

1-MCP 和乙烯利处理 对采后‘金冠’苹果常温贮藏过程中 生理变化及活性氧代谢的影响

吕静祎, 周影, 葛永红, 李灿婴, 张梦媛

(渤海大学食品科学与工程学院, 辽宁省食品安全重点实验室, 生鲜农产品贮藏加工
及安全控制技术国家地方联合工程研究中心, 辽宁锦州 121013)

摘要:以‘金冠’苹果为试材, 研究 1 $\mu\text{L}/\text{L}$ 1-甲基环丙烯(1-MCP)和 0.2 mmol/L 乙烯利处理对其采后常温贮藏过程中生理变化及活性氧相关代谢的影响。结果表明:与对照相比, 1-MCP 处理有效延缓果实软化, 可滴定酸(TA)含量下降及可溶性固形物(TSS)含量上升, 明显抑制叶绿素降解、呼吸强度及乙烯生成, 提高超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)和过氧化物酶(POD)的活性, 减缓 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 产生速率、 H_2O_2 及丙二醛(MDA)的积累; 乙烯利处理主要在前期促进果实软化和 TA 含量下降, 促进叶绿素降解及乙烯生成, 使呼吸高峰提前, 对上述活性氧相关代谢有相反效果, 但对 TSS 无显著影响。结论: 1-MCP 处理保持了采后苹果果实的常温贮藏品质, 而乙烯利处理则相反, 苹果果实采后贮藏过程中活性氧的代谢与乙烯有关。

关键词: 苹果, 1-MCP, 乙烯利, 采后生理, 活性氧代谢

Effects of 1-methylcyclopropene and ethephon treatment on physiological changes and reactive oxygen metabolism of postharvest ‘Golden Delicious’ apple fruit during storage at ambient temperature

LV Jing-yi, ZHOU Ying, GE Yong-hong, LI Can-ying, ZHANG Meng-yuan

(College of Food Science and Technology, Bohai University, Food Safety Key Lab of Liaoning Province, National & Local Joint Engineering Research Center of Storage, Processing and Safety Control Technology for Fresh Agricultural and Aquatic Products, Jinzhou 121013, China)

Abstract: Effects of 1 $\mu\text{L}/\text{L}$ 1-methylcyclopropene(1-MCP) and 0.2 mmol/L ethephon on physiological changes and reactive oxygen metabolism of postharvest ‘Golden Delicious’ apples during storage at ambient temperature were investigated. The results showed that, compared with controls, 1-MCP treatment effectively delayed fruit softening, the decline of titratable acid (TA) content and the increase in total soluble solids (TSS); obviously inhibited chlorophyll degradation, respiration rate and ethylene production; increased the activity of superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) and peroxidase (POD); retarded superoxide anion ($\text{O}_2^{\cdot-}$) generation rate, the accumulation of H_2O_2 and malondialdehyde (MDA). Ethephon treatment mainly promoted fruit softening and the decline of TA content at the early storage period, accelerated the chlorophyll degradation and ethylene production, and also made the respiratory rate peak ahead of control. It had opposite effects on reactive oxygen metabolism mentioned above while had no significant effect on TSS content. In conclusion, 1-MCP treatment maintained the storage quality of postharvest apple fruit at ambient temperature, whereas ethephon treatment had opposite effects on it, the metabolism of reactive oxygen during postharvest storage of apple fruit was related to ethylene.

Key words: apple; 1-methylcyclopropene; ethephon; postharvest physiology; reactive oxygen metabolism

中图分类号: TS255.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2017)05-0339-06

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2017.05.056

苹果 (*Malus × domestica*) 是最常见水果之一, 其果实味甜, 口感爽脆, 富含营养, 深受消费者喜

收稿日期: 2016-09-14

作者简介: 吕静祎(1986-), 女, 博士, 讲师, 研究方向: 果蔬采后生物学与贮藏保鲜, E-mail: jingyi.lv@foxmail.com。

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目(31501537, 31401554); 渤海大学博士科研启动金项目(0515bs033-1)。

storage [J]. Fish. Res., 1989(7): 1-9.

规律及优势腐败菌的分离鉴定 [J]. 现代食品科技, 2016, 32

[13] 郑振霄, 周聘, 冯俊丽, 等. 冷海水保藏下鲈鱼菌相变化

(4): 81-86.

爱。苹果属呼吸跃变型果实,其货架寿命与乙烯产生水平息息相关^[1]。1-MCP 是乙烯受体抑制剂,能有效抑制果实成熟^[2],具有安全无毒、使用剂量小且效果显著等优点,被广泛应用于各类果蔬保鲜。尽管 1-MCP 对采后苹果的保鲜作用早有研究,但多数集中在低温长期贮藏时 1-MCP 的效果^[3-6],而对常温短期贮藏过程中 1-MCP 的效应研究较少。随着现代物流快速发展、人们消费理念的改变,果蔬从贮藏到食用周期变短,消费者对新鲜度要求也越来越高。因此有必要对苹果采后常温贮藏过程中 1-MCP 的效果进行研究。

果实成熟衰老是复杂的生理过程,自由基学说认为衰老即活性氧代谢失调与累积过程。在苹果^[6]、梨^[7]、猕猴桃^[8]、菠萝^[9]等果实上研究表明,1-MCP 能抑制乙烯生成,提高活性氧代谢相关酶活性,降低组织活性氧水平,延缓果实衰老。可见,采后果实内源乙烯水平发生改变对活性氧代谢有影响。乙烯利是国际通用催熟剂,能促进呼吸跃变型果实成熟过程中内源乙烯产生^[10]。目前国内关于乙烯利调控果实采后成熟过程活性氧代谢的研究较少^[11-14],在苹果上未见报道。

本文以‘金冠’苹果为材料,研究 1-MCP 和乙烯利处理对其采后常温贮藏期间相关生理指标和活性氧代谢的影响,旨在深入了解常温贮藏条件下 1-MCP 对苹果采后生理变化的影响,探讨乙烯对其成熟过程中活性氧代谢的调控作用,为找到新保鲜手段提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

‘金冠’苹果 于商业采收期(2015 年 9 月 27 日)采自辽宁省锦州市一果园,随机从 100 棵树上选取位置、大小、成熟度一致,无病虫害和机械损伤的果实,纸箱包装当天运回实验室处理;1-MCP 陕西咸阳西秦生物科技有限公司,有效浓度为 0.018%;乙烯利原药 北京索莱宝科技有限公司;其他试剂均为国产分析纯。

722N 可见分光光度计 上海精密科学仪器有限公司;UV-2550 紫外可见分光光度计和 GC-14A 型气相色谱仪 日本岛津公司;GY-3 指针式水果硬度计 浙江托普仪器有限公司;GXH-3051H 型果蔬呼吸测定仪 上海精密仪器仪表有限公司;Legend Micro21R 冷冻离心机 美国 Thermo 公司;WYT-32 型阿贝折光仪 厦门中村光学仪器厂。

1.2 实验方法

将果实分三组进行处理:第一组用 0.2 mmol/L 乙烯利浸果 20 min,取出晾干;第二组用 1 μL/L 1-MCP 常温(20~25 °C)密闭熏蒸 24 h;第三组为对照,不进行处理。每处理重复三次,每重复 60 个果实。处理后将果实放进纸箱常温贮藏,每 7 d 随机取 12 个果实,进行呼吸强度、乙烯释放速率及硬度的测定,另取 9 个果实将果肉和果皮分别用液氮速冻,贮存于-80 °C 用于测定其他生理指标。

1.3 生理指标及测定方法

1.3.1 乙烯释放速率和呼吸强度 每组随机挑选 4

个果实,常温密闭 1 h 后,抽取 1 mL 气体,用气相色谱仪测定乙烯释放速率,以 μL/(kg·h) 表示。呼吸速率参照葛永红等^[15]方法,用果蔬呼吸测定仪测定,以 mL CO₂/(kg·h) 表示。

1.3.2 硬度、TSS、TA 及叶绿素含量测定 采用 GY-3 型果实硬度计测定硬度。采用阿贝折光仪测定 TSS 含量。采用氢氧化钠溶液滴定法^[16]测定 TA 含量,折算系数以苹果酸计。参照曹建康等^[16]方法测定叶绿素含量,以每克果皮组织鲜重所含叶绿素质量表示,即 mg/g。

1.3.3 O₂⁻产生速率、H₂O₂ 及 MDA 含量测定 参照曹建康等^[16]方法测定,以每分钟每克果肉鲜重产生 O₂⁻物质的量作为其产生速率,以 nmol/(min·g) 表示。H₂O₂ 含量以每克果肉鲜重中 H₂O₂ 含量表示,单位为 μmol/g。采用硫代巴比妥酸法测定^[16]MDA 含量,以 μmol/g 表示。

1.3.4 活性氧代谢相关酶活性测定 采用氮蓝四唑(NBT)法^[16]测定 SOD 活性,紫外分光光度法^[16]测定 CAT 活性,愈创木酚法^[16]测定 POD 活性,单位均以 U/g 表示。

1.4 数据分析

上述各生理指标均重复取样三次,每样品重复测定三次,取平均值。采用 Excel 2010 进行数据分析与作图,SAS V_{8.0} 进行差异显著性分析, $p < 0.05$ 表示差异显著, $p < 0.01$ 表示差异极显著。

2 结果与分析

2.1 1-MCP 和乙烯利处理对乙烯释放速率的影响

乙烯与呼吸跃变型果实的成熟衰老密切相关^[1]。如图 1 所示,1-MCP 处理的果实乙烯释放速率在贮藏 35 d 内显著低于对照($p < 0.05$),在第 28 d 仅是对照的 0.39%,表明 1-MCP 处理抑制了果实贮藏期间的乙烯释放速率。乙烯利处理的果实乙烯释放速率在贮藏 35 d 内高于对照,在第 21 d 达到高峰,其峰值是对照的 1.2 倍($p < 0.01$),表明外源乙烯利处理促进了苹果果实乙烯的生成^[17-18]。

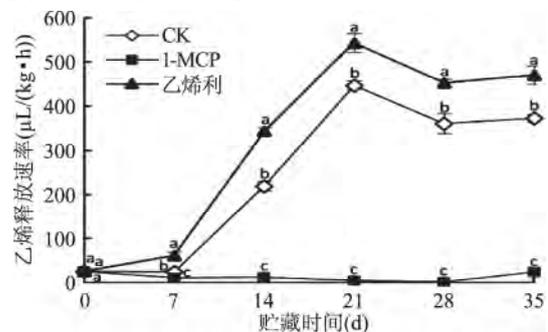


图 1 1-MCP 和乙烯利处理对‘金冠’果实乙烯释放速率的影响

Fig.1 Effects of 1-MCP and ethephon treatment on ethylene production of ‘Golden Delicious’ apples

注:图中不同字母表示差异显著($p < 0.05$),图 2~图 9 同。

2.2 1-MCP 和乙烯利处理对呼吸强度的影响

苹果是典型的呼吸跃变型果实,呼吸高峰的出现意味着成熟的到来,之后进入衰老过程^[10]。如图 2

所示,对照和乙烯利处理的果实呼吸强度均呈先上升后下降的趋势,对照果实的呼吸高峰出现在第21 d,峰值为55.70 mL CO₂/(kg·h),而乙烯利处理的果实呼吸高峰提前至第14 d,峰值为58.23 mL CO₂/(kg·h),表明乙烯利处理虽使呼吸高峰提前但并未显著提高其峰值;1-MCP处理的果实呼吸速率在贮藏35 d内显著低于对照($p < 0.05$),表明1-MCP处理抑制了果实的呼吸强度。

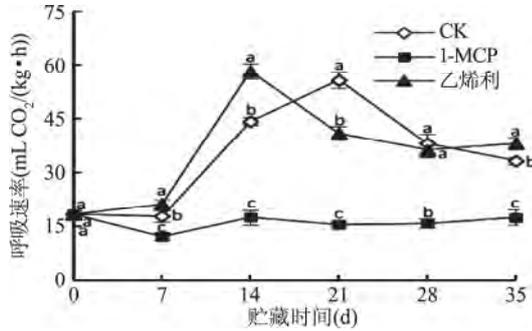


图2 1-MCP和乙烯利处理对‘金冠’果实呼吸强度的影响
Fig.2 Effects of 1-MCP and ethephon treatment on respiration rate of ‘Golden Delicious’ apples

2.3 1-MCP和乙烯利处理对硬度的影响

果实硬度是衡量其耐贮性的重要指标^[10]。各处理组的果实硬度在贮藏期间均呈现下降趋势(图3)。除第7 d外,1-MCP处理的果实硬度在贮藏期间显著高于对照($p < 0.05$),表明1-MCP处理延缓了果实的软化进程;乙烯利处理的果实贮藏前14 d显著低于对照($p < 0.05$),而在其他取样点与对照果实的硬度差异并不显著,表明乙烯利处理主要在贮藏前期促进果实的软化。李富军等^[19]发现乙烯利处理在贮藏后期明显促进了‘红富士’苹果的软化,与本实验结果不同,可能是所用苹果品种及乙烯利浓度不同造成的。

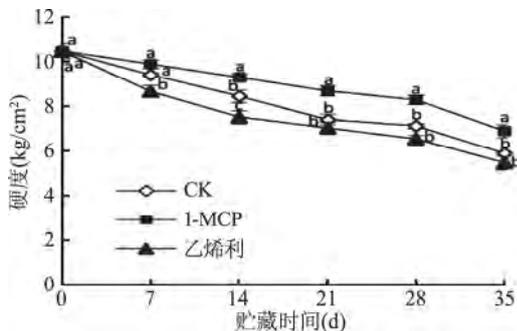


图3 1-MCP和乙烯利处理对‘金冠’果实硬度的影响
Fig.3 Effects of 1-MCP and ethephon treatment on firmness of ‘Golden Delicious’ apples

2.4 1-MCP和乙烯利处理对TSS含量的影响

果蔬样品中的TSS,主要是可溶性糖,是判断果实成熟的重要指标,直接影响其货架品质^[20]。如图4所示,各处理组的果实TSS含量均呈现先上升后下降的趋势。对照和乙烯利处理的果实TSS含量高峰均出现在第14 d,乙烯利处理的果实TSS含量在贮藏35 d内与对照差异不显著,表明乙烯利处理对常

温贮藏期间果实的TSS含量没有显著影响。1-MCP处理的果实TSS含量在第14 d比对照低7.5% ($p < 0.05$),而在其他取样点与对照差异不显著,表明1-MCP处理主要在贮藏前期延缓TSS含量上升。

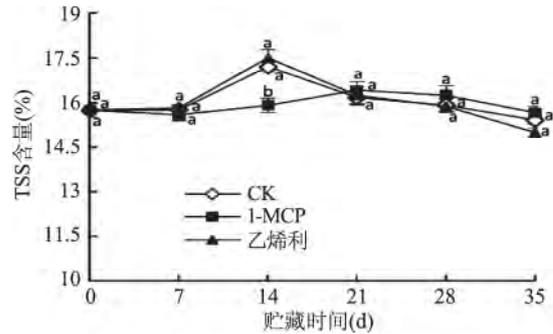


图4 1-MCP和乙烯利处理对‘金冠’果实TSS含量的影响
Fig.4 Effects of 1-MCP and ethephon treatment on TSS content of ‘Golden Delicious’ apples

2.5 1-MCP和乙烯利处理对TA含量的影响

可滴定酸是苹果风味评价指标之一,对果实的贮藏性有重要影响^[21]。如图5所示,各处理组果实的TA含量均呈现下降趋势。与采样当天(第0 d)相比,对照果实的TA含量在第35 d减少了0.33%,而1-MCP处理的果实TA含量在第35 d仅减少0.05%。除第7 d外,1-MCP处理的果实TA含量在贮藏35 d内显著高于对照($p < 0.05$),表明1-MCP处理延缓了果实TA含量的下降;乙烯利处理的果实TA含量在第14 d极显著低于对照($p < 0.01$),除第14 d和第21 d外,乙烯利处理的果实TA含量与对照差异不显著,表明乙烯利处理主要在贮藏前期促进果实的TA含量下降。

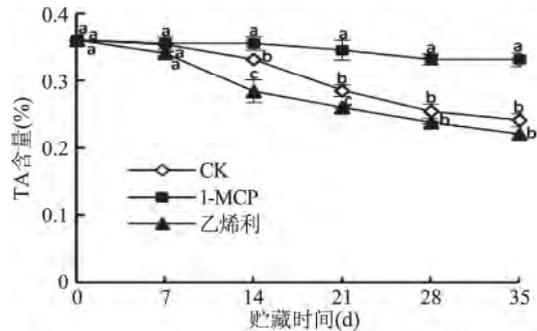


图5 1-MCP和乙烯利处理对‘金冠’果实TA含量的影响
Fig.5 Effects of 1-MCP and ethephon treatment on TA content of ‘Golden Delicious’ apples

2.6 1-MCP和乙烯利处理对叶绿素含量的影响

色泽是评价果蔬感官品质的重要指标。果实成熟过程中,由于叶绿素降解使其绿色消退,逐渐呈现出其他颜色^[22]。各处理组果实的叶绿素含量均呈现下降趋势(图6)。1-MCP处理的果实叶绿素含量在贮藏35 d内显著高于对照($p < 0.05$),在第35 d的叶绿素含量是对照的2.7倍,表明1-MCP处理减缓了叶绿素降解速度;除第35 d外,乙烯利处理的果实叶绿素含量在贮藏期间显著低于对照($p < 0.05$),在第28 d的叶绿素含量仅为对照的35.4%,与对照的差

异达极显著水平 ($p < 0.01$), 表明乙烯利处理加速了果皮叶绿素的降解。

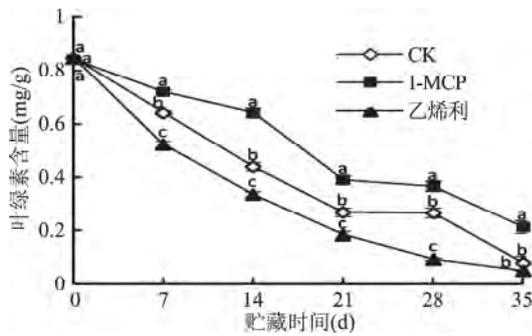


图6 1-MCP和乙烯利处理对‘金冠’果实叶绿素含量的影响

Fig.6 Effects of 1-MCP and ethephon treatment on chlorophyll content of ‘Golden Delicious’ apples

2.7 1-MCP和乙烯利处理对MDA含量的影响

丙二醛属于膜脂过氧化的产物,是表示膜损伤程度的指标^[16]。由图7所示,各处理组果实的MDA含量均呈上升趋势。1-MCP处理的果实MDA含量在贮藏35d内显著低于对照 ($p < 0.05$),表明1-MCP处理抑制了果实的膜脂过氧化进程;除第7d外,乙烯利处理的果实MDA含量显著高于对照 ($p < 0.05$),在第28d和第35d均为对照果实MDA含量的1.1倍,表明乙烯利处理促进了果实MDA含量的积累。

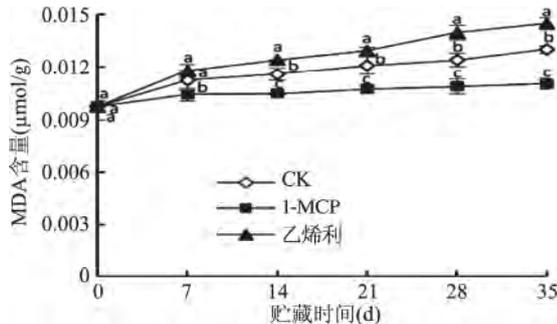


图7 1-MCP和乙烯利处理对‘金冠’果实MDA含量的影响

Fig.7 Effects of 1-MCP and ethephon treatment on MDA content of ‘Golden Delicious’ apples

2.8 1-MCP和乙烯利处理对 O_2^- 产生速率和 H_2O_2 含量的影响

跃变型果实成熟衰老过程中,随着抗氧化酶系统活性的逐渐下降和丧失,会产生大量活性氧,如 O_2^- 和 H_2O_2 ,若不及时清除,超过一定浓度便会毒害细胞,造成细胞死亡^[23]。

如图8A所示,各处理果实的 O_2^- 产生速率均呈现上升趋势,除第7d外,1-MCP处理的果实 O_2^- 产生速率在贮藏35d内显著低于对照 ($p < 0.05$),表明1-MCP处理减缓了果实 O_2^- 的产生速率;而乙烯利处理的果实 O_2^- 产生速率在贮藏期间显著高于对照 ($p < 0.05$),在第35d时 O_2^- 产生速率是对照的1.1倍,表明乙烯利处理加快了果实贮藏期间 O_2^- 的产生速率。

各处理果实的 H_2O_2 含量均在第21d达到高峰(图8B)。1-MCP处理的果实 H_2O_2 含量在贮藏35d内显著低于对照 ($p < 0.05$),在第35d仅为对照的55.9%,表明1-MCP抑制了果实 H_2O_2 的产生;而乙烯利处理的果实 H_2O_2 含量在贮藏期间显著高于对照 ($p < 0.05$),在第35d的含量是对照的1.2倍,表明乙烯利处理促进了果实 H_2O_2 的产生。综上,1-MCP处理明显抑制了采后苹果果实常温贮藏期间活性氧的产生,而乙烯利则有相反效果。

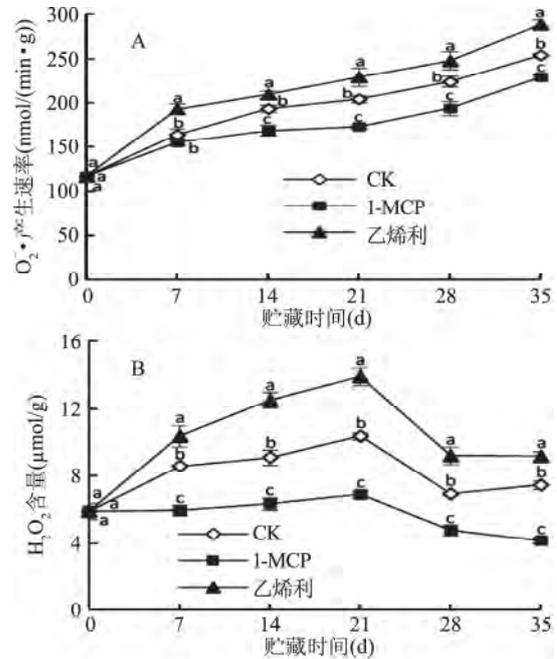


图8 1-MCP和乙烯利处理对‘金冠’果实 O_2^- 产生速率和 H_2O_2 含量的影响

Fig.8 Effects of 1-MCP and ethephon treatment on O_2^- generation rate and H_2O_2 content of ‘Golden Delicious’ apples

2.9 1-MCP和乙烯利处理对SOD、CAT和POD活性的影响

SOD、CAT和POD在果实组织活性氧代谢过程中起重要作用^[23]。

由图9A可知,各处理果实的SOD活性高峰均出现在第21d。1-MCP处理提高了果实的SOD活性,在第35d的SOD活性是对照的1.2倍 ($p < 0.01$);而乙烯利处理的果实SOD活性最低,在第21d、第28d和第35d的SOD活性极显著低于对照 ($p < 0.01$),分别比对照低29.3%、28.5%和37.6%,表明乙烯利处理对采后果实的SOD活性有抑制作用。

各处理果实的CAT活性高峰同样出现在第21d(图9B),1-MCP处理的果实CAT活性在贮藏35d内显著高于对照 ($p < 0.05$),在第21d的CAT活性是对照的1.2倍,表明1-MCP处理提高了果实的CAT活性;除35d外,乙烯利处理的果实CAT活性显著低于对照 ($p < 0.05$),在第14d、第21d和第28d的CAT活性分别比对照低21.1%、12.8%和18.6%,表明乙烯利在一定程度上抑制了果实贮藏期间的CAT活性。

POD 活性变化规律与 SOD 和 CAT 相似,各处理果实的 POD 活性高峰出现均出现在第 21 d (图 9C)。1-MCP 处理提高了果实的 POD 活性,在第 21 d 的 POD 活性是对照的 1.2 倍;而乙烯利处理的果实 POD 活性低于对照,在第 7 d 和第 28 d 的 POD 活性分别比对照低 24.9% 和 33.8%,均与对照有极显著差异 ($p < 0.01$) 表明乙烯利对采后果实贮藏期间的 POD 活性有一定抑制作用(图 9C)。综上,1-MCP 处理提高了采后苹果果实常温贮藏期间活性氧代谢酶促系统 SOD、CAT 和 POD 的活性,而乙烯利则相反。

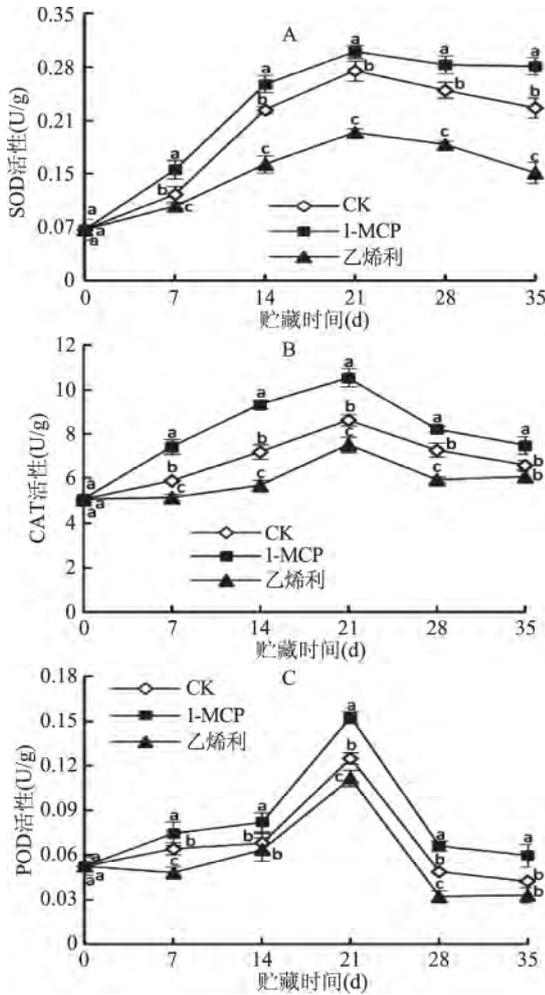


图9 1-MCP 和乙烯利处理对‘金冠’果实 SOD、CAT 和 POD 活性的影响

Fig.9 Effects of 1-MCP and ethephon treatment on SOD, CAT and POD activity of ‘Golden Delicious’ apples

3 结论与讨论

1-MCP 能阻断乙烯信号转导从而抑制其引起的生化反应,延缓果实成熟^[2]。本研究结果显示,采后‘金冠’苹果常温贮藏期间,1-MCP 处理抑制了呼吸强度与乙烯生成,延缓了果实硬度、TA 及叶绿素含量下降,减缓了 TSS 含量上升,与孙希生等^[24-25]在‘金冠’上研究结果一致,在其他苹果品种,如‘红富士’^[26]、‘新红星’^[27]、‘寒富’^[28]上也有相似结果。然而王凤霞等^[4]在水‘花牛’苹果、王云香等^[20]在采后九成成熟的‘红富士’和‘金冠’苹果上研究表明,1-MCP 处理对常温贮藏期间果实 TSS 含量影响不显

著,可见 1-MCP 对 TSS 含量的影响因品种和处理时果实成熟度而异。总体来看,1-MCP 处理保持了‘金冠’苹果常温贮藏品质。

乙烯催熟能促进跃变型果实软化^[29-30]、叶绿素降解^[31-33]及可滴定酸含量下降^[34-36],本研究有相同结果。在‘阿巴特’梨果实上研究表明乙烯利处理对其贮藏期间 TSS 含量无显著影响^[37],与本研究结果一致,而在‘菊水’梨上研究发现该处理明显促进 TSS 含量下降^[29]在猕猴桃上则使其含量上升^[35],可见乙烯利对果实成熟期间 TSS 含量影响与果实种类及品种有关。本研究乙烯利处理使采后‘金冠’苹果呼吸峰提前但未改变峰值,魏建梅等^[30]发现该处理对采后‘嘎拉’苹果呼吸强度影响不显著,能使‘金冠’和‘富士’苹果呼吸峰提高却未提前,表明其对呼吸强度影响因品种而异,在‘金冠’上的不同结果可能是所用果实成熟度差异造成的。本研究发现乙烯利处理使‘金冠’苹果乙烯释放高峰峰值提高但未使其提前,这与 Yang 等^[17]在‘金冠’苹果上和张莹莹等^[18]在‘富士’苹果上的研究结果一致,而在‘泰山’早霞苹果上的研究表明乙烯利处理使乙烯释放高峰提前且峰值提高^[34],不同的处理效果可能是由于所用苹果品种及处理方式不同造成的。

植物体内活性氧代谢酶促系统对活性氧清除至关重要,SOD 首先参与反应,它使 $O_2 \cdot$ 歧化成 H_2O_2 , H_2O_2 经 CAT 或 POD 催化成 H_2O 和 O_2 ^[38]。‘金冠’果实常温贮藏期间,1-MCP 处理提高了 SOD、CAT 和 POD 活性,抑制了活性氧积累,减缓了膜脂过氧化作用,与梨^[7]、猕猴桃^[8]、番石榴^[39]、‘粉红女士’^[40]及‘岳冠’苹果^[6]上的研究结果一致;而乙烯利处理则相反,在杏^[11]、毛叶枣^[12]和芒果^[13]上也有相似报道。本研究 1-MCP 降低了‘金冠’苹果内源乙烯产生水平,提高了活性氧代谢相关酶活力,抑制了活性氧积累,而乙烯利处理提高了内源乙烯产生水平,降低了活性氧代谢相关酶活力,促进了活性氧积累,表明苹果果实采后贮藏过程中活性氧的代谢与乙烯有关。苹果基因组序列现已获得,今后可深入研究乙烯对活性氧代谢关键酶基因的调控机制。

参考文献

- [1] Barry C S, Giovannoni J J, et al. Ethylene and fruit ripening [J]. Journal of Plant Growth Regulation 2007, 26: 143-159.
- [2] Sisler E C, Serek M. Inhibitors of ethylene responses in plants at the receptor level: recent developments [J]. Physiologia Plantarum, 1997, 100(3): 577-582.
- [3] 贾晓辉, 佟伟, 王文辉, 等. 1-MCP、MAP 对苹果冷藏期间品质及保鲜效果的影响 [J]. 食品科学, 2011, 32(8): 305-308.
- [4] 王凤霞, 陆文文, 杨利侠, 等. 低温及 1-MCP 处理对天水‘花牛’苹果贮藏品质与生理变化的影响分析 [J]. 食品科学, 2014, 35(22): 346-349.
- [5] 李江阔, 刘畅, 张鹏, 等. 低温条件下不同时期 1-MCP 处理对金冠苹果生理和品质的影响 [J]. 食品科学, 2015, 36(18): 220-224.

- [6]张佰清,姜海峰,魏宝东,等.1-甲基环丙烯对岳冠苹果采后生理酶活性的影响[J].食品研究与开发,2016,37(5):137-141.
- [7]Liu R,Xu Y,Li B,et al.The role of 1-methylcyclopropene in lipid peroxidation, antioxidant enzyme activities, and ethylene biosynthesis in 'Laiyang' pear (*Pyrus bretschneideri* Rehd.) during fruit ripening[J].The Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 2015, 90(2):210-216.
- [8]Park YS,Im MH,Gorinstein S.Shelf life extension and antioxidant activity of 'Hayward' kiwifruit as a result of prestorage conditioning and 1-methylcyclopropene treatment[J].Journal of Food Science and Technology, 2015, 52(5):2711-2720.
- [9]张鲁斌,贾志伟,谷会.适宜1-MCP处理保持采后菠萝常温贮藏品质[J].农业工程学报,2016,32(4):290-296.
- [10]饶景萍,任小林.园艺产品贮藏学[M].陕西:陕西人民出版社,2003:37-38.
- [11]郭香凤,张国海,史国安,等.乙烯利对杏果实后熟的生理效应[J].河南农业大学学报,2001,35(2):122-124.
- [12]郑诚乐,王晓飞,潘东明,等.乙烯利处理对毛叶枣果实采后保护酶活性及膜透性的影响[J].江西农业大学学报,2008,30(1):36-39.
- [13]Singh R,Dwivedi UN.Effect of ethrel and 1-methylcyclopropene (1-MCP) on antioxidants in mango (*Mangifera indica* var. Dashehari) during fruit ripening[J].Food Chemistry, 2008, 111(4):951-956.
- [14]胡位荣,刘顺枝,江月玲,等.乙烯利处理对沙田柚采后果实品质及衰老的影响[J].果树学报,2013,30(3):458-464.
- [15]葛永红,李灿婴,朱丹实,等.采后柠檬酸处理对苹果青霉病的控制及其贮藏品质的影响[J].食品科学,2014,35(22):255-259.
- [16]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,2013:84-124.
- [17]Yang X,Song J,Campbell-Palmer L,et al.Effect of ethylene and 1-MCP on expression of genes involved in ethylene biosynthesis and perception during ripening of apple fruit[J].Postharvest Biology and Technology, 2013, 78(4):55-56.
- [18]张莹莹,任小林,王雷存,等.苹果果实发育及成熟软化过程中LOX的活性特点[J].西北农业学报,2010,19(9):159-162.
- [19]李富军,翟衡,杨洪强,等.1-MCP对苹果果实贮藏期间乙烯合成代谢的影响[J].中国农业科学,2004,37(5):734-738.
- [20]王云香,张亚楠,曲桂芹,等.1-MCP处理对苹果采后常温贮藏品质的影响[J].食品科学,2016,37(16):280-285.
- [21]郑丽静,聂继云,李明强,等.苹果风味评价指标的筛选研究[J].中国农业科学,2015,48(14):2796-2805.
- [22]Hörttensteiner S,Kräutler B.Chlorophyll breakdown in higher plants[J].Biochimica et Biophysica Acta,2011,1807(8):977-988.
- [23]田世平,罗云波,王桂禧.园艺产品采后生物学基础[M].北京:科学出版社,2014:46-47.
- [24]孙希生,王文辉,王志华,等.1-MCP对苹果采后生理的影响[J].果树学报,2003,20(1):12-17.
- [25]孙希生,王志华,辛广,等.不同处理条件下1-MCP对金冠苹果呼吸强度和品质的影响[J].果树学报,2004,21(2):141-144.
- [26]邓惠文,赵磊,许卫峰.不同浓度1-MCP对红富士苹果采后生理和贮藏效果的影响[J].陇东学院学报,2015,26(5):83-87.
- [27]佟伟,王文辉,姜修成,等.新型1-MCP缓释粉剂对新红星苹果贮藏效果研究[J].中国果树,2015(2):20-23.
- [28]程顺昌,冷俊颖,任小林,等.不同环丙烯类乙烯抑制剂对苹果常温贮藏保鲜效果的影响[J].农业工程学报,2012,28(2):269-273.
- [29]李志强,乔玉山,徐长宝,等.不同后熟期菊水梨果实对外源乙烯和1-MCP处理的生理响应[J].西北植物学报,2008,28(9):1862-1867.
- [30]魏建梅,刘长江,朱向秋,等.苹果果实发育成熟软化过程中脂氧合酶活性变化及采后乙烯调控[J].河北农业科学,2008,12(7):27-30.
- [31]Whale S K,Singh Z,Behboudian M H,et al.Fruit quality in 'Cripp's Pink' apple especially colour as affected by preharvest sprays of aminoethoxyvinylglycine and ethephon[J].Scientia Horticulturae, 2008, 115(4):342-351.
- [32]Bower J H,Biasi W V,Mitcham E J.Effect of ethylene in the storage environment on quality of 'Bartlett pears' [J].Postharvest Biology and Technology, 2003, 28(3):371-379.
- [33]Pranamomkith T,East A,Heyes J.Influence of exogenous ethylene during refrigerated storage on storability and quality of *Actinidia chinensis* (cv. Hort16A) [J]. Postharvest Biology and Technology, 2012, 64(1):1-8.
- [34]魏颖超.ABA与乙烯对'泰山早霞'苹果果实成熟的影响[D].山东农业大学,2013:22-23.
- [35]李泽珍,狄建兵,张杰.乙烯利处理对猕猴桃品质的影响[J].农产品加工,2014,6(356):8-12.
- [36]胡花丽,梁丽松,王贵禧,等.外源乙烯对CA贮藏桃果实品质变化的影响[J].食品科学,2008,29(1):338-342.
- [37]贾晓辉,王文辉,佟伟,等.乙烯对阿巴特梨后熟过程中生理效应的影响[J].吉林农业大学学报,2009,31(4):407-410.
- [38]Mittler R.Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance [J].Trends in Plant Science, 2002, 7(9):405-410.
- [39]Hong K Q,He Q G,Xu H B,et al.Effects of 1-MCP on oxidative parameters and quality in 'Pearl' guava (*Psidium guajava* L.) fruit [J].The Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 2013, 88(2):117-122.
- [40]王晓飞,杨艳青,任小林,等.1-MCP对'粉红女士'苹果果实采后生理及其品质的影响[J].食品科学,2014,35(18):219-223.