

1-MCP 对‘雪花’梨冷藏后货架期间品质和生理的影响

关军锋, 牛京京, 王燕霞, 高曼曼

(河北省农林科学院遗传生理研究所, 河北省植物转基因中心, 河北石家庄 050051)

摘要: 为改善‘雪花’梨的贮藏品质, 延长货架期, 使用 1-甲基环丙烯 (1-MCP) 处理采后‘雪花’梨果实, 对冷藏后货架期间果实品质和生理生化指标进行分析。结果表明, 1-MCP 处理 (0.5、1.0 $\mu\text{L/L}$) 能保持货架期间‘雪花’梨较高的硬度和可滴定酸含量, 对果实可溶性固形物和可溶性糖含量的影响不显著; 并明显降低果实的呼吸速率和乙烯释放速率, 抑制水溶性果胶含量增高以及 CDTA 溶性和 Na_2CO_3 溶性果胶含量下降; 还明显减少冷藏 270 d 后货架期黑心褐变发生, 降低果心的可溶性酚含量和多酚氧化酶 (PPO) 活性, 提高其过氧化物酶 (POD) 活性, 但对果心的超氧化物歧化酶 (SOD) 和过氧化氢酶 (CAT) 的活性无显著影响。上述结果中以 1.0 $\mu\text{L/L}$ 浓度的 1-MCP 处理效果较为明显, 有利于‘雪花’梨货架期品质维持。

关键词: 梨; 1-甲基环丙烯; 货架期; 果实品质; 褐变

文章编号: 1673-9078(2016)3-197-203

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2016.3.032

Effects of 1-Methylcyclopropene on the Quality and Physiology of ‘Xuehua’ Pear after Cold Storage

GUAN Jun-feng, NIU Jing-jing, WANG Yan-xia, GAO Man-man

(Institute of Genetics and Physiology, Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences; Plant Genetic Engineering Center of Hebei Province, Shijiazhuang 050051, China)

Abstract: ‘Xuehua’ pears were treated with 1-methylcyclopropene (1-MCP) after harvest to improve their storage quality and to extend their shelf life. Physio-biochemical indices of the fruits were investigated after cold storage. Treatment of ‘Xuehua’ pears with 0.5 and 1.0 $\mu\text{L/L}$ 1-MCP maintained their firmness and titratable acid content but did not exert any significant effect on total soluble solid and sugar contents after cold storage. Further, treatment of the fruits with 1-MCP markedly decreased their respiration and ethylene production rates, inhibited the increase in water-soluble pectin content, and decreased cyclohexanediamine tetraacetic acid- and Na_2CO_3 -soluble pectin content in the pulp of the fruits after cold storage. In addition, 1-MCP treatment markedly decreased core browning index, soluble phenol content, and polyphenol oxidase activity and increased peroxidase activity after cold storage of the fruits for 270 days. However, 1-MCP treatment did not significantly affect superoxide dismutase and catalase activities in the core tissue of the fruits after cold storage. These effects were more apparent after treatment with 1.0 $\mu\text{L/L}$ 1-MCP, suggesting that this concentration could be used to maintain the quality of ‘Xuehua’ pears during cold storage.

Key words: pear; 1-methylcyclopropene; shelf life; fruit quality; browning

‘雪花’梨是我国特产白梨品种, 具有个大、皮薄、肉脆、汁多、味甜的特点。不仅深受国内人民喜欢, 而且远销国外, 成为河北省优质的出口水果之一。但长期贮藏后, 果实容易软化和果心褐变, 降低了果实商品品质, 严重影响了‘雪花’梨的质量和出口声誉。

研究证明, 1-甲基环丙烯 (1-MCP) 是一种新型乙烯作用拮抗剂, 近些年在水果保鲜上应用十分广泛。

收稿日期: 2014-10-08

基金项目: 国家梨产业技术体系建设资助项目 (CARS-29-20)

作者简介: 关军锋 (1966-), 男, 博士, 研究员, 主要从事果实采后生物学研究。

它能明显降低果实的呼吸速率和乙烯释放速率, 推迟跃变型果实呼吸高峰出现, 还能抑制果实细胞壁物质降解, 降低细胞壁水解酶, 调节其相关基因的表达, 推迟果实软化, 因此, 能抑制果实衰老, 延长贮藏时间, 但对个别果实品质性状的影响因不同果实类型而表现不一^[1~7]。并且, 1-MCP 处理又能改变果实的氧化还原状态, 降低果实酚含量和多酚氧化酶 (PPO) 活性, 从而抑制 PPO 催化的酚类物质氧化导致的组织褐变^[8,9,10], 提高其商品价值, 但 1-MCP 对果实褐变的作用机制的研究还不够系统。此外, 1-MCP 处理的效果除冷藏期外, 还可延续到货架期果实的品质维持。

但目前为止,有关 1-MCP 处理对果实长期冷藏后货架期品质的调控作用还了解较少^[3,5,6]。因此,1-MCP 在延长果实货架期中的作用及其机制值得重视。

本研究室前期的研究表明,1-MCP 能明显延缓常温贮藏时‘雪花’梨果实的衰老,减少腐烂^[10]。但是,1-MCP 对‘雪花’梨长期冷藏及其货架期生理特性与品质的影响如何,还缺乏系统的研究。本研究的目的在于探讨采后 1-MCP 处理对‘雪花’梨冷藏期和货架期间品质的影响及其作用机理,为研究适宜的采后 1-MCP 处理技术和延长货架期提供新的理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与处理

‘雪花’梨于商业采收期(2010年9月15日)采自主产区河北省赵县范庄镇基地果园,采收当天运回实验室。挑取大小均一、无机械伤、无病虫害的果实作为试验用果,处理如下:0.5 $\mu\text{L/L}$ 和 1.0 $\mu\text{L/L}$ 1-MCP (有效成分 0.14%,由美国罗门哈斯公司北京办事处提供)密封处理,以空气密封为对照,室温(25 $^{\circ}\text{C}$)下密闭 24 h 后取出,置于 0 $^{\circ}\text{C}$ 冷库贮藏,分别在冷藏 90、180、270 d 后出库,置于 20 $^{\circ}\text{C}$ 室温下模拟货架贮藏,测定果实品质及生理指标。每处理至少 300 个果实,每次取样 10 个果实,重复 3 次。仔细取果肉和果心的样品经液氮速冻后-80 $^{\circ}\text{C}$ 保存,备用。

1.2 测定方法

(1) 硬度:将果实去皮后,采用 GY-1 硬度计测果肉硬度。

(2) 可溶性固形物(TSS)含量:采用 PAL-1 (日本产)糖度仪测定。

(3) 可滴定酸(TA)含量:采用酸碱滴定法测定^[10]。

(4) 可溶性糖含量:采用蒽酮比色法测定^[10]。称 5 g 冷冻果肉组织,加 20 mL 80% 乙醇研磨,然后 80 $^{\circ}\text{C}$ 水浴 30 min,过滤取上清。取 0.1 mL 上清液稀释适当倍数,再取 0.5 mL 稀释液加入 3 mL 蒽酮试剂,沸水浴 10 min,待恢复到室温后,于 620 nm 处比色,以葡萄糖做标准曲线。

(5) 呼吸速率:采用 HWF-1A CO_2 红外分析法^[10]。

(6) 乙烯释放速率:将把果实放在气密性良好的真空干燥器中密封 5 h 后,抽 1 mL 气体用 GC-9800 (上海科创)气相色谱仪测乙烯浓度。乙烯分析条件为:柱箱温度 78 $^{\circ}\text{C}$,气化室温度 120 $^{\circ}\text{C}$,氢火焰离子

检测器(FID)温度 200 $^{\circ}\text{C}$;载气为氮气(N_2),燃气为氢气(H_2),助燃气为空气(Air);氮气流量是 40 mL/min (0.04 MPa),氢气流量是 40 mL/min (0.04 MPa),空气流量是 30 mL/min (0.03 MPa)。

(7) 可溶性酚含量测定:参照 Folin-酚方法^[10]测定。称 3 g 冷冻果心组织,依次加入 5 mL 无水乙醇和 5 mL 10% 的三氯乙酸,匀浆,然后 0 $^{\circ}\text{C}$ 静置 24 h,12000 r/min 离心 15 min。取稀释 10 倍的上清液 1.0 mL,加 3 mL Folin 试剂,混合后加入 1 mL 10% Na_2CO_3 -0.5 mol/L NaOH 溶液。50 $^{\circ}\text{C}$ 保温 15 min,冰溶冷却 5 min,在 580 nm 处比色,以没食子酸做标准曲线。

(8) 果心中多酚氧化酶(PPO)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)和超氧化物歧化酶(SOD)活性的测定

取 3 g 冷冻果心液氮研磨后,加 5 mL 磷酸缓冲液(PBS, 0.05 mol/L, pH 7.8),4 $^{\circ}\text{C}$ 下 12000 r/min 离心 30 min,上清液即为粗酶液,酶活性测定同文献^[10]方法。PPO 活性测定采用邻苯二酚法,以每分钟增加 0.01 OD 值为一个酶活力单位(U);POD 采用愈创木酚法,以每分钟增加 OD₄₇₀ 值为酶活力单位;CAT 采用 H_2O_2 紫外吸收法,以每分钟减少 0.01 个 A 值所需酶量为 1 个活性单位;SOD 采用氮蓝四唑(NBT)反应法,以每毫克蛋白抑制 NBT 光化还原的 50% 为一个酶活性单位(U)表示。

酶液中的蛋白质含量测定参照 Bradford (1976)^[11]方法,以牛血清蛋白为标准液。

(9) 细胞壁物质的提取及果胶含量的测定

参考 Brummell^[12]方法。称 20.0 g 冻样果肉组织,匀浆后加 30 mL 80% 乙醇在沸水中煮 20 min,冷却后 8000 r/min 离心 10 min,弃掉上清液,用 30 mL 80% 乙醇和纯丙酮各洗 2 遍,再后用 90% 二甲亚砜浸泡 15 h,8000 r/min 离心去上清液,收集剩余残渣在 45 $^{\circ}\text{C}$ 干燥,称重得到细胞壁物质(CWM)。分别用蒸馏水、含有 50 mmol/L CDTA 的乙酸钠(pH 6.5)、50 mmol/L 的 Na_2CO_3 (含 2 mmol/L CDTA) 分别提取水溶性果胶、离子溶性果胶和共价溶性果胶。果胶含量采用咔唑方法测定^[12]。

(10) 果心褐变指数

按照果心褐变面积分 4 级,0 级:无褐心现象;I 级:褐心面积占整个果心面积比例 < 1/4,即褐心现象较轻微;II 级:褐心面积 1/4~1/2;III 级:褐心面积 > 1/2。根据下面的公式进行计算褐变指数:

褐变指数 = \sum (黑心级数 × 果数) / (最高级 × 总果数)

以上指标测定时,重复3次取样,每重复取10个果实;生理指标测定时重复测定3次。

1.3 数据统计与分析

采用Excel进行数据的统计分析,使用DPS软件进行显著性检验。

2 结果与讨论

2.1 1-MCP对‘雪花’梨果实冷藏后货架期间品

质的影响

‘雪花’梨冷藏后货架期间硬度和可滴定酸含量下降,可溶性固形物和可溶性糖含量呈上升趋势,各处理间变化不一致。与对照相比,1.0 $\mu\text{L/L}$ 的1-MCP能保持果实在货架期间具有较高的硬度和可滴定酸含量,而0.5 $\mu\text{L/L}$ 1-MCP的效果次之,但对可溶性固形物和可溶性糖含量的影响不显著(表1)。这说明,1-MCP处理能明显延缓‘雪花’梨果实的软化,并能保持较好的风味。

表1 1-MCP对‘雪花’梨冷藏后货架期间果实品质的影响

Table 1 Effects of 1-MCP on the quality of ‘Xuehua’ pears after cold storage

贮藏时间/d	1-MCP浓度/ $\mu\text{L/L}$	硬度/ (kg/cm^2)	可溶性固形物/%	可滴定酸/%	可溶性糖/ (mg/g)
0	初始值	8.65 \pm 0.33 ^a	11.13 \pm 0.28	0.15 \pm 0.01 ^a	71.93 \pm 0.49
90	0	7.73 \pm 0.40 ^a	11.34 \pm 0.38	0.11 \pm 0.01 ^a	77.90 \pm 0.39
	0.5	8.05 \pm 0.39 ^a	11.03 \pm 0.45	0.11 \pm 0.01 ^a	76.76 \pm 0.60
	1.0	8.21 \pm 0.49 ^a	11.33 \pm 0.54	0.11 \pm 0.01 ^a	72.10 \pm 0.40
90+7	0	7.53 \pm 0.38 ^a	10.60 \pm 0.42	0.12 \pm 0.01 ^b	80.37 \pm 0.41
	0.5	7.81 \pm 0.44 ^a	11.23 \pm 0.46	0.13 \pm 0.01 ^b	78.11 \pm 0.35
	1.0	8.19 \pm 0.66 ^a	11.16 \pm 0.52	0.15 \pm 0.01 ^a	75.96 \pm 0.82
90+14	0	7.46 \pm 0.50 ^a	11.21 \pm 0.50	0.14 \pm 0.01 ^a	80.61 \pm 0.97
	0.5	7.77 \pm 0.49 ^a	11.84 \pm 0.45	0.14 \pm 0.01 ^a	77.76 \pm 0.52
	1.0	7.90 \pm 0.55 ^a	11.72 \pm 0.35	0.16 \pm 0.01 ^a	76.79 \pm 0.57
180	0	8.90 \pm 0.59 ^a	10.71 \pm 0.47	0.12 \pm 0.01 ^a	83.84 \pm 0.11
	0.5	9.18 \pm 0.57 ^a	11.28 \pm 0.58	0.10 \pm 0.01 ^a	83.56 \pm 0.20
	1.0	9.19 \pm 0.64 ^a	11.31 \pm 0.50	0.11 \pm 0.01 ^a	83.28 \pm 0.27
180+7	0	7.71 \pm 0.38 ^b	11.10 \pm 0.68	0.11 \pm 0.01 ^a	85.58 \pm 0.99
	0.5	8.35 \pm 0.21 ^b	11.58 \pm 0.61	0.12 \pm 0.01 ^a	84.64 \pm 0.39
	1.0	8.45 \pm 0.26 ^a	11.63 \pm 0.66	0.12 \pm 0.01 ^a	84.08 \pm 0.73
180+14	0	6.90 \pm 0.28 ^b	11.12 \pm 0.42	0.09 \pm 0.01 ^b	86.06 \pm 0.11
	0.5	7.92 \pm 0.16 ^b	11.64 \pm 0.42	0.12 \pm 0.01 ^a	85.78 \pm 0.40
	1.0	8.00 \pm 0.84 ^a	11.71 \pm 0.67	0.12 \pm 0.01 ^a	85.26 \pm 0.45
270	0	7.10 \pm 0.19 ^b	10.36 \pm 0.44	0.10 \pm 0.01 ^a	85.31 \pm 0.59
	0.5	7.95 \pm 0.47 ^b	10.76 \pm 0.43	0.10 \pm 0.01 ^a	84.89 \pm 0.99
	1.0	8.48 \pm 0.28 ^a	10.63 \pm 0.59	0.10 \pm 0.01 ^a	84.45 \pm 0.97
270+7	0	7.64 \pm 0.31 ^a	10.52 \pm 0.64	0.11 \pm 0.01 ^a	86.67 \pm 0.80
	0.5	8.01 \pm 0.20 ^a	11.25 \pm 0.50	0.10 \pm 0.01 ^a	85.95 \pm 0.19
	1.0	8.60 \pm 0.36 ^a	11.38 \pm 0.38	0.10 \pm 0.01 ^a	85.89 \pm 0.46
270+14	0	7.20 \pm 0.20 ^a	10.81 \pm 0.27	0.13 \pm 0.01 ^a	90.14 \pm 0.55
	0.5	7.71 \pm 0.85 ^a	10.82 \pm 0.50	0.14 \pm 0.01 ^a	88.28 \pm 0.55
	1.0	7.88 \pm 0.04	10.55 \pm 0.51	0.14 \pm 0.01 ^a	87.12 \pm 0.29

注: 1: 上表中贮藏时间中 +7、+14分别为冷藏后常温货架7、14 d,以后同之; 2: 纵栏中数值后的不同小写英文字母表示处理之间在5%水平上差异显著。

2.2 1-MCP 对冷藏后货架期间‘雪花’梨呼吸

速率和乙烯释放速率的影响

‘雪花’梨果实在冷藏 90 d 后货架期间，对照果实的呼吸速率出现明显的跃变高峰，而在冷藏 180、270 d 后的货架期间，未出现明显的跃变高峰；与之不同，在冷藏 90、180、270 d 后货架期间，果实的乙烯释放速率均出现高峰。与对照相比，1-MCP 明显降低了货架期间果实的呼吸速率和乙烯释放速率，但二种 1-MCP 处理浓度之间无显著差别（图 1）。这说明，随着果实贮藏时间的延长，果实内在的呼吸跃变现象减弱；与之不同，果实内源乙烯大量生成的能力依然存在。1-MCP 在不同程度上抑制了果实的呼吸速率和乙烯释放速率，从而在一定程度上起到了延缓果实衰老的作用。这种现象，与 1-MCP 明显抑制果实乙烯生成及其信号转导^[1]有关。

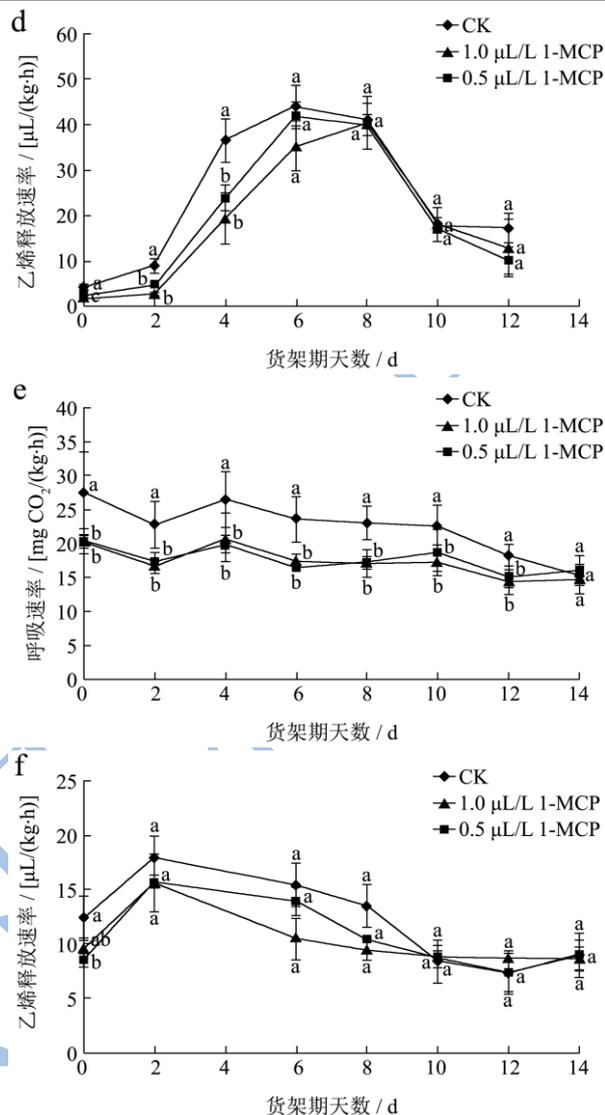
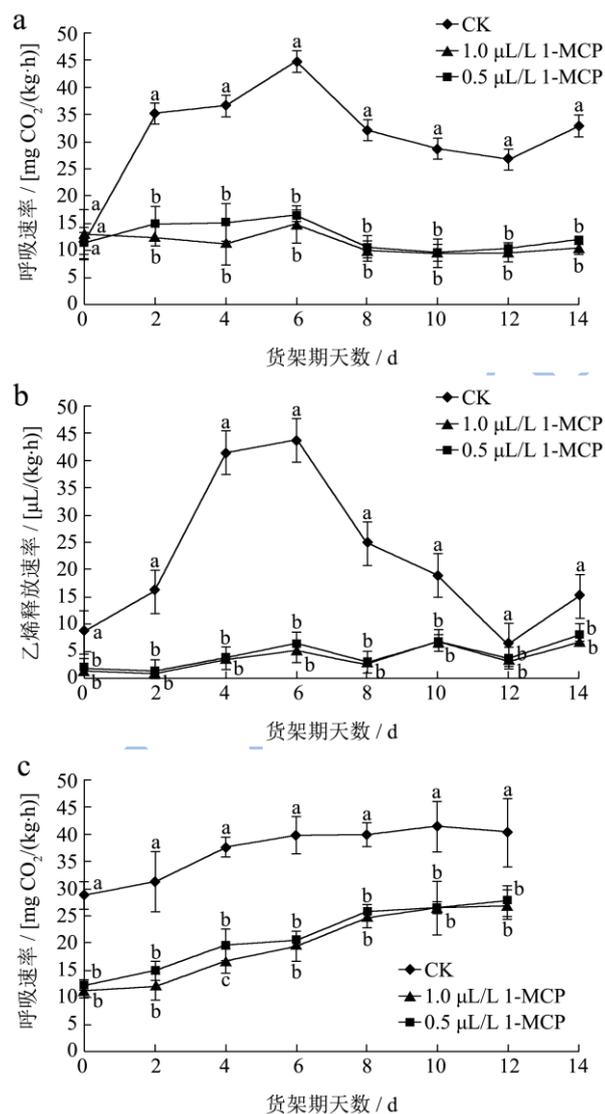


图 1 1-MCP 处理对冷藏 90 d (a, b)、180 d (c, d)、270 (e, f) d 后货架期间‘雪花’梨果实的呼吸速率和乙烯释放速率的影响

Fig.1 Effects of 1-MCP on the respiration and ethylene production rates of ‘Xuehua’ pears after cold storage for 90 (a and b), 180 (c and d), and 270 days (e and f)

注：图中标记的不同小写英文字母表示处理之间在5%水平上差异显著。

2.3 1-MCP 对冷藏后货架期间‘雪花’梨果实

果胶含量的影响

‘雪花’梨冷藏期间以及货架期间，果肉水溶性果胶含量呈上升趋势，1-MCP 处理具有一定的抑制作用，且以 1.0 μL/L 1-MCP 处理的效果显著（图 2）。与此同时，果肉 CDTA 溶性果胶和 Na₂CO₃ 溶性果胶含量均呈下降趋势，1-MCP 明显延缓该下降趋势，且

1.0 μL/L 1-MCP 处理的效果优于 0.5 μL/L 的处理, 在货架 14 d 时处理之间的差别显著 (图 2)。这种结果表明, 1-MCP 明显抑制了果实由结合态果胶向可溶态果胶的转化, 其原因在于 1-MCP 能抑制果实细胞壁水解酶的活性及其基因表达^[1]。这是 1-MCP 能延缓果实软化的部分机制。

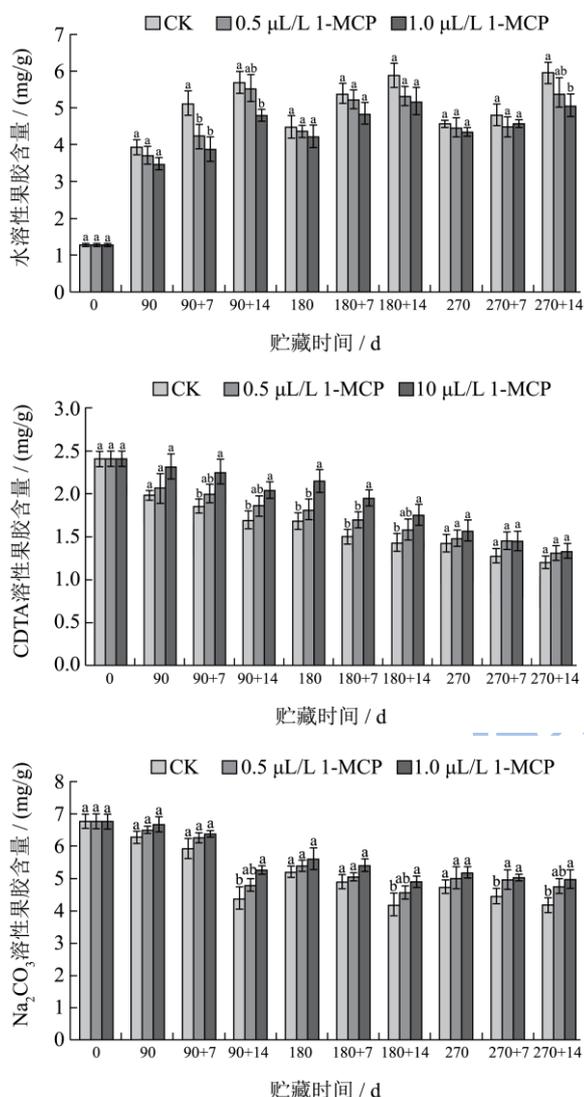


图 2 1-MCP 对‘雪花’梨冷藏后货架期果肉水溶性果胶、CDTA 溶性果胶和 Na₂CO₃ 溶性果胶含量的影响

Fig.2 Effects of 1-MCP on water-soluble pectin (a), CDTA-soluble pectin (b), and Na₂CO₃-soluble pectin (c) contents in the pulp of ‘Xuehua’ pears after cold storage

注: 图中标记的不同小写英文字母表示处理之间在 5% 水平上差异显著。

2.4 1-MCP 对‘雪花’梨冷藏后货架期间果心褐变及生理的影响

‘雪花’梨果实冷藏 270 d 时, 对照果实开始出现轻

微的褐心现象, 褐心指数达 0.11, 而 1-MCP 处理的果实未出现褐心。随后的货架期间, 对照果实褐心指数增加, 1-MCP 处理的果心褐变指数明显低于对照 (表 2)。这进一步证明了 1-MCP 能明显减少贮藏果实的褐变^[8-10,13], 在一定程度上说明了乙烯参与了果实褐变^[13]的发生。

‘雪花’梨果实在冷藏 270 d 后, 货架期间果心可溶性酚含量呈下降趋势。与对照相比, 货架期开始和货架期 7 d 时, 1.0 μL/L 1-MCP 处理能明显降低果心可溶性酚含量, 但货架期 14 d 时, 各处理间效果不明显; 0.5 μL/L 1-MCP 处理对果心可溶性酚含量无显著影响 (图 3)。同时, 货架期间, 果心 CAT 和 POD 活性呈上升趋势, SOD 和 POD 活性呈降低趋势, 1-MCP 处理对果心 CAT 和 SOD 活性影响不显著, 但 1.0 μL/L 1-MCP 处理明显提高 POD 活性, 降低 PPO 活性, 以 1.0 μL/L 1-MCP 处理较为显著 (图 4)。

表 2 1-MCP 处理对‘雪花’梨冷藏 270 d 后货架期果心褐变指数的影响

Table 2 Effect of 1-MCP on the core browning index of ‘Xuehua’ pears after cold storage for 270 days

贮藏时间/d	1-MCP 浓度/(μL/L)	褐心指数
270	0	0.11 ^a
	0.5	0 ^b
	1.0	0 ^b
270+7	0	0.14 ^a
	0.5	0.03 ^b
	1.0	0.02 ^b
270+14	0	0.16 ^a
	0.5	0.05 ^b
	1.0	0.02 ^c

注: 表中数值后标记的不同小写英文字母表示处理之间在 5% 水平上差异显著。

可见, 1.0 μL/L 1-MCP 处理显著降低了果心中的酚类含量和 PPO 活性, 这将有利于减少 PPO 催化酚类物质氧化引起的褐变反应^[8-10]; 此时, 1-MCP 处理减少果心可溶性酚含量 (图 3), 可能与 1-MCP 调节酚类物质代谢以及细胞内酚类物质和 PPO 的区域化分隔存在有关。如 1-MCP 能明显降低苹果果肉绿原酸、原花青素 B2、没食子酸等酚类物质的含量^[7]。同时, 1-MCP 提高果心的 POD 活性, 可能有利于提高果心组织的抗氧化能力^[14], 也在一定程度上减少氧化物质的伤害。但本研究表明, 1-MCP 处理对果心 CAT 和 SOD 活性影响不显著, 与有关结果^[8-9]不一致, 因此, 果心 CAT 和 SOD 参与货架期‘雪花’梨褐变发生的机制值得进一步研究。

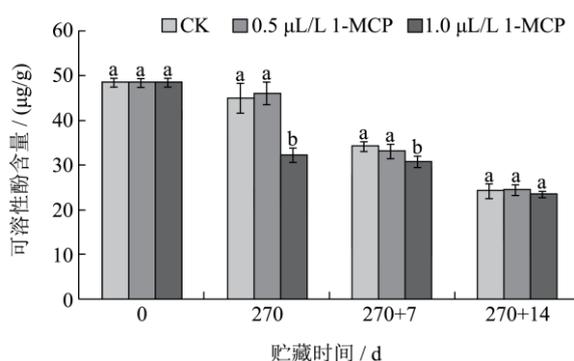


图3 1-MCP处理对冷藏270 d后货架期间‘雪花’梨果心可溶性酚含量的影响

Fig.3 Effects of 1-MCP on soluble phenolic content in the core of ‘Xuehua’ pears after cold storage for 270 days

注：图中标记的不同小写英文字母表示处理之间在5%水平上差异显著。

3 结论

采后‘雪花’梨经 1-MCP 处理 24 h 后，冷藏后货架期果实硬度和可滴定酸含量较高，果心褐变现象减少，综合果实品质明显优于对照。其机制在于 1-MCP 处理降低货架期间果实的呼吸速率和乙烯生成速率，抑制果肉结合态果胶向水溶性果胶的转化，降低货架期果心的可溶性酚含量和 PPO 活性，减缓氧化褐变反应。上述效果中，以 1.0 μL/L 浓度的 1-MCP 处理较为明显，较有利于‘雪花’梨货架期品质的维持。

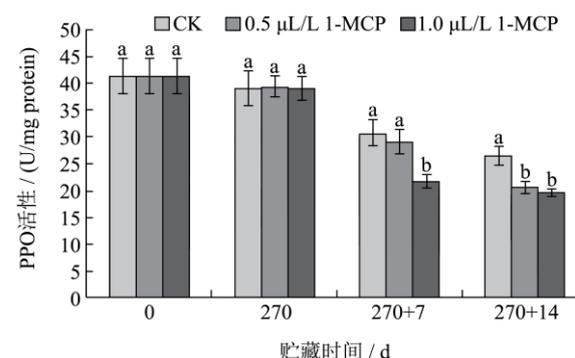
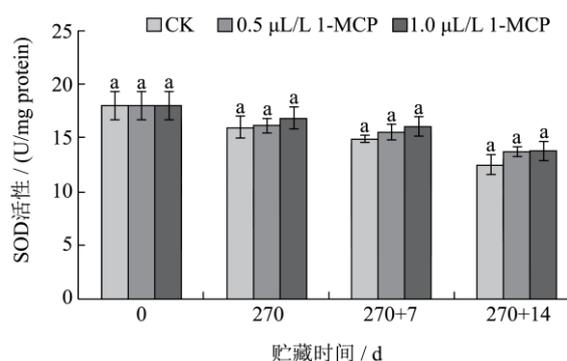
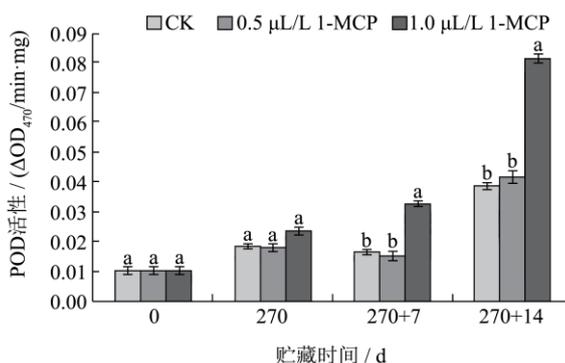
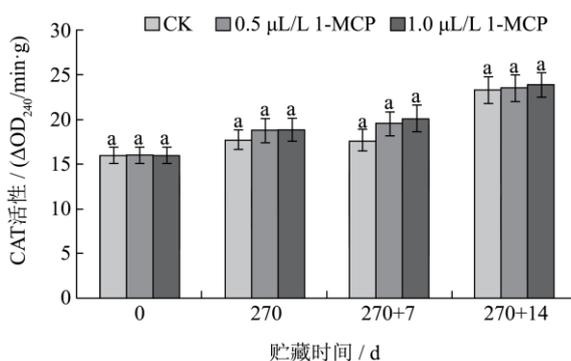


图4 1-MCP处理对冷藏270 d后货架期间‘雪花’梨果心CAT、POD、SOD和PPO活性的影响

Fig.4 Effect of 1-MCP on the activities of CAT, POD, SOD, and PPO in the core of ‘Xuehua’ pears after cold storage for 270 days

注：图中标记的不同小写英文字母表示处理之间在5%水平上差异显著。



参考文献

- [1] Xie X, Song J, Wang Y, et al. Ethylene synthesis, ripening capacity, and superficial scald inhibition in 1-MCP treated ‘d’Anjou’ pears are affected by storage temperature [J]. Postharvest Biol. Technol., 2014, 97: 1-10
- [2] Gamrasni D, Ben-Arie R, Goldway M. 1-Methylcyclopropene (1-MCP) application to Spadona pears at different stages of ripening to maximize fruit quality after storage [J]. Postharvest Biol. Technol., 2010, 58: 104-112
- [3] Lu X, Nock JF, Ma Y, et al. Effects of repeated 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatments on ripening and superficial scald of ‘Cortland’ and ‘Delicious’ apples [J]. Postharvest Biol. Technol., 2013, 78: 48-54
- [4] Yazdani N, Arzani K, Mostofi Y, Shekarchi M. Antioxidative enzyme activity and internal browning of 1-methylcyclopropene-treated European pear fruits (cv. ‘Shahmiveh’ and ‘Sebri’) [J]. Inter. J. Food Sci. Technol., 2014, 49: 2514-2520

- [5] Kolniak Ostek J, Wojdyło A, Markowski J, et al. 1-Methylcyclopropene postharvest treatment and their effect on apple quality during long term storage time [J]. Eur. Food Res. Technol., 2014, 239: 603-612
- [6] Rizzolo A, Grassi M, Vanoli M. 1-Methylcyclopropene application, storage temperature and atmosphere modulate sensory quality changes in shelf-life of 'Abbé Fétel' pears [J]. Postharvest Biol. Technol., 2014, 92: 87-97
- [7] Hoang NTT, Golding JB, Wilkes MA. The effect of postharvest 1-MCP treatment and storage atmosphere on 'Cripps Pink' apple phenolics and antioxidant activity [J]. Food Chem., 2011, 127: 1249-1256
- [8] Fu L, Cao J, Li Q, et al. Effect of 1-methylcyclopropene on fruit quality and physiological disorders in Yali pear (*Pyrus bretschneideri* Rehd.) during storage [J]. Food Sci. Tech. Int., 2007, 13(1): 49-54
- [9] Larrigaudière C, Vilaplana R, Soria Y, et al. Oxidative behaviour of Blanquilla pears treated with 1-methylcyclopropene during cold storage [J]. J. Sci. Food Agric., 2004, 84: 1871-1877
- [10] 龚新明,高曼曼,关军锋,等.1-MCP 对采后雪花梨衰老和品质的影响[J].河北农业大学学报,2012,35(4):45-50
- GONG Xin-ming, GAO Man-man, GUAN Jun-feng, et al. Effects of 1-MCP on senescence and quality of harvested 'Xuehua' pear [J]. J. Hebei Agri. Uni., 2012, 35(4): 45-50
- [11] Bradford MM. A rapid and sensitive method for quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding [J]. Analytical Biochemistry, 1976, 72: 248-254
- [12] Brummell DA, Cin VD, Crisosto CH, et al. Cell wall metabolism during maturation, ripening and senescence of peach fruit [J]. Journal of Experimental Botany, 2004, 55: 2029-2039
- [13] Jung SK, Watkins CB. Involvement of ethylene in browning development of controlled atmosphere-stored 'Empire' apple fruit [J]. Postharvest Biol. Technol., 2011, 59: 219-226
- [14] Vilaplana R, Valentines MC, Toivonen P, et al. Antioxidant potential and peroxidative state of 'Golden Smoothie' apples treated with 1-methylcyclopropene [J]. J. Am. Soc. Hortic. Sci., 2006, 131: 104-109