabolism Enzymes and Isoenzymes in Apricot Fruit Treated with 1-MCP and Ethephon[J]. Modern Food Science and Technology, 2019, 35(4): 70-76.
- [13] 杨志国, 丁京, 杜静婷, 等. 1-甲基环丙烯和乙烯吸收剂对阳丰甜柿采后生理及贮藏品质的影响[J]. 山西农业科学, 2020, 48(10): 1671-1675.
- YANG Zhi-guo, DING Jing, DU Jing-ting, et al. Effects of 1-Methylcyclopropene and Ethylene Absorbent on Postharvest Physiology and Storage Quality of Youhou Sweet Persimmon[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2020, 48(10): 1671-1675.
- [14] 阎根柱, 王春生, 王华瑞, 等. 1-MCP 与乙烯吸收剂对猕猴桃果实采后生理及品质的影响[J]. 中国农学通报, 2018, 34(22): 52-58.
- YAN Gen-zhu, WANG Chun-sheng, WANG Hua-rui, et al. Effect of 1-Methylcyclopropene and Ethylene Absorbent on Physiology and Fruit Quality of Kiwifruit after Harvest[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2018, 34(22): 52-58.
- [15] 王亮, 赵迎丽, 冯志宏, 等. 薄膜包装结合乙烯吸收剂对山楂果实生理和果肉褐变的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(22): 325-329.
- WANG Liang, ZHAO Ying-li, FENG Zhi-hong, et al.

- Effect of Film Packaging Combined with Ethylene Absorbent on Postharvest Physiology and Browning of Hawthorns[J]. Food Science, 2014, 35(22): 325-329.
- [16] 曹森, 马超, 龙晓波, 等. 1-MCP 结合乙烯吸附剂对蓝莓贮藏品质及生理的影响[J]. 食品工业科技, 2017, 38(19): 265-271.
- CAO Sen, MA Chao, LONG Xiao-bo, et al. Effect of 1-MCP Coupling with Ethylene Adsorbent Treatment on Storage Quality and Physiological of Blueberry[J]. Science and Technology of Food Industry, 2017, 38(19): 265-271.
- [17] 李江阔, 高静, 张鹏, 等. 微环境气调对蓝莓忍冬贮藏品质和抗氧化酶的影响[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(6): 152-159.
- LI Jiang-kuo, GAO Jing, ZHANG Peng, et al. Micro-Environmental Modified Atmosphere on Storage Quality and Antioxidant Enzymes of Blue Honeysuckle Fruits[J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(6): 152-159.
- [18] 赵佳. 蓝果忍冬酚类物质的提取、鉴定及抗氧化性研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2010: 10-13.
- ZHAO Jia. Studies on Extraction, Identification and Antioxidant Capacity of Blue Honeysuckle (*Lonicera Caerulea* L)[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2010: 10-13.
- [19] 赵佳, 霍俊伟. 蓝果忍冬总黄酮提取工艺研究[J]. 食品工业科技, 2010, 31(11): 242-244.
- ZHAO Jia, HUO Jun-wei. Study on Extraction Technology of Total Flavonoids from Berry of Blue Honeysuckle(*Lonicera Caerulea* L)[J]. Science and Technology of Food Industry, 2010, 31(11): 242-244.
- [20] 李曙雷, 霍俊伟, 李芳晓, 等. 黑穗醋栗抗坏血酸含量测定方法的比较[J]. 吉林农业科学, 2014, 39(2): 74-77.
- LI Shu-lei, HUO Jun-wei, LI Fang-xiao, et al. Comparing of Methods for Determination of Ascorbic Acid Content of Black Currant[J]. Journal of Jilin Agricultural Sciences, 2014, 39(2): 74-77.
- [21] 齐会娟, 刘德文, 李中宾, 等. 野生和栽培蓝靛果中花色苷含量的测定及分析[J]. 特种经济动植物, 2019, 22(8): 42-46.
- QI Hui-juan, LIU De-wen, LI Zhong-bin, et al. Determination and Analysis of Anthocyanin Content in Wild and Cultivated *Lonicera Edulis*[J]. Special Economic Animal and Plant, 2019, 22(8): 42-46.
- [22] 朱志强, 张平, 任朝晖, 等. 不同包装箱对绿芦笋贮藏效果的影响[J]. 食品科技, 2009, 34(9): 48-52.
- ZHU Zhi-qiang, ZHANG Ping, REN Zhao-hui, et al. Effects of Different Packing Modes on the Storage Quality of Green Asparagus[J]. Food Science and Technology, 2009, 34(9): 48-52.
- [23] 张鹏, 袁兴铃, 王利强, 等. 1-MCP 处理对“阳光玫瑰”葡萄货架品质的影响[J]. 包装工程, 2021, 42(7): 19-27.
- ZHANG Peng, YUAN Xing-ling, WANG Li-qiang, et al. Effect of 1-MCP Treatment on Shelf Quality of "Sunshine Muscat" Grapes[J]. Packaging Engineering, 2021, 42(7): 19-27.
- [24] 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: 154-156.
- CAO Jian-kang, JIANG Wei-bo, ZHAO Yu-mei. Guidance on Postharvest Physiological and Biochemical Experiments of Fruits and Vegetables[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007: 154-156.
- [25] WU Xiao-qin, AN Xiu-juan, YU Ming-liang, et al. 1-Methylcyclopropene Treatment on Phenolics and the Antioxidant System in Postharvest Peach Combined with the Liquid Chromatography/Mass Spectrometry Technique[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2018, 66(25): 6364-6372.
- [26] 穆茜, 张丹丹, 杨伟凡, 等. 1-MCP 处理对“丽格”海棠果实采后生理及品质的影响[J]. 保鲜与加工, 2020, 20(1): 18-23.
- MU Qian, ZHANG Dan-dan, YANG Yi-fan, et al. Effects of 1-MCP Treatment on Postharvest Physiology and Quality of Rieger Begonia Fruits[J]. Storage and Process, 2020, 20(1): 18-23.
- [27] XU Fang-xu, LIU Shi-yang, LIU Ye-fei, et al. Effectiveness of Lysozyme Coatings and 1-MCP Treatments on Storage and Preservation of Kiwifruit[J]. Food Chemistry, 2019, 288: 201-207.
- [28] 张鹏, 秦骅, 李江阔, 等. 1-MCP、乙烯吸收剂双控对富士苹果贮后货架品质的影响[J]. 中国食品学报, 2019, 19(9): 179-188.
- ZHANG Peng, QIN Hua, LI Jiang-kuo, et al. Effect of 1-MCP Combined with Ethylene Absorbent on the Shelf Quality of Fuji Apple after Cold Storage[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2019, 19(9): 179-188.

- [29] 张二芳,唐福临,邵雅馨,等. 1-MCP 及乙烯吸收剂对水蜜桃采后生理及贮藏品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(23): 20-25.
- ZHANG Er-fang, TANG Fu-lin, SHAO Ya-xin, et al. Effect of 1-MCP and Ethylene Absorbent on the Physiology and Storage Quality of Honey Peach Fruit after Harvest[J]. Food Research and Development, 2021, 42(23): 20-25.
- [30] 刘媛,关军锋,赵宝华. 1-MCP、薄膜包装和乙烯吸收剂对黄金梨冷藏品质的影响[J]. 保鲜与加工, 2015, 15(3): 7-11.
- LIU Yuan, GUAN Jun-feng, ZHAO Bao-hua. Effects of 1-MCP, Film Package and Ethylene Absorber on Quality of Cold-Stored 'Whangkeumbae' Pear[J]. Storage and Process, 2015, 15(3): 7-11.
- [31] 袁芳,邱诗铭,李丽. 不同保鲜剂复合处理对鲜切芒果活性氧代谢、细胞膜透性和褐变的影响[J]. 食品科学, 2020, 41(3): 218-223.
- YUAN Fang, QIU Shi-ming, LI Li. Effect of Composite Preservatives on Active Oxygen Metabolism, Cell Membrane Permeability and Browning of Fresh-Cut Mango[J]. Food Science, 2020, 41(3): 218-223.
- [32] 谢晶,覃子倚,潘家丽,等. 基于主成分分析的确普钠处理对采后荔枝活性氧代谢的影响[J]. 食品科学, 2022, 43(9): 192-198.
- XIE Jing, QIN Zi-yi, PAN Jia-li, et al. Effect of Sodium Nitroprusside Treatment on Reactive Oxygen Species Metabolism of Postharvest Litchi as Investigated by Principal Component Analysis[J]. Food Science, 2022, 43(9): 192-198.

责任编辑: 彭颀