

网络出版时间:2015-04-13 12:59

DOI:10.13207/j.cnki.jnwfufu.2015.05.007

网络出版地址:http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20150413.1259.007.html

丙烯和 1-MCP 对不同耐贮性柿果实 采后生理变化的影响

孙振营,马秋诗,李秀芳,韩 叶,段 琪,饶景萍

(西北农林科技大学 园艺学院,陕西 杨凌 712100)

[摘 要] **【目的】**探讨丙烯和 1-甲基环丙烯(1-methylcyclopropene, 1-MCP)对不同耐贮性柿果实采后生理变化的影响,为不同品种柿果实的采后贮藏保鲜提供参考。**【方法】**以耐贮性差的‘富平尖柿’和耐贮性强的‘干帽盔’为试材,于八成熟时期采收果实后分别经丙烯和 1-MCP 处理,以不处理的果实为对照,每 3 d 测定 1 次果实硬度、呼吸速率、乙烯释放速率、ACC 合成酶(ACS)和 ACC 氧化酶(ACO)活性的变化。**【结果】**2 个品种柿果实贮藏期间硬度不断下降,硬度降至 2 kg/cm² 的时间以‘富平尖柿’早于‘干帽盔’,‘富平尖柿’的呼吸高峰和乙烯释放高峰较‘干帽盔’出现早且峰值更高;2 种试材 ACS、ACO 活性均呈现先上升后下降的趋势,但‘富平尖柿’的 2 种酶活性高峰均显著高于‘干帽盔’。1-MCP 能显著减缓果实硬度的下降(但品种间差异不大),可显著降低呼吸强度和乙烯释放速率,抑制 ACS、ACO 的活性。丙烯可显著加速果实的软化,对呼吸速率、乙烯释放速率和 2 种酶活性的促进作用在‘富平尖柿’上表现得更为明显。**【结论】**‘富平尖柿’对乙烯类似物丙烯的响应较‘干帽盔’更为敏感。1-MCP 处理柿果实软化的抑制效果在‘富平尖柿’上的表现优于‘干帽盔’。

[关键词] 丙烯;1-甲基环丙烯;耐贮性;柿;采后生理

[中图分类号] S665.209⁺.3

[文献标志码] A

[文章编号] 1671-9387(2015)05-0156-07

Effects of propylene and 1-MCP on postharvest physiological changes of persimmon fruits with different storability

SUN Zhen-ying, MA Qiu-shi, LI Xiu-fang, HAN Ye, DUAN Qi, RAO Jing-ping

(College of Horticulture, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: **【Objective】**This study aimed to investigate the effects of propylene and 1-methylcyclopropene (1-MCP) on postharvest physiological changes of persimmon fruits with different storability so as to improve the storage quality of fruits of different persimmon varieties. **【Method】**‘Fuping Jianshi’ with poor storability and ‘Ganmaokui’ with good storability were selected in this study. The fruits were harvested when they were medium well (MW) and treated with propylene and 1-MCP. The fruits without treatment were taken as control. The firmness, respiration rate, ethylene release rate, and activities of ACS and ACO were measured every 3 days for analysis. **【Result】**The firmness of both varieties declined continuously during the storage and ‘Fuping Jianshi’ dropped to 2 kg/cm² earlier than ‘Ganmaokui’. The peak of respiration and ethylene of ‘Fuping Jianshi’ was earlier and higher than ‘Ganmaokui’. Activities of ACS and ACO of both varieties increased firstly and then descended, and ‘Fuping Jianshi’ had significantly higher

[收稿日期] 2013-12-10

[基金项目] 国家自然科学基金项目(30771756);农业部西北地区园艺作物生物学与种质创制重点实验室项目

[作者简介] 孙振营(1988—),男,河北泊头人,硕士,主要从事园艺产品采后生理及贮藏保鲜研究。

E-mail:sunzhenying0515@163.com

[通信作者] 段 琪(1957—),男,河北隆尧人,助理研究员,主要从事园艺产品采后生理与贮藏保鲜研究。

E-mail:dqr0723@163.com

values than ‘Ganmaokui’. 1-MCP significantly delayed the softening of persimmon fruits without large differences between varieties. 1-MCP also reduced the respiration rate and ethylene release rate significantly and decreased the activities of ACS and ACO. Propylene promoted the softening of persimmon fruits, increased the respiration rate and the ethylene release, and promoted the activities of ACS and ACO. The influences of propylene on ‘Fuping Jianshi’ were more significant. 【Conclusion】 ‘Fuping Jianshi’ was more sensitive to propylene and 1-MCP was more effective on ‘Fuping Jianshi’.

Key words: propylene; 1-MCP; storability; persimmon; postharvest physiology

柿原产于中国,在长期的栽培过程中,自然变异和人工选择造就了丰富的柿种质资源^[1],柿果实以其丰富的营养价值和药用价值深受人们的喜爱^[2],但是柿果实采后极易软化,不利于采后贮运和产品营销,且不同品种间果实耐贮性差异很大,因此柿果实的采后生理和贮藏保鲜技术一直是人们研究的热点。柿果实是呼吸跃变型果实,其成熟衰老与乙烯密切相关^[3]。已有研究表明,乙烯能够加速果实硬度的下降及呼吸速率和乙烯生成速率的上升,使膜透性升高,十分不利于柿果实的采后贮藏^[4-5]。ACC 合成酶(ACS)和 ACC 氧化酶(ACO)是乙烯生物合成过程中的 2 个关键酶,其活性表现为直接限制生物乙烯的合成。近年来,利用乙烯类似物丙烯和乙烯作用抑制剂 1 甲基环丙烯(1-methylcyclopropane, 1-MCP)在柿果实上进行了大量研究,表明乙烯能够促进多聚半乳糖醛酸酶(PG)、内切-1,4- β -葡聚糖酶(EG)、ACS、ACO、木葡聚糖内糖基转移/水解酶(XTH)^[6-9]等与成熟软化相关的酶基因的表达,从而加速柿果实的成熟软化进程,但有关不同耐贮性柿品种采后生理特性及其对乙烯敏感性的差异研究尚未见报道。为此,本试验以耐贮性较强的‘干帽盔’和耐贮性差的‘富平尖柿’2 个优良品种柿果实为试材,研究其采后生理特性及二者对丙烯和 1-MCP 处理的敏感性的差异,以期为进一步完善柿果实采后贮藏保鲜技术提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料 with 处理

试验以耐贮性较强的‘干帽盔’(*Diospyros kaki* L. ‘Ganmaokui’)和耐贮性较差的‘富平尖柿’(*Diospyros kaki* L. ‘Fuping Jianshi’)2 个不同耐贮性的柿品种果实为材料。供试果实均于其八成熟时期采收,其中‘干帽盔’于 2012-09-28 采自陕西省丹凤县,‘富平尖柿’于 2012-10-12 采自陕西省富平县。果实均于采收当天运回实验室,选取成熟度一致、大小均一、无病虫害、无机械损伤的果实作为试材。将

同一品种果实随机分成 3 组:1 组密闭于含 5 000 $\mu\text{L/L}$ 丙烯的容器中放置 24 h,1 组密闭于含 1-MCP 1 $\mu\text{L/L}$ 的容器中放置 24 h,1 组作为对照直接密闭于容器中放置 24 h。每组 3 个重复,每个重复 10 kg 果实。处理后通风 0.5 h,立即放入瓦楞纸箱中,于常温贮存。每 3 d 取样 1 次,试验持续 42 d,每次取样后进行相关生理指标的测定,然后将果实去皮后取果肉,将果肉迅速切成 0.5~1.0 cm^3 小块后用液氮速冻。冻样置于一 80 $^{\circ}\text{C}$ 超低温冰箱中保存,用于酶活性的测定。

1.2 测定指标及方法

1.2.1 硬度 果肉硬度采用 GY1 型硬度测定仪测定。每次取 9 个果实在胴部去皮测定,单果重复 3 次,最后取其平均值。当果实硬度 $\leq 2 \text{ kg/cm}^2$ 时停止取样。

1.2.2 呼吸速率和乙烯释放速率 呼吸速率和乙烯释放速率的测定参照付润山等^[10]的方法进行。乙烯定量采用 Trace GC Ultra 型气相色谱仪法:载气为 N_2 ,GDX502 色谱柱,柱长 2 m,柱温 70 $^{\circ}\text{C}$,进样口温度 70 $^{\circ}\text{C}$,氢气 0.7 kg/cm^2 ,空气 0.7 kg/cm^2 ,氮气 1.0 kg/cm^2 ,进样量 1 mL,氢火焰离子化检测器检测,检测室温度 150 $^{\circ}\text{C}$ 。

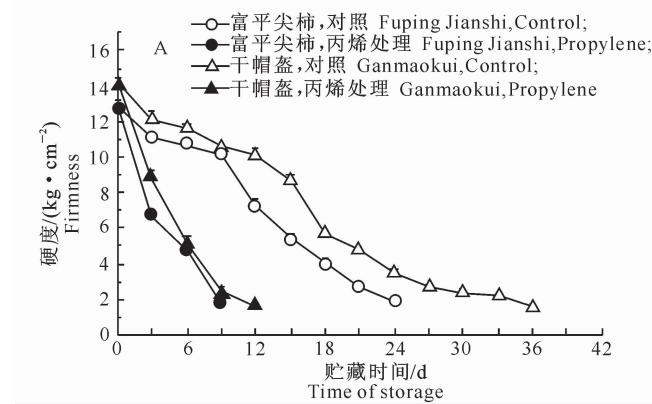
1.2.3 ACS 活性 参考曹建康等^[11]的测定方法,但略有改动。称取 2.0 g 果肉样品,加入 2.0 mL 提取缓冲液(含 1 mmol/L EDTA、1 mmol/L PMSF、4 mmol/L DTT、体积分数 3% PVPP 和 10 $\mu\text{mol/L}$ 磷酸吡哆醛),使用预冷的研钵冰浴研磨至匀浆后进行冷冻离心(4 $^{\circ}\text{C}$ 、12 000 r/min、离心 30 min),收集上清液即为酶提取液。取 0.5 mL 酶提取液和 1.5 mL 反应缓冲液(含 250 $\mu\text{mol/L}$ SAM 和 10 $\mu\text{mol/L}$ 磷酸吡哆醛),加入到 20 mL 样品瓶中,用橡胶塞密封样品瓶后,在 30 $^{\circ}\text{C}$ 水浴中保温 1 h。然后注射加入 0.1 mL 25 mmol/L HgCl_2 溶液以终止反应,并置于冰浴中 10 min 平衡温度,再用注射器加入 0.2 mL 经冰浴预冷的体积分数 5% 的 NaClO 饱和 NaOH 混合液,迅速振荡 5 s 后,放回冰浴平衡 5

min,顶空抽取 1.0 mL 气体,使用气相色谱仪测定乙烯释放量,以乙烯的产生速率表示每小时每克样品中的 ACS 活性,单位为 nmol/(h · g)。

1.2.4 ACO 活性 参考曹建康等^[11]的测定方法但略有改动。酶提取液制备方法同 ACS,提取缓冲液(含体积分数 10%甘油、体积分数 5%PVP、5.0 mmol/L DTT、30 mmol/L 抗坏血酸钠和 0.1 mmol/L FeSO₄)为 ACO 专用,按文献[11]的方法进行配制。取 0.5 mL 酶提取液和 1.5 mL 反应缓冲液(含体积分数 10%甘油、30 mmol/L 抗坏血酸钠、2.0 mmol/L ACC 和 0.1 mmol/L FeSO₄),加入到 20 mL 样品瓶中,用橡胶塞密封样品瓶后,向样品瓶中注射 1.0 mL 纯 CO₂ 气体,在 30 ℃ 水浴中保温 30 min。顶空抽取 1.0 mL 气体,使用气相色谱仪测定乙烯释放量,以乙烯的产生速率表示每小时每克样品中的 ACO 活性,单位为 nmol/(h · g)。

1.3 数据处理

试验数据采用 Excel 软件进行统计与分析,显著性差异使用 LSD 法进行比较,并使用 Origin 8.5 软件制图分析。



2 结果与分析

2.1 丙烯和 1-MCP 处理对柿果实硬度的影响

果实硬度是判断果肉质地、反映果实耐贮性、衡量贮藏效果的重要指标。从图 1-A 可以看出,2 个品种柿果实在整个贮藏过程中,对照和丙烯处理的果实硬度均呈不断下降趋势。贮藏期间,对照组‘干帽盔’的硬度始终高于‘富平尖柿’;硬度降至 2 kg/cm²的时间,‘富平尖柿’为贮藏后 24 d,‘干帽盔’则为 36 d,可见后者的耐贮性明显优于前者。丙烯处理后果实硬度较对照下降迅速,贮藏 3 d 时‘富平尖柿’、‘干帽盔’的硬度分别为贮藏初的 51.6%和 61.3%,均极显著低于其对照($P<0.01$);丙烯处理后,‘富平尖柿’在贮藏后 9 d 硬度降至 2 kg/cm²,而‘干帽盔’则为 12 d。图 1-B 显示,1-MCP 能够有效减缓柿果实硬度的下降,使‘富平尖柿’和‘干帽盔’硬度下降至 2 kg/cm²的时间均延迟 3 d。在贮藏中期,柿果实硬度下降速度加快,1-MCP 处理对其有明显延缓效果,但在贮藏后期延缓效果有所减弱。

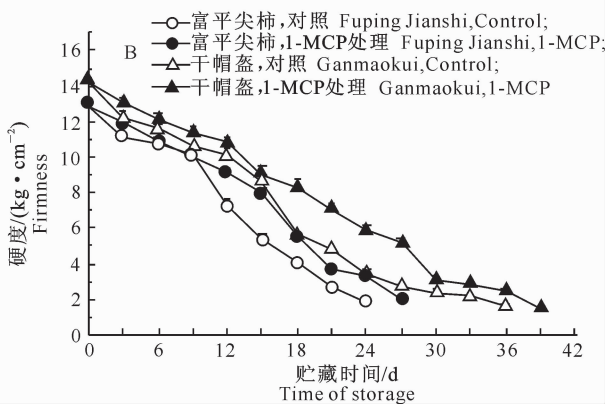


图 1 丙烯(A)和 1-MCP(B)处理对 2 个品种柿果实硬度的影响

Fig. 1 Effects of propylene (A) and 1-MCP (B) on fruit firmness of two persimmon varieties

2.2 丙烯和 1-MCP 处理对柿果实呼吸速率的影响

图 2-A 显示,对照和丙烯处理的 2 个品种柿果实在贮藏过程中均有呼吸跃变高峰出现。对照组中,‘富平尖柿’的呼吸跃变高峰出现在贮藏后 12 d,较‘干帽盔’提前 9 d,且峰值显著高于后者($P<0.05$);丙烯处理明显提高了 2 个品种的呼吸强度,将二者的呼吸跃变高峰均提前至贮藏 3 d 出现,且峰值均极显著高于其对照($P<0.01$)。由图 2-B 可知,1-MCP 降低了 2 个品种柿果实的呼吸强度,推迟并显著降低了各自的呼吸高峰($P<0.05$),且在‘富平尖柿’上的作用效果更明显,较其对照的呼吸高峰推迟了 6 d,而‘干帽盔’呼吸高峰仅推迟了 3

d;1-MCP 处理后,2 个品种呼吸速率高峰值的降低程度差异不大。

2.3 丙烯和 1-MCP 处理对柿果实乙烯释放速率的影响

乙烯释放速率及乙烯跃变峰是表征跃变型果实采后生理变化的重要指标。图 3-A 显示,对照 2 个品种柿果实采后贮藏过程中均出现乙烯跃变,尤其是‘富平尖柿’,峰值高且出峰时间早(12 d),‘干帽盔’的乙烯峰值较低,且推迟 9 d 出现。丙烯处理使‘富平尖柿’的乙烯高峰提前了 9 d,峰值是对照的 1.9 倍;丙烯处理使‘干帽盔’乙烯高峰提前了 18 d,但对乙烯峰值的促进程度较‘富平尖柿’低,仅是其

对照的 1.6 倍。图 3-B 表明,1-MCP 处理使‘富平尖柿’的乙烯高峰推迟了 6 d,峰值降至对照峰值的

87.7%;使‘干帽盔’的乙烯高峰推迟了 3 d,峰值降至对照峰值的 87.9%。

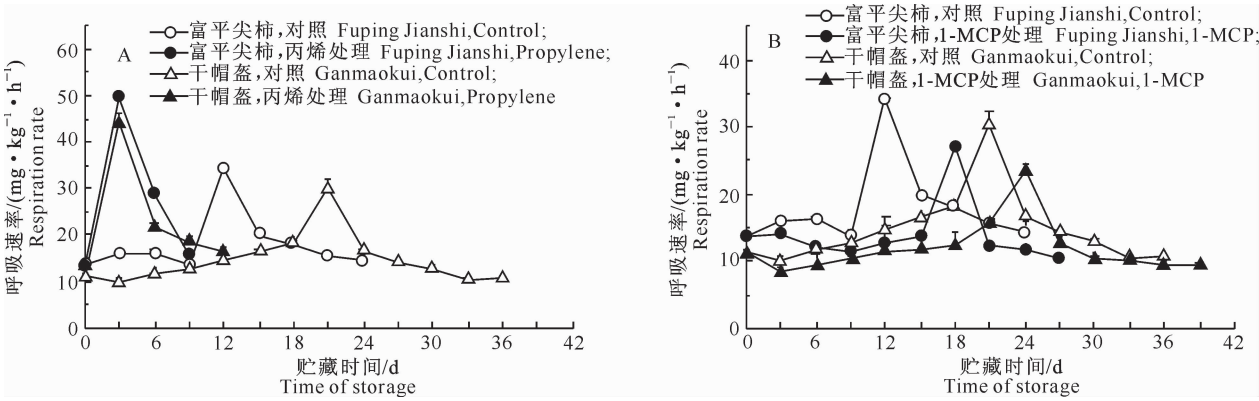


图 2 丙烯(A)和 1-MCP(B)处理对 2 个品种柿果实呼吸速率的影响

Fig. 2 Effects of propylene (A) and 1-MCP (B) on fruit respiration rate of two persimmon varieties

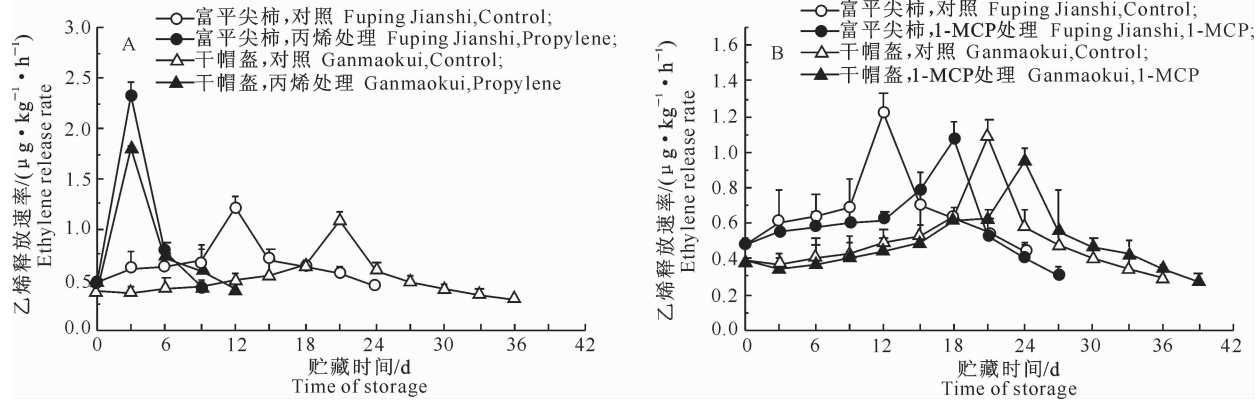


图 3 丙烯(A)和 1-MCP(B)处理对 2 个品种柿果实乙烯释放速率的影响

Fig. 3 Effects of propylene (A) and 1-MCP (B) on fruit ethylene release rate of two persimmon varieties

2.4 丙烯和 1-MCP 处理对柿果实 ACS 活性的影响

ACS 是调节乙烯生物合成的关键酶和限速酶,催化 S-腺苷甲硫氨酸 (S-Adenosyl methionine, SAM) 向 ACC 转化。图 4-A 显示,随着贮藏期的延长,对照组 2 个品种柿果实的 ACS 活性均呈先上升后迅速下降的趋势,其中‘富平尖柿’的 ACS 活性在

贮藏 3~18 d 均显著高于‘干帽盔’ ($P<0.05$);丙烯处理使 2 个品种柿果实的 ACS 活性高峰提前至贮藏 3 d,随后迅速下降,但峰值较其对照均无明显升高。图 4-B 表明,1-MCP 处理明显抑制了 2 个品种柿果实的 ACS 活性,使其活性始终低于对照,但对峰值出现时间影响不大。

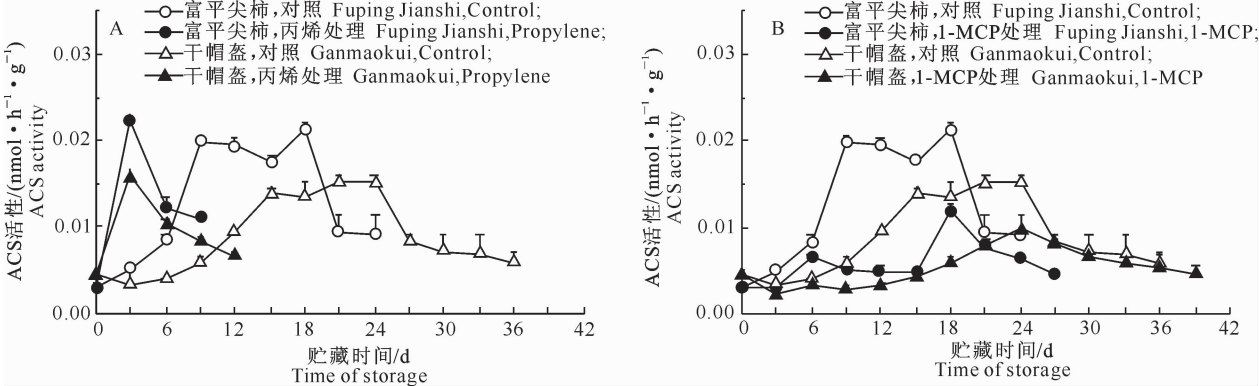


图 4 丙烯(A)和 1-MCP(B)处理对 2 个品种柿果实 ACS 活性的影响

Fig. 4 Effects of propylene (A) and 1-MCP (B) on fruit ACS of two persimmon varieties

2.5 丙烯和 1-MCP 处理对柿果实 ACO 活性的影响

ACO 也是乙烯生物合成途径的关键酶,其可直接催化 ACC 转化成乙烯。图 5-A 显示,在贮藏期间,对照组 2 个品种柿果实的 ACO 活性均呈先下降后上升再下降趋势,其中对照组‘富平尖柿’的 ACO 活性始终高于‘干帽盔’;随着贮藏期延长,‘富平尖柿’的 ACO 活性至贮藏 18 d 达到高峰,随后开始下降,‘干帽盔’的 ACO 活性至贮藏 21 d 升至高峰,之

后开始下降。丙烯处理使 2 个品种的 ACO 活性高峰均提前至贮藏 3 d 出现,ACO 活性高峰值均显著高于其对照($P<0.05$),‘富平尖柿’和‘干帽盔’的 ACO 活性峰值分别是其对照峰值的 1.17 和 1.18 倍,二者差异不大。图 5-B 显示,1-MCP 处理显著降低了 2 个品种柿果实的 ACO 活性,使‘干帽盔’ACO 活性高峰推迟 3 d 出现,但却使‘富平尖柿’的 ACO 活性高峰提前了 3 d。

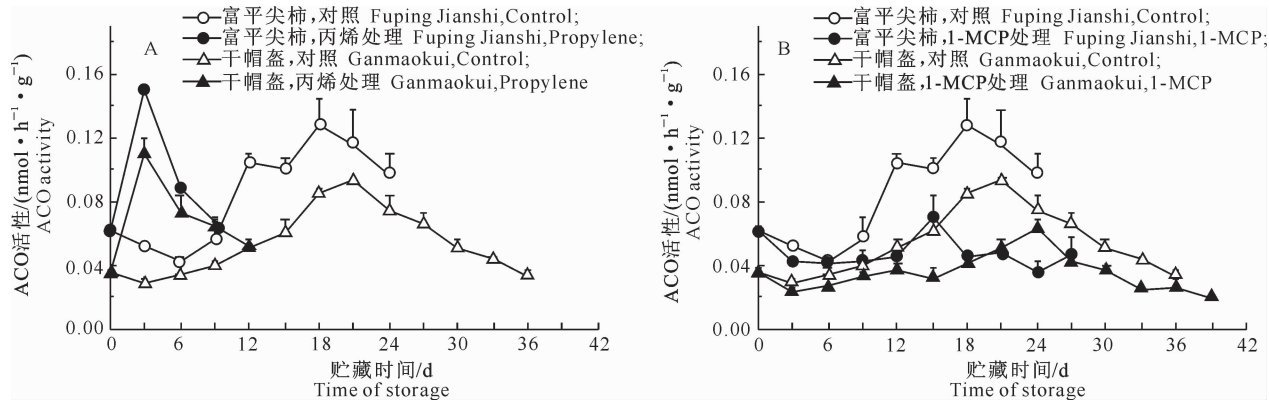


图 5 丙烯(A)和 1-MCP(B)处理对 2 个品种柿果实 ACO 活性的影响

Fig. 5 Effects of propylene (A) and 1-MCP (B) on fruit ACO of two persimmon varieties

3 讨 论

3.1 丙烯和 1-MCP 处理对柿果实硬度的影响

果肉硬度是判断果实成熟衰老进程的重要指标,果实软化机理及其控制一直都是各国学者研究的重点。大量研究证明,果实成熟过程中硬度下降的主要原因是细胞壁结构发生了变化,构成胞间层的果胶质及构成细胞壁的果胶质、纤维素等在果胶甲酯酶(PE)、多聚半乳糖醛酸酶(PG)和纤维素酶(Cx)等的作用下水解^[12]。在柿果实上,本课题组已经研究了多个与成熟软化相关的基因。刘乐等^[8]克隆了 3 个 PG 基因,且发现 PG 基因的表达受乙烯调控;宋康华等^[7]克隆了 1 个 EG 基因,认为 EG 基因的表达受乙烯生成和乙烯信号转导的调控;祝庆刚等^[9]克隆了 4 个 XTH 基因,认为 XTH 基因的表达受乙烯调控,对柿果实的成熟软化具有一定的促进作用。

本试验结果表明,随着贮藏期的延长,对照及处理柿果实的硬度均呈不断下降趋势。通过比较不同处理对果实硬度下降的影响发现,下降速率大小顺序为 1-MCP 处理<对照<丙烯处理,说明 1-MCP 能够延缓果实硬度下降,丙烯能够促进果实硬度下

降。比较发现,1-MCP 对 2 个品种果实硬度变化的影响在差异不大,但对丙烯的反应以‘富平尖柿’更为敏感。

3.2 丙烯和 1-MCP 处理对柿果实呼吸速率与乙烯释放速率的影响

呼吸强度和乙烯释放速率与果实的贮藏寿命密切相关,跃变型果实一旦发生呼吸跃变和乙烯释放高峰,体内的各种成熟衰老机制就会启动或者加速。黄森等^[13]利用乙烯吸收剂清除贮藏环境中的乙烯,降低了柿果实的呼吸速率和乙烯释放速率。庄艳等^[14]以火晶柿为材料,发现 1-MCP 处理能够有效抑制其呼吸强度和乙烯释放速率,且 1-MCP 处理 2 次比 1 次更有效。Luo^[15]发现,1-MCP 处理能够延迟乙烯释放和呼吸强度高峰的到来。Ramin^[16]发现,在 Nathanzy 柿品种上,1-MCP 能够抑制呼吸作用,且随着 1-MCP 处理浓度的升高,抑制作用有所加强。但是,孙令强等^[17]对‘磨盘柿’的研究却发现,1-MCP 处理降低了‘磨盘柿’的乙烯释放量,呼吸速率表现为贮存前期降低而在贮存后期升高。

本试验结果表明,对照和处理柿果实呼吸速率与乙烯释放速率的变化相似,均有跃变高峰出现,只是二者的出峰时间和峰值不同。比较 2 个品种柿果

实发现,丙烯处理对‘富平尖柿’呼吸和乙烯释放峰值的促进程度较‘干帽盔’高,其对丙烯反应更敏感;1-MCP 处理对‘干帽盔’和‘富平尖柿’呼吸及乙烯释放峰值的影响差异不大,但‘富平尖柿’呼吸速率及乙烯释放速率高峰的出现时间被推迟了 6 d,而‘干帽盔’仅为 3 d。

1-MCP 处理效果会因品种、处理时间、处理浓度而异。如张雪丹等^[18]认为,1-MCP 对不同柿果实乙烯释放速率和呼吸速率的作用不同,可能是由于 1-MCP 处理后,出现了乙烯合成受抑制导致的乙烯释放下降及乙烯受体受竞争抑制导致的组织敏感性衰减 2 种机制并存的情况。内源乙烯浓度可以调剂跃变型果实对 1-MCP 的敏感性,在呼吸跃变前 1-MCP 可以不可逆地不完全结合乙烯受体蛋白,阻断乙烯信号转导过程,但是随着内源乙烯的不断生成,乙烯受体蛋白逐渐消耗,果实对 1-MCP 的敏感度降低^[19]。

3.3 丙烯和 1-MCP 处理对柿果实 ACS、ACO 活性的影响

ACS 和 ACO 是乙烯生物合成过程中最重要的 2 种调控酶,ACS 催化 SAM 转化成 ACC,ACC 在 ACO 的作用下转化成乙烯^[20]。ACS 对 SAM 具有立体专一性,是乙烯生物合成途径的限速酶^[21]。ACO 是乙烯合成途径的最后一个酶,可以直接催化 ACC 氧化成乙烯。ACO 可能也是乙烯生物合成途径的一个限速酶,在转录水平上调控乙烯的生成速率^[22]。在番茄上发现,1-MCP 处理很大程度上抑制了 mRNA 的积累,从而影响 ACS、ACO 的形成^[23-24]。刘乐等^[8]研究表明,丙烯处理促进了 ACS、ACO 基因的表达,而 1-MCP 处理抑制了 ACS、ACO 基因的表达;但丙烯和 1-MCP 对 ACS、ACO 基因表达的作用效果在不同组织中差异较大。朱东兴等^[25]发现,1-MCP 能够推迟火柿果实 ACO 活性高峰的出现时间,抑制采后初期 ACO 活性的上升。

本试验结果表明,在采后贮藏期间,2 个品种柿果实的 ACS、ACO 活性总体上均呈现先上升后下降的趋势,其中‘富平尖柿’的 2 种酶活性高峰显著高于‘干帽盔’。丙烯处理能使 2 个柿品种的 ACO、ACS 活性高峰显著提前,且使 ACO 的活性高峰显著高于各自对照峰值,但对 ACS 活性峰值影响不大;与对照相比,1-MCP 显著抑制了 2 个品种柿果实的 ACS、ACO 活性。比较 2 个品种柿果实可以发现,1-MCP 显著降低了 2 个品种的 ACS、ACO 活

性,且对‘富平尖柿’的处理效果更好;而丙烯处理均提高了 2 种酶活性,且在‘富平尖柿’上的促进作用更显著。

4 结 论

1-MCP 能够延缓不同品种柿果实的衰老及一系列生理生化反应,保持了不同品种间的差异性;而丙烯处理加速了果实的衰老与软化,缩小了供试 2 个品种柿果实贮藏期间衰老变化的差异,说明 2 个品种柿果实对乙烯的敏感度不同:‘富平尖柿’对乙烯响应更为敏感,且在 1-MCP 处理后的保鲜效果优于‘干帽盔’。

[参考文献]

- [1] 张艳芳,温寿星,包 榕,等. 中国柿种质资源鉴定及亲缘关系研究进展 [J]. 福建果树,2010(4):45-49.
Zhang Y F, Wen S X, Bao R, et al. Research progress of germplasm identification and genetic relationship of Chinese persimmon [J]. Fujian Fruits, 2010(4):45-49. (in Chinese)
- [2] Itamura H, Sun N. Postharvest physiology of persimmon fruit [J]. Horticulture Environment and Biotechnology, 2009, 50(6):546-554.
- [3] 田长河,饶景萍,冯 炜. 1-MCP 处理对柿果实采后生理效应的影响 [J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(5):122-126.
Tian C H, Rao J P, Feng W. Influence of 1-MCP on postharvest physiological characteristics of persimmon fruits [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2005, 23(5):122-126. (in Chinese)
- [4] 黄 森,张继澍,李维平. 减压处理对采后柿果实软化生理效应的影响 [J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版, 2003, 31(5):57-60.
Huang S, Zhang J S, Li W P. Effect of hypobaric treatment on the softening physiology in postharvested persimmon fruits [J]. Journal of Northwest A&F University: Nat Sci Ed, 2003, 31(5):57-60. (in Chinese)
- [5] 黄 森,张继澍. 低乙烯减压处理对柿果实乙烯生物合成的影响 [J]. 西北植物学报, 2001, 21(2):318-322.
Huang S, Zhang J S. Effect of low ethylene and low pressure treatment on ethylene biosynthesis of persimmon fruit [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2001, 21(2):318-322. (in Chinese)
- [6] 姜妮娜,饶景萍,付润山,等. 柿果实采后软化中 PG 酶活性及其基因 *DkPG1* 的表达 [J]. 园艺学报, 2010, 37(9):1507-1512.
Jiang N N, Rao J P, Fu R S, et al. Effects of propylene and 1-methylcyclopropene on PG activities and expression of *DkPG1* gene during persimmon softening process [J]. Acta Horticulturae Sinica, 2010, 37(9):1507-1512. (in Chinese)
- [7] 宋康华,饶景萍,常晓晓,等. 柿果实内切-1,4- β -葡聚糖酶基因克隆与定量表达分析 [J]. 园艺学报, 2011, 38(10):1893-1900.

Song K H,Rao J P,Chang X X,et al. Studies on cloning and real-time expression of Endo-1, 4-β-glucanase gene in persimmon fruit [J]. Acta Horticulturae Sinica,2011,38(10):1893-1900. (in Chinese)

[8] 刘 乐,饶景萍,常晓晓,等. 丙烯和 1-MCP 处理对采后柿果实 ACS 和 ACO 基因表达的影响 [J]. 中国农业科学,2009,42(6):2092-2097.

Liu L,Rao J P,Chang X X,et al. Effects of propylene and 1-methylcyclopropene on expressions of ACC synthase and ACC oxidase genes in persimmon fruits [J]. Scientia Agricultura Sinica,2009,42(6):2092-2097. (in Chinese)

[9] 祝庆刚,饶景萍,田红炎,等. 丙烯和 1-甲基环丙烯处理对采后柿果实 XTH 基因表达的影响 [J]. 园艺学报,2012,39(7):1278-1284.

Zhu Q G,Rao J P,Tian H Y,et al. Effects of 1-methylcyclopropene and propylene on expression of XTH genes in persimmon fruits [J]. Acta Horticulturae Sinica,2012,39(7):1278-1284. (in Chinese)

[10] 付润山,姜妮娜,饶景萍,等. 赤霉素和萘乙酸对柿果实采后成熟软化生理指标的影响 [J]. 西北植物学报,2010,30(6):1204-1208.

Fu R S,Jiang N N,Rao J P,et al. Effect of GA₃ and NAA on physiological indices of persimmon fruit on postharvest ripening and softening [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica,2010,30(6):1204-1208. (in Chinese)

[11] 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,2007:112-115.

Cao J K,Jiang W B,Zhao Y M. Experiment guidance of post-harvest physiology and biochemistry of fruits and vegetables [M]. Beijing:China Light Industry Press,2007:112-115. (in Chinese)

[12] 张桂霞,阎国荣,王文江. 柿果实成熟软化机理研究进展 [J]. 天津农学院学报,2004(2):48-52.

Zhang G X,Yan G R,Wang W J. Recent studies on mechanism of fruit maturation and softening of persimmon (*Diospyros kaki* L.) fruits [J]. Journal of Tianjin Agricultural College,2004(2):48-52. (in Chinese)

[13] 黄 森,张院民,王建芳,等. 乙烯吸收剂处理对柿果实采后生理效应的影响 [J]. 西北农业学报,2006(6):140-143.

Huang S,Zhang Y M,Wang J F,et al. Influence of ethylene absorbent on the postharvest physiological characteristic of persimmon fruits [J]. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica,2006(6):140-143. (in Chinese)

[14] 庄 艳,郭春会,饶景萍,等. 1-甲基环丙烯处理对火晶柿果贮藏期间生理指标变化的影响 [J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2007,35(8):91-96.

Zhuang Y,Guo C H,Rao J P,et al. Effect of 1-MCP on physiological changes of persimmon fruits during storage period [J]. Journal of Northwest A&F University:Nat Sci Ed,2007,35(8):91-96. (in Chinese)

[15] Luo Z S. Effect of 1methylcyclopropene on ripening of post-harvest persimmon (*Diospyros kaki* L.) fruit [J]. LWT-Food Science and Technology,2007,40(2):285-291.

[16] Ramin A A. Shelflife extension of ripe nonastringent persimmon fruit using 1-MCP [J]. Asian Journal of Plant Sciences,2008,7(2):218-222.

[17] 孙令强,李召虎,王 倩,等. 1-甲基环丙烯对室温贮存磨盘柿的保鲜作用 [J]. 中国农业大学学报,2005,10(5):52-57.

Sun L Q,Li Z H,Wang Q,et al. Freshnesskeeping effect of 1-methylcyclopropene on persimmon fruits stored under room-temperature [J]. Journal of China Agricultural University,2005,10(5):52-57. (in Chinese)

[18] 张雪丹,辛甜甜,李富军,等. 1-甲基环丙烯在柿贮藏保鲜中的应用研究进展 [J]. 园艺学报,2012,39(4):783-792.

Zhang X D,Xin T T,Li F J,et al. Progress in application research of 1-MCP for storage and fresh-keeping of persimmon fruits [J]. Acta Horticulturae Sinica,2012,39(4):783-792. (in Chinese)

[19] Zhang Z,Huber D J,Rao J. Ripening delay of midclimacteric avocado fruit in response to elevated doses of 1-methylcyclopropene and hypoxia-mediated reduction in internal ethylene concentration [J]. Postharvest Biology and Technology,2011,60(2):83-91.

[20] 王爱勤,王自章,杨丽涛,等. 乙烯生物合成途径中的两个关键酶基因的研究进展 [J]. 广西农业生物科学,2004(2):164-169.

Wang A Q,Wang Z Z,Yang L T,et al. Research progress of two key enzyme genes on the ethylene biosynthesis [J]. Journal of Guangxi Agric and Biol Science,2004(2):164-169. (in Chinese)

[21] Kende H. Ethylene biosynthesis [J]. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology,1993,44:283-307.

[22] Balague C,Watson C F,Turner A J,et al. Isolation of a ripening and wound-induced cDNA from *Cucumis melo* L. encoding a protein with homology to the ethylene-forming enzyme [J]. European Journal of Biochemistry,1993,212(1):27-34.

[23] Nakatsuka A,Shiomi S,Kubo Y,et al. Expression and internal feedback regulation of ACC synthase and ACC oxidase genes in ripening tomato fruit [J]. Plant and Cell Physiology,1997,38(10):1103-1110.

[24] Nakatsuka A,Murachi S,Okunishi H,et al. Differential expression and internal feedback regulation of 1-aminocyclopropane-1-carboxylate synthase, 1-aminocyclopropane-1-carboxylate oxidase, and ethylene receptor genes in tomato fruit during development and ripening [J]. Plant Physiology,1998,118(4):1295-1305.

[25] 朱东兴,饶景萍,任小林,等. 柿果实 1-甲基环丙烯处理对成熟软化的影响 [J]. 园艺学报,2004,31(1):87-89.

Zhu D X,Rao J P,Ren X L,et al. Effects of posthavest treatment with 1-MCP on ripening and softening of persimmon fruits [J]. Acta Horticulturae Sinica,2004,31(1):87-89. (in Chinese)