

1-MCP 结合 MAP 处理对空心李的保鲜效应

张举印¹, 董晓庆^{2*}

(1. 江苏省溧阳中等专业学校, 江苏溧阳 213330; 2. 贵州大学农学院, 贵州贵阳 550025)

摘要 对1-甲基环丙烯(1-MCP)、自发气调包装(MAP)以及二者结合(1-MCP+MAP)对(20±1)℃下空心李果实采后贮藏效果的影响进行研究。结果表明,在相同贮藏条件下,1-MCP、MAP和1-MCP+MAP三者均能不同程度延缓果实硬度的下降,抑制原果胶和纤维素降解及可溶性果胶增加,降低PG、PME和Cx活性,阻止果实营养成分的流失。其中,1-MCP结合MAP处理是较理想的空心李果实的保鲜方式。

关键词 空心李;1-MCP;自发气调包装;保鲜

中图分类号 TS255.3 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2020)17-0197-05

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2020.17.051



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Preservation Effects of 1-MCP Treatment Combined with MAP on Hollow Plum

ZHANG Ju-yin¹, DONG Xiao-qing² (1. Liyang Secondary Vocational School of Jiangsu Province, Liyang, Jiangsu 213330; 2. Agricultural College, Guizhou University, Guiyang, Guizhou 550025)

Abstract The effects of modified atmosphere packaging (MAP), 1-methylcyclopropene (1-MCP) and a combination of MAP and 1-MCP on the storage of hollow plums after harvest were studied at (20±1)℃. The result showed that under the same storage conditions, compared with control, MAP, 1-MCP and 1-MCP+MAP could delay the decline of firmness, inhibit the degradation of protopectin, cellulose and the increase of soluble pectin, reduce the activities of PG, PME and Cx, and prevent the loss of fruit nutrients to varying degrees. Among them, the combination of MAP with 1-MCP was an ideal processing method for the preservation of hollow plums.

Key words Hollow plum; 1-MCP; Modified atmosphere packaging; Preservation

空心李(*Prunus salicina* Lindl ‘Kongxin plum’)是蔷薇科李亚科李属植物,因果实果肉与果核自然分裂而得名,主要产于贵州省沿河土家族自治县,是贵州省特色水果^[1]。空心李同其他李子品种一样,采收期通常集中在7月份高温炎热季节,因此空心李果实在常温下很容易腐烂、变软,严重影响果实的商品品质和价值。果实采后衰老是空心李品质劣变的突出问题,因此如何控制果实采后衰老进程成为空心李果实贮藏过程中亟待解决的问题。

果实衰老是一个复杂的生理生化过程,细胞壁降解、乙烯产生、活性氧的代谢失调、膜脂过氧化、细胞程序性死亡等都可以促进果实软化,其中细胞壁代谢是果实软化的重要因素之一。果实的细胞壁主要由果胶、半纤维素和纤维素等多糖类物质构成,此外还含有少量蛋白质和一些酚醛类物质^[2]。在果实贮藏过程中,与细胞壁分解代谢相关的酶(如果胶酶、纤维素酶等水解酶)活性升高,细胞壁代谢相关基因(如扩张蛋白基因)的大量表达等致使细胞壁物质降解,纤维素、半纤维素和果胶等大分子物质减少,胞间层解离,胞壁间产生空隙,细胞壁结构破坏,果实硬度下降^[3-5]。近年来,果实细胞壁代谢与贮藏保鲜的关系及关于细胞壁降解的调控机理研究得到了长足发展,但由于不同种类、不同品种及不同产地的果实细胞壁的结构和物质存在差异,贮藏保鲜方法及细胞壁代谢的调控机理有所区别^[6-7]。

自发气调包装(MAP)是利用不同透气性的包装袋产生

一定的气调环境条件,抑制导致园艺产品变质腐败的生理生化过程及微生物活动,从而调节产品的代谢活动,以提高保鲜效果的方法^[8]。MAP在苹果^[9]、核桃^[10]、柿^[11]、枸杞^[12]等果实上的保鲜效果显著,能降低果实腐烂率和延长贮藏期。1-甲基环丙烯(1-MCP)能推迟果实细胞壁降解酶的活性,延缓细胞壁降解物质的降解,其作用机理可能是1-MCP处理争夺了乙烯与受体结合的机会,在一定程度上抑制了乙烯诱导的相关反应^[13-14]。

1 材料与方法

1.1 试验材料及其处理 试验所用空心李于2017年7月16日采自沿河土家族自治县沙子镇鑫兴李王农民专业合作社(108.32°E, 28.32°N),空心李果树为10年生树龄,行间距3.5 m×4.0 m,所有果实均采自树冠外围向阳面。采集完立即运送到贵州大学农学院园艺系实验室,筛选大小均匀一致、无损伤、无病虫害的果实,随机分成4组:①对照(CK),不作任何处理,直接保存于纸箱(30 cm×20 cm×16 cm)中,贮藏于(20±1)℃下;②1-MCP处理(1-MCP),将空心李果实置于含1.0 μL/L 1-MCP (SmartFresh™, 0.14%活性成分, Agro-Fresh Inc.)的密闭容器中熏蒸24 h,然后通风,将果实于常温(20±1)℃下保存于纸箱中(纸箱大小同上);③自发气调包装处理(MAP),在(20±1)℃、1.01×10⁵ Pa下,将空心李果实置于0.03 mm厚的聚乙烯(PE)包装袋内(长65 cm,宽65 cm,购于天津国家农产品保鲜工程技术研究中心),在20℃、1.01×10⁵ Pa下对氧气和二氧化碳的透气率分别为4.77×10³ mL/(m²·d)和1.57×10⁴ mL/(m²·d),透湿率为3.67 g/(m²·d)(相对湿度50%),挽口密封贮藏于纸箱内(纸箱大小同上);④1-MCP结合自发气调包装处理(1-MCP+MAP),先将空心李果实置于含1.0 μL/L 1-MCP的密闭容器中熏蒸24 h,然后取出置于气调包装袋内挽口密封处理,

基金项目 贵州省自然科学基金项目(黔科合基础[2016]1042);贵州大学博士基金项目(贵大人基合字[2014]17)。

作者简介 张举印(1981—),男,河南南阳人,高级讲师,硕士,从事农业教学及园艺产品采后生理与贮藏保鲜研究。*通信作者,教授,博士,硕士生导师,从事园艺产品采后生理与贮藏保鲜研究。

收稿日期 2020-01-09

贮藏于纸箱(纸箱大小同上)内。每个处理重复3次,每个重复120个果实,所有果实贮藏于 $(20\pm 1)^\circ\text{C}$ 下,定期随机取样测定各指标。

1.2 主要试剂 1-MCP(0.14% 活性成分)由美国罗门哈斯公司提供;咪唑、无水乙醇、半乳糖醛酸、浓硫酸、95%乙醇、冰醋酸、无水乙酸钠、氯化钠、多聚半乳糖醛酸、柠檬酸、柠檬酸钠、3,5-二硝基水杨酸、羧甲基纤维素钠、葡萄糖(分析纯)、果胶、碳酸钠、碘化钾、结晶碘、硫代硫酸钠(分析纯)、重铬酸钾、纤维素、可溶性淀粉等。

1.3 仪器与设备 GY-4型硬度计,为浙江托普云农科技股份有限公司产品;FA-2104分析天平,为上海良平仪器仪表有限公司产品;CP213电子天平,为美国奥豪斯公司产品;DK-98-II双列八孔电热恒温水浴锅,为天津泰斯特仪器有限公司产品;2-JR冷冻离心机,为美国TOMOS公司产品;YG16W台式高速离心机,为长沙平凡仪器仪表有限公司产品;UV752紫外分光光度计,为上海佑科仪器有限公司产品;移液枪,为德国Eppendorf公司产品。

1.4 测定项目与方法

1.4.1 硬度。每个重复随机取10个果实,在每个果实赤道部位对称取2个点,去皮,使用GY-4手持硬度计(探头直径11 mm,测定深度8 mm)测定,单位为 kg/cm^2 。

1.4.2 原果胶含量和可溶性果胶含量。参考曹建康等^[15]和王鸿飞等^[16]的方法分别提取原果胶和可溶性果胶,原果胶含量和可溶性果胶含量均采用咪唑法测定。

1.4.3 纤维素含量。参考曹建康等^[15]和王鸿飞等^[16]的方法提取纤维素,纤维素含量采用蒽酮法测定。

1.4.4 细胞壁降解酶液制备和酶活性测定。酶液制备参考曹建康等^[15]的方法并略加改进。取空心李果肉4 g,置于经预冷的研钵中,再加入8 mL经预冷的95%乙醇,冰浴研磨,转入离心管中低温放置10 min, 4°C 、12 000 r/min下离心15 min。去上清液,在沉底物中加入4 mL经预冷的80%乙醇,低温放置10 min, 4°C 下12 000 r/min离心15 min,上清液用于酶活性测定。多聚半乳糖醛酸酶(PG)活性以半乳糖醛酸为底物,采用比色法进行测定;果胶甲脂酶(PME)活性以果胶为底物,采用碘液滴定法进行测定;纤维素酶(Cx)活性以羧甲基纤维素为底物,采用比色法进行测定。

1.5 数据统计与分析 使用Microsoft Excel软件进行数据计算和绘图,使用SPSS 20.0统计软件进行数据统计与分析,以最小显著差异值(least significant difference, LSD)小于0.05判定为差异显著($P<0.05$ 表示差异显著, $P<0.01$ 表示差异极显著)。试验结果均以“平均值 \pm 标准误”表示。

2 结果与分析

2.1 不同处理对空心李果实硬度的影响 由图1可知,不同处理下空心李果实硬度整体上呈现“慢-快-慢”的变化趋势,即从采收贮藏至第6天为缓慢软化期,第6~10天为快速软化期,第10天后其硬度下降缓慢。贮藏前10 d,对照(CK)果实硬度平均每天下降22.78%,而1-MCP、MAP和1-MCP+MAP处理果实硬度每天平均分别下降14.83%、

21.99%和14.72%。1-MCP、1-MCP+MAP与对照(CK)差异显著($P<0.05$),MAP处理与对照(CK)差异不显著($P>0.05$)。贮藏第12天,1-MCP处理和1-MCP+MAP处理果实硬度分别为3.91和4.07 kg/cm^2 ,比对照(CK)分别高12.78%和17.68%。

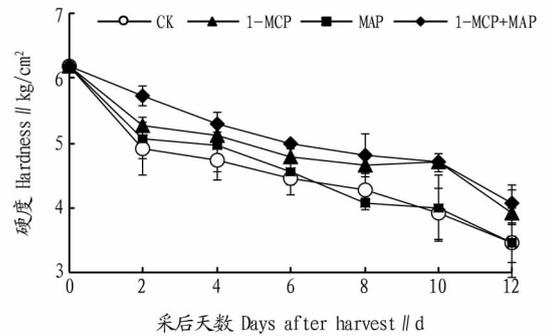


图1 不同处理对采后空心李果实硬度的影响

Fig. 1 The effects of different treatments on the hardness of hollow plum fruits after harvest

2.2 不同处理对空心李果实细胞壁组分的影响

2.2.1 原果胶含量。由图2可知,不同处理的空心李果实原果胶含量呈逐渐下降的趋势。贮藏前4 d,对照(CK)果实原果胶含量迅速下降,1-MCP、MAP、1-MCP+MAP处理果实原果胶含量缓慢下降,平均每天分别下降0.023、0.015、0.020和0.013 mg/g,3个处理均延缓了原果胶含量的降解速率,其含量分别比对照(CK)低18.91%、7.02%和22.81%。

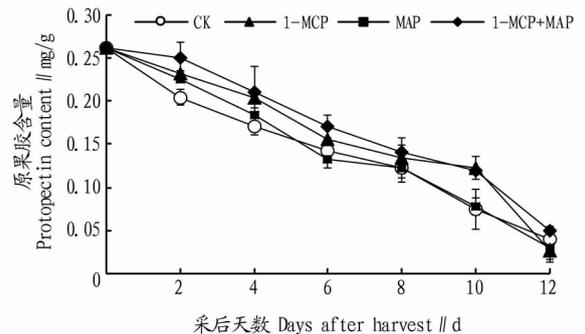


图2 不同处理对采后空心李果实原果胶含量的影响

Fig. 2 The effects of different treatments on the protopectin content in hollow plum fruits after harvest

2.2.2 可溶性果胶含量。由图3可知,1-MCP+MAP处理显著抑制了贮藏前期果实可溶性果胶含量的增加($P<0.05$),贮藏第8天果实可溶性果胶含量达到最高值,为0.135 mg/g。1-MCP处理、MAP处理与对照(CK)可溶性果胶含量从第6天开始达到最大值($P<0.05$),分别为0.154、0.113和0.123 mg/g。

2.2.3 纤维素含量。由图4可知,不同处理空心李果实纤维素含量随采后贮藏时间的延长而逐渐下降。贮藏第12天,对照(CK)、1-MCP、MAP和1-MCP+MAP处理纤维素含量分别降低了65.39%、33.49%、57.58%和37.35%,3个处理降解率显著低于对照(CK) ($P<0.05$)。1-MCP和1-MCP+MAP处理对纤维素降解的抑制作用差异不显著($P>0.05$)。

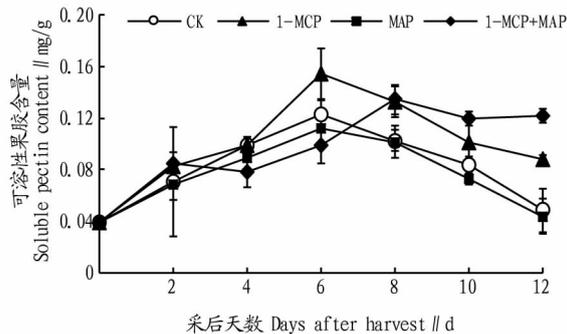


图3 不同处理对采后空心李果实可溶性果胶含量的影响

Fig. 3 The effects of different treatments on the soluble pectin content in hollow plum fruits after harvest

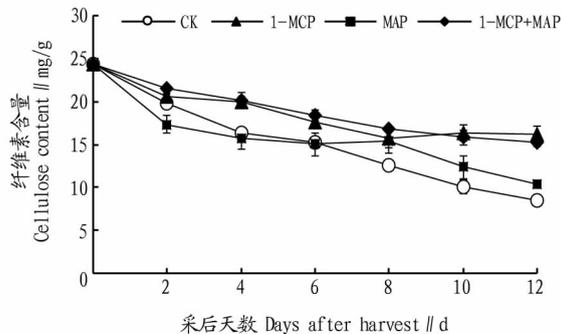


图4 不同处理对采后空心李果实纤维素含量的影响

Fig. 4 The effects of different treatments on the cellulose content in hollow plum fruits after harvest

2.3 不同处理对空心李果实细胞壁降解酶活性的影响

2.3.1 多聚半乳糖醛酸酶(PG)活性。由图5可知,对照(CK)和MAP处理果实PG活性的变化趋势相似,第6天PG活性达到最高值,分别为18.23和13.22 mg/(h·g),MAP处理抑制了PG活性($P < 0.05$)。1-MCP和1-MCP+MAP处理PG活性的变化规律一致,PG活性在第2、8天有2个高峰,峰值均比对照(CK)和MAP处理要低,第8天达到峰值,分别为13.26和12.75 mg/(h·g),分别比对照(CK)低27.28%和30.09%。这说明1-MCP处理推迟了PG活性高峰的出现,并降低了活性峰值,但1-MCP和1-MCP+MAP处理间差异均不显著($P > 0.05$),但与对照(CK)相比均存在极显著差异($P < 0.01$)。

2.3.2 果胶甲脂酶(PME)活性。由图6可知,贮藏第4天对照(CK)、MAP、1-MCP和1-MCP+MAP处理的PME活性均达到最大值,分别为15.90、11.19、10.99和8.15 mmol/(h·g),分别为贮藏初期果实的6.2倍、4.3倍、4.3倍和3.2倍。3个处理均显著抑制了PME活性的上升($P < 0.05$),此后PME活性开始逐渐降低,而对照(CK)PME活性降低较快。

2.3.3 纤维素酶(Cx)活性。由图7可知,1-MCP、MAP、1-MCP+MAP处理与对照(CK)果实C_x活性的变化趋势相似,均随着贮藏时间的延长而略有升高。(20±1)℃下贮藏12 d时C_x活性分别为2 550.56、1 355.02、1 877.53和762.06 μg/(h·g),与对照(CK)相比1-MCP、MAP以及1-MCP+MAP处理对C_x活性的抑制作用存在显著差异($P <$

0.05)。

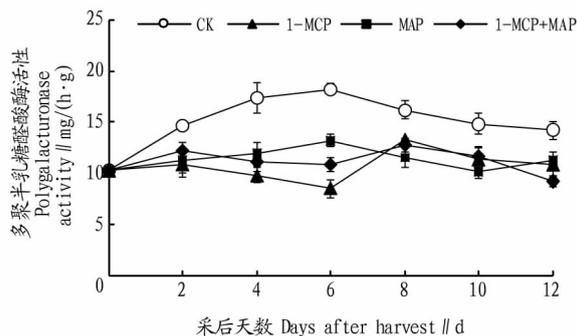


图5 不同处理对采后空心李果实多聚半乳糖醛酸酶活性的影响

Fig. 5 The effects of different treatments on the polygalacturonase activity of hollow plum fruits after harvest

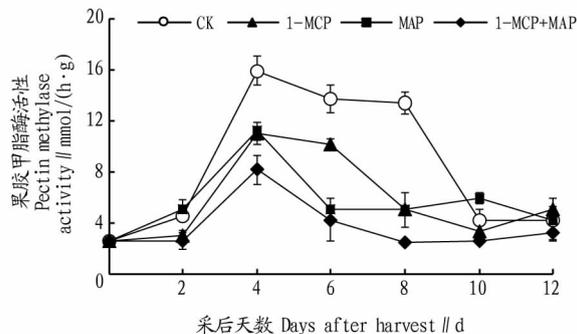


图6 不同处理对采后空心李果实果胶甲脂酶活性的影响

Fig. 6 The effects of different treatments on the pectin methylase activity of hollow plum fruits after harvest

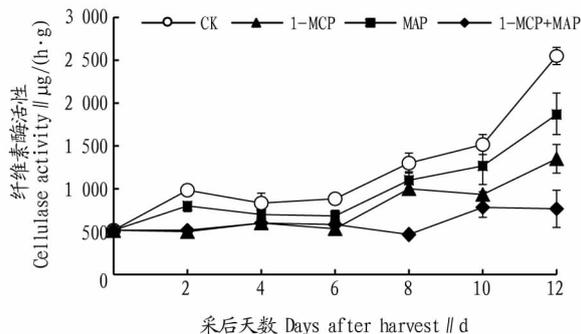


图7 不同处理对采后空心李果实纤维素酶活性的影响

Fig. 7 The effects of different treatments on the cellulase activity of hollow plum fruits after harvest

2.4 果实硬度、细胞壁组分及其降解酶活性的关系 对各处理空心李果实硬度、细胞壁组分含量(原果胶含量、可溶性果胶含量、纤维素含量)及细胞壁降解酶(PG、PME、C_x)活性间的相关性进行分析,结果见表1。由表1可知,空心李果实硬度与细胞壁组分和降解酶活性间存在密切的相关性。在细胞壁组分中,果实硬度与原果胶含量和纤维素含量存在显著正相关($P < 0.05$),但硬度与可溶性果胶含量的关系表现不一,1-MCP+MAP处理呈现出极显著负相关($P < 0.01$),1-MCP处理呈现出显著负相关($P < 0.05$),而对照(CK)和MAP处理间不存在显著相关性($P > 0.05$)。果实硬度与PG活性、PME活性间存在显著负相关($P < 0.05$),其中对照(CK)果实

硬度与 PG 活性、PME 活性均存在极显著负相关 ($P < 0.01$)；各处理果实硬度与 Cx 活性的关系表现不一，其中对照 (CK) 和 MAP 处理表现出显著负相关 ($P < 0.05$)，而 1-MCP 和 1-MCP+MAP 处理未表现出显著相关性 ($P > 0.05$)。3 个处理和对照 (CK) 原果胶含量与 PG 活性、PME 活性均呈现显著相关性 ($P < 0.05$)。可溶性果胶含量与 PG 活性、PME 活性及 Cx 活性没有表现出显著相关性 ($P > 0.05$)；纤维素含量与 Cx 活性间存在显著负相关 ($P < 0.05$)。

表 1 空心李果实硬度、细胞壁组分含量及细胞壁降解酶活性间的相关系数

Table 1 Correlation coefficients among the fruit hardness, the content of cell wall components and cell wall degrading enzyme activities of hollow plums

处理 Treatment	测定指标 Measurement indices	硬度 Hardness	原果胶含量 Protopectin content	可溶性果胶含量 Soluble pectin content	纤维素含量 Cellulose content
CK	PG 活性	-0.982**	-0.957**	0.193	-0.962**
	PME 活性	-0.895**	-0.938**	-0.083	-0.904**
	Cx 活性	-0.842*	-0.882**	-0.249	-0.838*
	硬度	—	0.973**	-0.288	0.975**
1-MCP	PG 活性	-0.827*	-0.890**	0.441	0.899**
	PME 活性	-0.763*	-0.973**	0.263	-0.769*
	Cx 活性	-0.639	-0.913**	0.104	-0.713*
	硬度	—	0.815*	-0.765*	0.976*
MAP	PG 活性	-0.832*	-0.881*	-0.020	-0.835*
	PME 活性	-0.821*	-0.876**	-0.130	-0.797*
	Cx 活性	-0.861*	-0.877**	-0.301	-0.794*
	硬度	—	0.961**	-0.220	0.958**
1-MCP+	PG 活性	-0.757*	-0.798*	0.296	-0.883**
MAP	PME 活性	-0.816*	-0.882**	0.528	-0.711
	Cx 活性	-0.657	-0.694	0.367	-0.756*
	硬度	—	0.980**	-0.878**	0.972**

注：** 表示在 0.01 水平上显著相关；* 表示在 0.05 水平上显著相关

Note: ** indicated extremely significant correlation at 0.01 level; * indicated significant correlation at 0.05 level

3 结论

采后空心李果实软化与细胞壁代谢密切相关。1-MCP 结合 MAP 处理能够降低 PG、PME 和 Cx 活性，抑制原果胶和纤维素的降解及可溶性果胶的增加。果实硬度与原果胶和纤维素的含量呈显著正相关，与可溶性果胶含量关系表现不一；果实硬度与 PG、PME 活性呈显著负相关，与 Cx 活性的关系各处理表现不一。

4 讨论

一般认为，果实后熟软化是由多种细胞壁水解酶共同作用引起的细胞壁物质变化和细胞壁结构破坏^[2]。果实细胞壁物质组分主要是由果胶、纤维素等多糖类物质组成，是维持果实硬度的重要物质基础。因此，细胞壁组成成分的变化对果实软化起着重要作用。果实硬度是判断果实软化后熟程度的重要标准，与多种细胞壁物质及其降解酶的代谢相关。果胶物质主要存在于细胞壁的中胶层，在果实软化过程中，由于果胶多糖的存在，果胶多糖不溶解果胶物质，将原果

胶转化为可溶性果胶，导致相邻细胞的黏合力下降，从而引起果实的软化后熟^[17-18]。该研究结果显示，空心李果实采收时果肉硬度较高，随着果实软化后熟，果实中原果胶含量不断下降，可溶性果胶含量先升高再降低，果实硬度降低。该研究结果表明 1-MCP、MAP 以及 1-MCP+MAP 处理可以延缓空心李果实贮藏过程中细胞壁原果胶、纤维素的降解，保护果胶物质免受水解酶的作用，维持正常的果胶质分布状态，从而减少可溶性果胶和果胶酸的含量。此结果与 Oritz 等^[19]研究结果相一致。该试验结果还表明，在空心李果实软化后熟过程中，果实硬度与原果胶呈显著正相关，与可溶性果胶的相关性表现不一。空心李软化与果实细胞壁果胶降解存在密切相关，这与李丽梅等^[20]研究结果相一致。随着空心李果实的后熟软化，纤维素含量持续降低，说明果实硬度与纤维素含量存在正相关。

大量研究表明，果实软化后熟是由于多种细胞壁降解酶水解细胞壁，造成细胞间离散，在果实软化后熟中起着重要作用^[2,4,21-23]。PME 与 PG 都是参与果胶物质降解的酶。PME 主要使果胶去甲酯化，催化转化为果胶酸，导致细胞分离，同时生成适合于 PG 作用的底物，使得 PG 沿着多聚半乳糖醛酸主链水解果胶酸，使其降解，导致细胞壁解体，果实后熟软化^[2]。该研究结果表明，空心李贮藏过程中 PME 和 PG 整体上都表现出先上升后下降的变化趋势，在出现呼吸跃变后果实已达完全成熟状态。1-MCP 处理及 1-MCP+MAP 处理显著抑制了果实 PME 和 PG 活性，抑制了果实原果胶的降解，避免果实的腐烂衰败。该研究结果还表明，果实硬度与 PME 活性、PG 活性间存在显著负相关，说明 PME、PG 活性的增加有助于果胶物质的转化，对空心李果实成熟软化起着重要作用。对比前人研究结果^[3,24]发现，PME 在果实发育早期和成熟过程中具有较高的活性，虽然 PG 在果实软化过程中起着重要作用，但并不是果实成熟软化的主导因素。Cx 是一种能够降解羧甲基纤维素的水解酶，它主要通过降解纤维素而使细胞壁遭到破坏，促进果实软化，一般与 PME、PG 协同作用，完成对纤维素的降解^[25]。该研究发现 1-MCP、MAP 以及 1-MCP+MAP 处理显著抑制了果实 Cx 活性。果实软化一般伴随着纤维素酶活性的增加和纤维素的降解，与细胞壁可溶性成分含量呈正相关，与难溶性成分含量呈负相关。该研究结果显示，果实硬度与 Cx 活性并不全存在显著相关性，其中对照和 MAP 处理表现出显著负相关，而 1-MCP 处理和 1-MCP+MAP 处理没有表现出相关性，这可能与不同处理有关。因此，Cx 活性可能与空心李果实软化后熟关系不大，Cx 活性可能是空心李果实软化的启动因子，但不是决定因子，其作用机理尚需进一步探讨。

MAP 处理利用不同透气性的包装袋产生一定的气调环境条件，抑制导致食品变质腐败的生理生化过程及微生物活动，从而调节产品的代谢活动，以达到提高保鲜效果的目的^[8,26]。该试验结果显示，MAP 处理降低了采后空心李果实 PG、PME 和 Cx 的活性，减缓了原果胶和纤维素的降解。1-MCP 作为一种新型的乙烯受体抑制剂，无毒，无异味，通过阻

断乙烯和受体的结合,保持果肉细胞结构的完整,抑制果实硬度的下降,控制果实软化后熟进程^[27]。采后空心李果实经过 1-MCP 处理后果实硬度、细胞壁物质及其酶降解被显著抑制,处理效果明显好于对照。该研究结果表明,MAP+1-MCP 处理可以显著延缓空心李果实的软化。其原因可能是 MAP 能够在 1-MCP 抑制乙烯产生和呼吸作用的基础上用自身呼吸代谢产生出低 O₂、高 CO₂ 的保鲜环境,抑制果实后熟软化,减少养分消耗,进一步对空心李果实硬度、细胞壁物质及其降解酶活性有显著延缓作用。

参考文献

- [1] 丁健,阮成江,张绍阳,等.沿河县沙子空心李果实大小和口感分析及综合评价[J].大连民族大学学报,2018,20(3):201-204.
- [2] BRUMMELL D A. Cell wall disassembly in ripening fruit[J]. Functional plant biology, 2006, 33(2): 103-119.
- [3] BRUMMELL D A, CIN V D, CRISOSTO C H, et al. Cell wall metabolism during maturation, ripening and senescence of peach fruit[J]. Journal of experimental botany, 2004, 55(405): 2029-2039.
- [4] 魏建梅,马钰旺,关军锋,等.京白梨果实后熟软化过程中细胞壁代谢及其调控[J].中国农业科学,2009,42(8):2987-2996.
- [5] 徐晓波.李果实成熟过程中细胞壁多糖的降解和相关酶的研究[D].扬州:扬州大学,2008.
- [6] 陶菲,郜海燕,葛林海,等.真空预冷减缓双孢菇细胞壁物质的降解[J].农业工程学报,2013,29(16):264-268.
- [7] 王聘,郜海燕,周拥军,等.减压处理对新疆白杏果实软化和细胞壁代谢的影响[J].农业工程学报,2012,28(16):254-258.
- [8] 卢立新.果蔬气调包装理论进展[J].农业工程学报,2005,21(7):175-180.
- [9] 董晓庆,饶景萍,朱守亮,等.气调包装与 1-MCP 结合抑制苹果蜡质成分降低[J].农业工程学报,2013,29(16):269-277.
- [10] 马惠玲,宋淑亚,马艳萍,等.自发气调包装对核桃青果的保鲜效应[J].农业工程学报,2012,28(2):262-267.
- [11] 张鹏,李江阔,孟宪军,等.1-MCP 和薄膜包装对磨盘柿采后生理及品质的影响[J].农业机械学报,2011,42(2):130-133.
- [12] 王瑞庆,冯建华,魏雯雯,等.1-MCP 处理和气调包装对枸杞鲜果低温贮藏品质的影响[J].农业工程学报,2012,28(19):287-292.
- [13] HUBER D J. Suppression of ethylene responses through application of 1-methylcyclopropene: A powerful tool for elucidating ripening and senescence mechanisms in climacteric and nonclimacteric fruits and vegetables[J]. HortScience, 2008, 43(1): 106-111.
- [14] BLANKENSHIP S M, DOLE J M. 1-methylcyclopropene: A review[J]. Postharvest biology and technology, 2003, 28(1): 1-25.
- [15] 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.
- [16] 王鸿飞,邵兴峰.果品蔬菜贮藏与加工实验指导[M].北京:科学出版社,2012.
- [17] 叶玉平.细胞壁多糖降解引起采后菠萝果实成熟软化机理的初步研究[D].湛江:广东海洋大学,2014.
- [18] JARVIS M C, BRIGGS S P H, KNOX J P. Intercellular adhesion and cell separation in plants[J]. Plant cell and environment, 2003, 26(7): 977-989.
- [19] ORTIZ A, VENDRELL M, LARA I. Softening and cell wall metabolism in late-season peach in response to controlled atmosphere and 1-MCP treatment[J]. Journal of horticultural science and biotechnology, 2011, 86(2): 175-181.
- [20] 李丽梅,关军锋,冯云霄,等.冷藏方式对桃采后果胶含量和 β -半乳糖苷酶活性的影响[J].西北植物学报,2009,29(8):1637-1642.
- [21] 朱树华,刘孟臣,周杰.一氧化氮熏蒸对采后肥城桃果实细胞壁代谢的影响[J].中国农业科学,2006,39(9):1878-1884.
- [22] 罗自生.柿果实采后软化过程中细胞壁组分代谢和超微结构的变化[J].植物生理与分子生物学报,2005,31(6):651-656.
- [23] 彭丽桃,饶景萍,杨书珍,等.果实软化的胞壁物质和水解酶变化[J].热带亚热带植物学报,2002,10(3):271-280.
- [24] 闫根柱,赵迎丽,王亮,等.乙烯吸收剂对丰水梨果实软化和细胞壁代谢的影响[J].中国农学通报,2013,29(19):170-174.
- [25] 罗自生,寿浩林. NSCC 涂膜对黄花梨软化和细胞壁代谢的影响[J].果树学报,2011,28(1):143-146.
- [26] PHILLIPS C A. Review: Modified atmosphere packaging and its effects on the microbiological quality and safety of produce[J]. International journal of food science and technology, 1996, 31(6): 463-479.
- [27] WATKINS C B. The use of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on fruits and vegetables[J]. Biotechnology advances, 2006, 24(4): 389-409.

(上接第 151 页)

- [20] 许新桥,褚建民.长柄扁桃产业发展潜力分析及问题对策研究[J].林业资源管理,2013(1):22-25.
- [21] 张正武,王兆山,张建国.从国内外橄榄油市场看我国油橄榄发展的广阔前景[J].北方园艺,2017(7):184-191.
- [22] 周琳,王雁.我国油用牡丹开发利用现状及产业化发展对策[J].世界林业研究,2014,27(1):68-71.
- [23] 韩晨静,孟庆华,陈雪梅,等.我国油用牡丹研究利用现状与产业发展对策[J].山东农业科学,2015,47(10):125-132.
- [24] 赵超.花椒间歇式微波干燥理论及工艺优化的试验研究[D].重庆:西南大学,2006.
- [25] 史劲松,顾龚平,吴素玲,等.花椒资源与开发利用现状调查[J].中国野生植物资源,2003,22(5):6-8.
- [26] 赵瑞华.我国木本油料产量未来将大幅提升[N/OL].粮油市场报,2015-09-22[2019-10-11].<http://www.forestry.gov.cn/main/72/content-802048.html>.
- [27] 杨志玲,王开良,谭粹峰.值得开发的几种野生木本油料树种[J].林业科技开发,2003,17(2):41-43.
- [28] 赵伟华,徐兴友,王子华,等.山东省非粮油脂植物资源调查[J].北方园艺,2011(15):230-233.
- [29] 李法曾,李文清,樊守金.山东木本植物志[M].北京:科学出版社,2016:21.
- [30] 姚欢欢.油用牡丹种子油提取及剩余物综合利用[D].哈尔滨:东北林业大学,2013.
- [31] 马传国,董学工,程亚芳.三叶木通籽成分及三叶木通籽油的理化指标分析[J].中国油脂,2009,34(9):77-79.
- [32] 曹青爽.阿月浑子的生长习性及利用价值[J].中国林副特产,2007(5):95-96.
- [33] 李岱龙,王鹏,张伟,等.元宝枫籽油精炼工艺探究[J].山东工业技术,2015(20):9-10.
- [34] 田洪,于翠兰,赵占英,等.长白山油料植物——接骨木的栽培[J].吉林农业,1998(4):9.
- [35] 高东生.山东省果品产业发展分析与展望(2016-2020)[EB/OL]. [2019-10-11].<https://max.book118.com/html/2018/1011/6155204112001222.shtm>.
- [36] 新疆维吾尔自治区.自治区党委自治区人民政府关于进一步提高特色林果业综合生产能力的意见[J].新疆林业,2008(5):9-12.
- [37] 江苏省人民政府办公厅.省政府办公厅关于加快木本油料产业发展的实施意见.苏政办发[2015]53号[A/OL].(2015-05-25)[2019-10-11].http://www.jiangsu.gov.cn/art/2015/5/25/art_46143_2542947.html.
- [38] 浙江省人民政府办公厅.浙江省人民政府办公厅关于加快推进木本油料产业提升发展的意见.浙政办发[2015]106号[A/OL].(2015-11-06)[2019-10-11].http://www.zj.gov.cn/art/2015/11/6/art_38271_248521.html.
- [39] 陕西省人民政府办公厅.陕西省人民政府办公厅关于加快木本油料产业发展的实施意见[EB/OL].(2015-06-15)[2019-10-11].<http://www.jingbian.gov.cn/gk/zfwj/szfwj/40988.htm>.