

DOI:CNKI:61-1390/S.20120109.1225.017

网络出版时间:2012-01-09 12:25

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20120109.1225.017.html>

1-MCP 对“玉金香”甜瓜采后果实软化的作用机理

马文平,倪志婧,任 贤,任玉峰

(北方民族大学 生物科学与工程学院,宁夏 银川 750021)

【摘 要】【目的】研究 1-MCP 处理对甜瓜贮藏期果实软化的作用机理,为甜瓜采后通过生物技术调控其果实的软化提供了参考依据。【方法】以“玉金香”甜瓜为材料,采用 $1\ \mu\text{L/L}$ 的 1-MCP,在室温(21 ± 1) $^{\circ}\text{C}$ 状态下,对生理成熟期甜瓜果实处理 24 h 后,转入(10 ± 1) $^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 70%~80% 的冷库中贮藏,以未经 1-MCP 处理的果实为对照,在贮藏的不同时间分别取样测定果实硬度及多聚半乳糖醛酸酶(PG)、果胶甲酯酶(PME)、纤维素酶(EGase)、 β -葡萄糖苷酶和 β -吡喃半乳糖苷酶的活性。【结果】1-MCP 处理显著抑制了甜瓜果实硬度在贮藏期间的下降趋势;PG 活性在果实贮藏中后期有显著增加,PME 活性在贮藏初期就显著增加并在整个贮藏期保持了较高的活性,EGase 活性在贮藏期呈上升趋势, β -葡萄糖苷酶和 β -吡喃半乳糖苷酶在果实中有较高的活性,在贮藏期活性较稳定,没有显著的变化,但上述酶的活性均以经 1-MCP 处理的果实较低。【结论】PG、PME、EGase、 β -葡萄糖苷酶和 β -吡喃半乳糖苷酶在不同时期以不同的方式参与了甜瓜果实的软化进程。1-MCP 处理显著抑制了果实硬度在贮藏期的下降趋势,同时显著抑制了 PG、PME、EGase 在果实贮藏期活性的升高,对 β -葡萄糖苷酶和 β -吡喃半乳糖苷酶在贮藏期的活性也有影响,但作用效果相对较小,说明 1-MCP 对果实软化相关酶活性的影响有显著区别。

【关键词】 甜瓜;1-MCP;软化机理;果实采后

【中图分类号】 S652.09+3

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2012)02-0103-06

Effect of 1-MCP on softening mechanism in “Yujinxiang” melon fruit during storage

MA Wen-ping, NI Zhi-jing, REN Xian, REN Yu-feng

(College of Life Science and Engineering, Beifang University of Nationalities, Yinchuan, Ningxia 750021, China)

Abstract: 【Objective】In this study, effects of 1-MCP-treated on softening mechanism in the melon (*Cucumis melo* L. var Yujinxiang) fruit during storage were investigated. 【Method】Colour-change stage melon were treated with $1\ \mu\text{L/L}$ 1-MCP at (21 ± 1) $^{\circ}\text{C}$ temperature for 24 h, non-treated melon as control, and then the melon was stored at (10 ± 1) $^{\circ}\text{C}$, 70%—80% RH condition. Firmness, polygalacturonase (PG), pectinmethylesterase (PME), endo- β -1,4-glucanase (EGase), β -glucosidase and β -galactosidase activities of the melon were determined during storage. 【Result】Results showed that 1-MCP treatment was effective in delaying decline of the melon firmness during storage. PME, PG and EGase activities increased during postharvest storage, but there were no significant changes of β -galactosidase and β -glucosidase activities for the control melon. While compared with control, 1-MCP significantly inhibited PG, PME and EGase activity increased, but there were less effect of 1-MCP-treated on β -galactosidase and β -glucosidase activities of the melon. 【Conclusion】The results illustrated that decreased softening in 1-MCP-treated melon was associated with significant declining the activities of PG, PME and EGase.

* [收稿日期] 2011-08-20

[基金项目] 宁夏自然科学基金项目(NZ0840);宁夏教育厅重点项目(2008JY001)

[作者简介] 马文平(1966—),男(回族),宁夏银川人,副教授,博士,硕士生导师,主要从事农产品贮藏与加工工程研究。

E-mail: petermana@163.com

Key words: melon; 1-methylcyclopropene; softening mechanism; fruit during storage

“玉金香”甜瓜以其果肉细腻、口味香甜、营养丰富而深受广大消费者的喜爱。“玉金香”与其他厚皮甜瓜一样,属于典型的呼吸跃变型果实^[1-2]。该品种采后的主要问题是软化衰老快、贮期短,这极大地限制了其生产发展和市场供应。甜瓜对低温敏感,不适宜的低温贮藏容易导致冷害的发生,从而影响甜瓜的长期贮藏及商品价值。

果实衰老的一个重要特点是果肉质变软,这是果实成熟衰老过程中,构成细胞壁的果胶质和纤维素、半纤维素在细胞壁相关酶作用下降解的结果。这些细胞壁相关酶主要有多聚半乳糖醛酸酶(PG)、果胶甲酯酶(PME)、 β -半乳糖苷酶、木葡聚糖内糖基转移酶(XET)以及扩张蛋白^[3]。然而,不同的果实中果胶和木葡聚糖的含量和构成各不相同,而且细胞壁多糖在果实成熟的不同阶段,其性质、状态、时序和分子大小等也不尽相同,因此细胞壁降解酶在果实软化过程中的活性也会由于果实品种的不同而异。影响果实软化的细胞壁相关酶很多,在不同品种、树种的果实中起主要作用的酶也不尽相同。这些酶已从果实中分离出来,其中研究最多的有 PG、纤维素酶、PME 和糖苷酶类等^[4]。

果实软化是其成熟衰老过程中最显著的变化之一,延缓和控制果实的软化是甜瓜贮藏的关键所在。1-MCP 是近年来发现的一种乙烯受体抑制剂,由于其具有安全、高效、无毒害残留等特点,已在鲜切花和许多果蔬上得到广泛应用^[5]。1-MCP 的作用机制主要是通过竞争抑制乙烯与受体的结合,致使乙烯作用信号的传导和表达受阻,抑制乙烯对果蔬成熟与衰老的调控作用,从而达到延缓植物组织器官成熟和衰老的目的,保证了果蔬的货架期,延长了果蔬采后的贮藏期^[6]。已有研究表明,1-MCP 可延迟大多数果蔬的后熟软化,如鳄梨、南美番荔枝、芒果^[7];还可保持果实的硬度,如苹果^[8]、杏子^[9]、桃^[10]。这些作用与 1-MCP 能影响采后果实细胞壁水解酶的活性密切相关。但目前有关 1-MCP 对“玉金香”甜瓜采后果实软化过程中细胞壁修饰酶活性变化的影响还未见相关报道。为此,本试验用 1-MCP 处理采后“玉金香”甜瓜果实,将其贮藏于 10℃条件下,研究 1-MCP 对贮藏过程中甜瓜果实细胞壁相关酶活性的影响,探讨 1-MCP 对果实软化产生影响的机理,为完善甜瓜贮藏技术体系提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试“玉金香”甜瓜(*Cucumis melo* L. var *Yujinxiang*)采自宁夏海原县兴仁镇甜瓜种植基地,成熟度为 7~8 成熟(盛花期后 24 d 左右的甜瓜果实),即采摘处于转色期的甜瓜,果皮颜色已转为青白色。采收后单个套泡沫网袋,装在泡沫箱中于当天运回实验室。剔除病、伤果,选择大小相近、果色均匀、成熟度一致的果实用于试验处理。

1-MCP 由 EthylBloc® 商品粉剂(美国 ROHM and HAAS 公司出品,0.14%粉剂)释放产生。其它试剂均为分析纯。

1.2 方法

1.2.1 试验设计与处理 试验设 2 个处理,即用 1 μ L/L 1-MCP 在室温((21 $\pm$ 1)℃)下处理 24 h 和无 1-MCP 处理(对照,CK)。每个处理用甜瓜 90 个,重复 3 次。将处理后的甜瓜套泡沫网袋后装入泡沫箱中(四周开孔),置于(10 $\pm$ 1)℃、相对湿度 70%~80%的冷库中冷藏。每 4 d 取各处理的甜瓜果实 6 个,切取果实的中果皮部分,混匀后经液氮处理,装入样品 PVC 袋中,贮藏于-80℃的超低温冷柜中以备分析。

1.2.2 甜瓜果实硬度的测定 果实硬度用 GY-1 型果实硬度计测定(测头直径为 3.5 mm),以“N”为单位。沿甜瓜赤道部位均匀选取 6 个点,削去果皮,测头垂直均匀用力压入,记录数据。每组平行测定 6 个果实。

1.2.3 甜瓜果实软化过程中相关酶活性的测定 PG 活性测定参照文献[11]的方法,PME 活性测定参照文献[12]的方法,纤维素酶(EGase)、 β -葡萄糖苷酶、 β -吡喃半乳糖苷酶活性的测定参照文献[13]的方法。

1.2.4 数据统计及图形分析 应用 Excel 2003 软件统计分析所有试验数据,计算标准偏差并制图。应用 SPSS 11.0 软件对试验数据进行方差分析(ANOVA),利用邓肯氏多重比较对差异显著者再进行分析。

2 结果与分析

2.1 1-MCP 对贮藏过程中甜瓜果实硬度的影响

图 1 显示,贮藏初期(0~4 d),1-MCP 处理的甜

瓜果实硬度与贮藏前(0 d)没有显著差异($P>0.05$),保持了果实的新鲜状态,而对照果实硬度则下降了 11%。贮藏 4 d 后,1-MCP 处理的果实硬度开始缓慢下降,但下降速度显著低于对照,如贮藏 16 d 时,1-MCP 处理果实的硬度较贮藏前下降了 19.6%,而对照果实的硬度则下降了 45.2%。贮藏 16 d 后,1-MCP 处理果实的硬度呈快速下降趋势,到 20 d 时,较贮藏前下降了 45.6%,对照则下降了 54.5%,与对照硬度的差值显著缩小,但仍高于对照果实。表明低温结合 1-MCP 处理能够较好地保持果实的硬度,尤其是在采后贮藏的前 16 d 内。

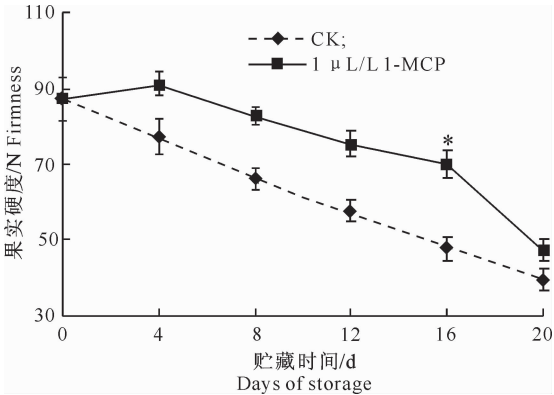


图 1 1-MCP 对贮藏过程中(10 °C)甜瓜果实硬度的影响
标 * 表示与对照(CK)差异显著($P<0.05$)。下同

Fig.1 Effects of 1-MCP treatment on firmness of melon fruit during storage at 10 °C
* Stand correlation is significant at the $P=0.05$ level. The same as below

2.2 1-MCP 对贮藏过程中甜瓜果实 PG 和 PME 活性的影响

图 2A 显示,在贮藏前(0 d),甜瓜 PG 活性已经达到较高水平。贮藏初期(0~4 d),对照果实 PG 活性下降了 21.1%,这可能是冷激效应的结果,而 1-MCP 处理果实 PG 活性下降了 45.5%,显著低于对照($P<0.05$)。说明 1-MCP 处理对 PG 活性降低有显著的促进作用。而同期 1-MCP 处理果实的硬度与贮藏前没有显著差异,说明 1-MCP 保持果实的硬度与显著降低果实 PG 活性有关。贮藏 12 d 后,对照与 1-MCP 处理果实 PG 活性均显著增强,并分别于贮藏 16 和 20 d 时达到最大值。1-MCP 处理果实 PG 活性最大值比对照推迟 4 d,且比对照低 28.2%,说明 1-MCP 处理显著抑制了采后果实 PG 活性的升高。贮藏 20 d 后,对照和 1-MCP 处理果实硬度均急剧下降,无法进行测定,果实衰败,PG 活性也快速下降。

由图 2B 可以看出,对照和 1-MCP 处理果实的 PME 活性在果实贮藏初期显著升高,贮藏 4 d 达到峰值,其中对照果实 PME 活性较贮藏前增加了 64%,1-MCP 处理增加了 14%,比对照低 43.5%。此后 PME 活性缓慢下降并于贮藏 12 d 达到最低,此时对照 PME 活性仍高于贮藏前(0 d),而 1-MCP 处理果实 PME 活性则比贮藏前低 11.7%。说明采后随着果实硬度的下降,PME 活性显著增加,1-MCP 处理则抑制了 PME 活性的增加且显著低于对照。

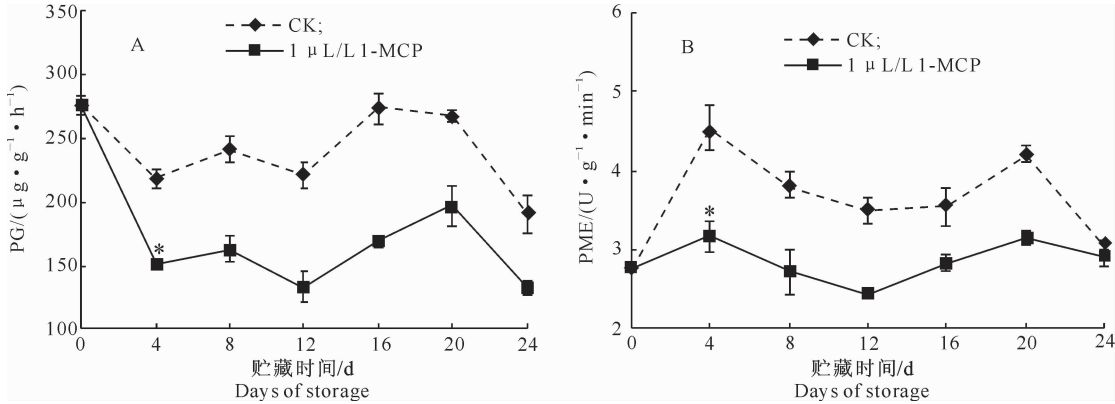


图 2 1-MCP 对贮藏过程中(10 °C)甜瓜果实 PG 和 PME 活性的影响

Fig.2 Effects of 1-MCP treatment on PG and PME activities during storage at 10 °C

2.3 1-MCP 对贮藏过程中甜瓜果实纤维素酶活性的影响

由图 3 可知,对照与 1-MCP 处理果实纤维素酶活性在甜瓜贮藏期间总体呈快速增加的趋势,并分

别于贮藏第 16 和 20 天时达到最大值,是贮藏前的 2.6 倍和 2.3 倍,1-MCP 处理果实纤维素酶活性峰值比对照推迟 4 d 出现,且其活性增加值(10.6%)显著低于对照($P<0.05$)。

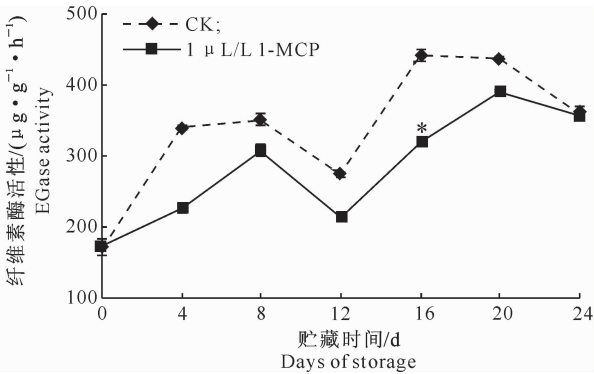


图 3 1-MCP 对贮藏过程中(10 °C)甜瓜果实
纤维素酶活性的影响

Fig. 3 Effects of 1-MCP-treated on EGase
activities during storage at 10 °C

2.4 1-MCP 对贮藏过程中甜瓜果实 β-葡萄糖苷酶
和 β-吡喃半乳糖苷酶活性的影响

β-葡萄糖苷酶也是一类细胞壁多糖的主要水解酶类,对维持细胞壁的稳定性和有重要作用。由图 4A 可以看出,对照甜瓜 β-葡萄糖苷酶在贮藏期活性变化较小,基本保持在贮藏前的同一水平上,到贮藏末期略有增加,其中在贮藏 24 d 时,活性仅比贮藏前

(0 d)高 6.6%。对照甜瓜果实贮藏时硬度快速下降,而果实 β-葡萄糖苷酶活性没有显著变化,对果实的软化没有起到显著的影响。但 1-MCP 处理导致甜瓜果实 β-葡萄糖苷酶的活性下降,如贮藏 4 d 时,1-MCP 处理果实 β-葡萄糖苷酶活性下降了 16.5%,比对照低 16.6%;贮藏 24 d 时,1-MCP 处理的 β-葡萄糖苷酶活性下降了 19.6%,比对照低 24.6%。

甜瓜 β-吡喃半乳糖苷酶的活性变化趋势与 β-葡萄糖苷酶相似。如图 4B 所示,对照果实 β-吡喃半乳糖苷酶在贮藏期的活性略有增加,如贮藏 12 d 时,β-吡喃半乳糖苷酶活性比贮藏前增加 2.7%,差异不显著($P>0.05$)。1-MCP 处理甜瓜 β-吡喃半乳糖苷酶活性则在贮藏前期显著下降,如贮藏 4 d 时,其活性下降了 19.7%,比对照低 14.2%;随后其活性缓慢增加,在贮藏 12 d 时活性比对照低 14.6%,有显著差异($P<0.05$);贮藏到 20 d 时,1-MCP 处理果实 β-吡喃半乳糖苷酶活性已接近对照,二者无显著差异,表明 1-MCP 对甜瓜果实 β-吡喃半乳糖苷酶活性的影响已解除,这与随着贮藏时间的延长,1-MCP 对果实酶活性的抑制效果降低有关。

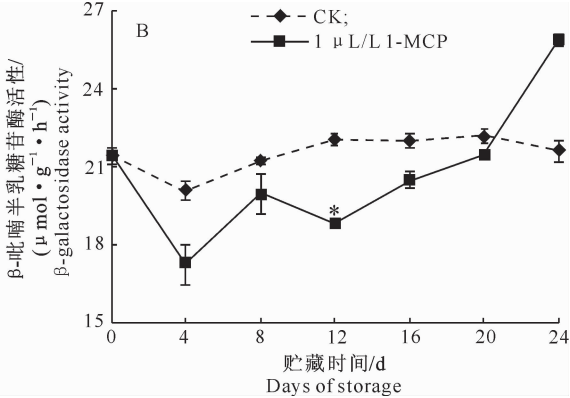
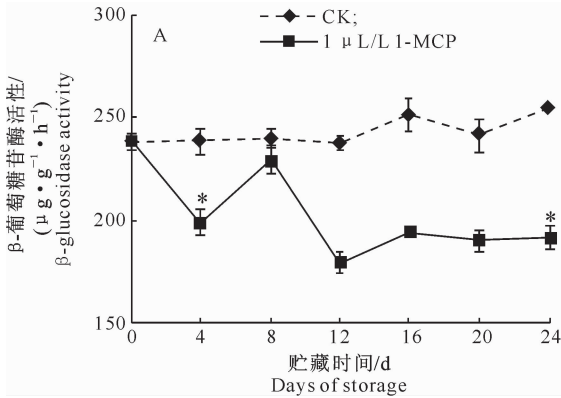


图 4 1-MCP 对贮藏过程中(10 °C)甜瓜果实 β-葡萄糖苷酶和 β-吡喃半乳糖苷酶活性的影响

Fig. 4 Effects of 1-MCP treatment on β-glucosidase and β-galactosidase activities during storage at 10 °C

3 讨 论

果实软化及其品质的变化是果实成熟的主要特征,这些变化与果实细胞壁成分的改变密切相关。细胞壁成分的改变主要包括多聚糖醛酸溶解性的增加及多聚糖醛酸和葡聚糖的解聚化。不同的果实,细胞壁成分的改变各不相同。

软化是所有果实完熟的一个重要特征。由胞间层结构改变、细胞壁总体结构破坏及胞壁物质降解引起的细胞分离是果实软化的原因。已有研究证明,有多种酶参与了果实的软化,如 PME、PG、纤维

素酶、淀粉酶、β-糖苷酶及木葡聚糖内糖基转移酶(XET)等。但在不同的果实中起主导作用的水解酶有所不同,在果实的不同发育阶段也存在差异^[14]。

目前,关于 1-MCP 处理能有效维持果实硬度的报道很多,但有关 1-MCP 处理对果实后熟软化影响机制的报道较少。本试验针对引起果实软化的相关酶活性变化进行了测定,结果发现,1-MCP 可显著抑制甜瓜采后 PG 的活性。PG 可水解细胞壁中果胶酸和其他聚半乳糖醛酸中的 1,4-α-D-半乳糖苷键,使细胞解体,导致果肉软化。大量研究表明,呼吸跃变型水果组织的成熟和软化与 PG 活性呈正相

关^[15]。本试验结果表明,1-MCP处理对甜瓜采后PG活性有较强的抑制效果,PG活性直到贮藏后期才开始升高,比对照最大峰值的出现时间推迟4 d。这一结果与Feng等^[16]用1-MCP处理鳄梨,使鳄梨PG活性降低10%~30%,且酶活性高峰出现时间比对照推迟4 d的研究结果一致。甜瓜经1-MCP处理后,在贮藏前期能够较好地保持果实硬度,这与PG活性在甜瓜贮藏前期被强烈抑制有关;在甜瓜贮藏后期,随着乙烯受体位点的恢复,PG活性开始上升,甜瓜果实硬度在贮藏后期下降速率加快,说明甜瓜果实硬度下降与其PG活性的变化有关。另外,1-MCP只能部分抑制PG活性,而不是完全抑制,所以1-MCP处理的甜瓜果实中,硬度仍然呈下降趋势,只是下降幅度与对照有明显差异。尽管有研究指出,转基因番茄中的PG活性几乎被完全抑制,但番茄仍然可以正常成熟和软化,揭示PG活性可能在番茄的软化中并没有起主导作用,只是在番茄完熟的后期,才显示PG活性的升高^[17]。本试验结果表明,甜瓜果实PG活性的大幅度提高也是在甜瓜贮藏的中后期,说明PG对甜瓜果实的软化仍起重要作用,特别是在贮藏的中后期,这与骆蒙等^[2]对河套蜜瓜的研究结果一致。

PME主要是通过裂解细胞壁成分中多聚半乳糖醛酸长链上的甲基酯产生甲醇物质,降低果胶的酯化度,从而提高PG对果胶物质降解的亲合力以降解多聚半乳糖醛酸,作用位点是催化脱除半乳糖醛酸C6羧基上的酯化基团(主要是羟甲基和羟乙基)。由于PG以脱去甲醇基的多聚半乳糖醛酸为作用对象,因此PME可能是PG作用的必要前提^[18]。本研究结果表明,贮藏初期(4 d)甜瓜果实PME活性上升较快,贮藏中期缓慢下降,到贮藏后期又再次升高,但未达到贮藏初期的水平。说明PME在甜瓜果实的软化中发挥了重要作用,在整个贮藏期均参与了甜瓜果实的软化过程。本研究中1-MCP抑制了甜瓜采后PME活性的上升,这与1-MCP对采后梨^[19]和香蕉PME活性影响的结果是一致的。PME在果实采后维持较高的活性,不仅能起到对果胶的脱酯化以便PG发挥进一步解聚果胶的作用,而且还改变了胞壁物质的pH以及阳离子的交换特性^[20]。

纤维素酶的作用是水解细胞壁中的纤维素,使有规则的微纤束变得更为松散零乱,使微纤丝的定向作用丧失,导致果肉软化。本试验结果表明,甜瓜果实成熟后期纤维素酶活性上升很快,而且是随着

贮藏期延长而逐步增加,至贮藏末期(20 d),纤维素酶活性较贮前上升了2.6倍,说明纤维素酶活性的提高与甜瓜果实的成熟软化密切相关。这与草莓成熟后期纤维素酶活性不断提高的结论是一致的^[21]。本试验结果表明,1-MCP处理甜瓜果实在贮藏前期能够显著抑制纤维素酶活性的升高,其纤维素酶活性低于对照。纤维素酶活性的降低与1-MCP抑制了果实中的乙烯形成有关,已有许多研究证实,乙烯可活化纤维素酶。

果实采后软化是细胞壁中酶促和非酶促反应协同作用的结果。细胞壁组分的降解是果实软化的根本原因,而导致细胞壁组分降解的除酶促系统中的PG、PME、纤维素酶、果胶裂解酶等外,最近人们将果实软化机理的研究焦点又逐渐转向了与细胞壁多糖组分降解相关的一些糖苷酶。其中 β -葡萄糖苷酶和 β -吡喃半乳糖苷酶是与细胞壁多糖组分降解相关的糖苷酶,在果实成熟软化过程中可使一些细胞壁组分变得不稳定,并通过降解具有支链的多聚醛酸使果胶降解或溶解,如 β -吡喃半乳糖苷酶,在桃、苹果和日本梨等果实成熟软化中的作用已得到证实^[22]。

本研究结果表明, β -葡萄糖苷酶和 β -吡喃半乳糖苷酶在成熟的甜瓜中保持着较高的活性,其中 β -葡萄糖苷酶活性在甜瓜采后没有显著变化,保持了稳定的活性水平; β -吡喃半乳糖苷酶在冷藏初期(4 d)略有下降,可能是冷激造成的结果,随后基本保持在相对稳定的高活性状态,在整个贮藏期活性只有6%的增加;1-MCP处理则抑制了这2种酶的活性,这与Trincherio等^[23]对梨果实的研究结果是一致的。Trincherio等^[23]用0.4 $\mu\text{L/L}$ 1-MCP处理“Bartlett”梨,部分抑制了梨采后 β -葡萄糖苷酶和 β -吡喃半乳糖苷酶的活性,并证实了这2种酶活性的抑制与乙烯合成量的减少以及乙烯作用的降低有关。

综上所述,1-MCP处理甜瓜后延缓了果实硬度的下降和软化进程。果实的软化是一个极其复杂的过程,几乎涉及到细胞壁的所有修饰酶。用1-MCP处理后,甜瓜细胞壁的修饰酶(包括PG、PME、EGase)以及糖苷酶(如 β -葡萄糖苷酶和 β -吡喃半乳糖苷酶)的活性均受到不同程度的影响,特别是PG、EGase和PME在甜瓜果实的采后软化过程中活性变化很明显,与甜瓜的软化密切相关。Jeong等^[24]用1-MCP处理鳄梨,结果表明,1-MCP不同程度地抑制了鳄梨中的PG、PME、 α -和 β -半乳糖苷酶及

EGase 的活性,而这些酶均与果实的成熟软化及乙烯诱导的衰老密切相关,从酶学角度说明 1-MCP 能够延缓果实衰老软化,这与在甜瓜上的研究结果相似。

纤维素、半纤维素、果胶和蛋白质等细胞壁组成成分的水解转化,是导致果实采后软化的根本原因。促使这些细胞壁成分水解的酶主要是 PG、PME、果胶裂解酶(PL)、EGase、聚鼠李糖半乳糖醛酸酶(RG)和 β -半乳糖苷酶。本试验结果表明,导致甜瓜果实软化的主要酶是 PG、PME 和 EGase,1-MCP 处理抑制了这些酶活性的增加,在一定程度上抑制了果实硬度的下降和果实软化的进程,为甜瓜采后通过生物技术调控果实的软化提供了参考依据。

[参考文献]

- [1] Watkins C B. Overview of 1-methylcyclopropene trials and uses for edible horticultural crops [J]. Hort Science, 2008, 43(1): 86-94.
- [2] 骆 蒙, 方天祺, 李巨燕, 等. 河套蜜瓜成熟软化中 PG、果胶质和细胞壁超微结构的变化 [J]. 内蒙古大学学报, 1997, 28(1): 107-111.
Luo M, Fang T Q, Li J Y, et al. Changes of polygalacturonase, pectin and ultrastructure of cell wall of *Cucumis melo* cv Hetao during ripening and softening [J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Neimongol, 1997, 28(1): 107-111. (in Chinese)
- [3] Brummell D A, Harpster M H. Cell wall metabolism in fruit softening and quality and its manipulation in transgenic plants [J]. Plant Mol Biol, 2001, 47: 311-339.
- [4] Anurag Payasi, Nagendra Nath Mishral, Ana Lucia Soares Chaves, et al. Biochemistry of fruit softening: An overview [J]. Physio Mo Bio Plants, 2009, 15(2): 103-113.
- [5] Blankenship S M, Dole J M. 1-methylcyclopropene: A review [J]. Postharvest Biol Technol, 2003, 28: 1-25.
- [6] Sisler E C, Serek M. Compounds interacting with the ethylene receptor in plants [J]. Plant Biol, 2003(5): 473-480.
- [7] Hofman P J, Jobin-Décor M, Meiburg G F, et al. Ripening and quality responses of avocado, custard apple, mango and papaya fruit to 1-methylcyclopropene [J]. Aust J Exp Agric, 2001, 41: 567-572.
- [8] Mir N A, Curell E, Khan N, et al. Harvest maturity, storage temperature, and 1-MCP application frequency alter firmness retention and chlorophyll fluorescence of "Redchief Delicious" apples [J]. J Am So Hor Sci, 2001, 126: 618-624.
- [9] Fan X T, Argenta L, Mattheis J P. Inhibition of ethylene action by 1-methylcyclopropene prolongs storage life of apricots [J]. Postharvest Biol Technol, 2000, 20: 135-142.
- [10] Kluge R A, Jacomino A P. Shelf life of peaches treated with 1-methylcyclopropene [J]. Scientia-Agricola, 2002, 59: 69-72.
- [11] Pathak N, Sanwal G G. Multiple forms of polygalacturonase from banana fruits [J]. Phytochemistry, 1998, 48: 249-255.
- [12] Hagerman A E, Austin P J. Continuous spectrophotometric assay for plant pectinmethylesterase [J]. J Agric Food Chem, 1986, 34(3): 440-444.
- [13] 曹健康, 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: 87-91.
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: 87-91. (in Chinese)
- [14] Artes F, Salmeron M C. Quality attributes, pectolytic enzyme activities and physiological changes during postharvest ripening of nectarine [J]. Journal of Food Quality, 1996, 111: 653-660.
- [15] Mehar H A, Nath P. Expression of multiple forms of polygalacturonase gene during ripening in banana fruit [J]. Plant Physiol Biochem, 2005, 43: 177-184.
- [16] Feng X, Apelbaum A, Sisler E C, et al. Control of ethylene responses in avocado fruit with 1-methylcyclopropene [J]. Postharvest Biol Technol, 2000, 20: 143-150.
- [17] Carrington C M S, Greve L C, Labavitch J M. Cell wall metabolism in ripening fruit: VI. Effect of the antisense polygalacturonase gene on cell wall changes accompanying ripening in transgenic tomatoes [J]. Plant Physiol, 1993, 103: 429-434.
- [18] 朱明月, 沈文涛, 周 鹏. 果实成熟软化机理研究进展 [J]. 分子植物育种, 2005, 3(3): 421-426.
Zhu M Y, Shen W T, Zhou P. Research advances on mechanism of fruit ripening and softening [J]. Molecular Plant Breeding, 2005, 3(3): 421-426. (in Chinese)
- [19] Ahmed A E, Labavitch J M. Cell wall metabolism in ripening pear: Cell wall changes in ripening Bartlett pears [J]. Plant Physiol, 1980, 65: 1009-1013.
- [20] Zainon Mohd Ali, Lieng-Hong Chin, Hamid Lazan. A comparative study on wall degrading enzymes, pectin modifications and softening during ripening of selected tropical fruits [J]. Plant Science, 2004, 167: 317-327.
- [21] Abeles F B, Takeda F. Cellulase activity and ethylene in ripening strawberry and apple fruits [J]. Sci Hortic, 1990, 42: 269-275.
- [22] Ranwala A P, Suematsu C, Masuda H. The role of β -galactosidases in the modification of cell wall components during muskmelon fruit ripening [J]. Plant Physiol, 1992, 100: 1318-1325.
- [23] Trinchero G D, Sozzi G O, Covatta F. Inhibition of ethylene action by 1-methylcyclopropene extends postharvest life of "Bartlett" pears [J]. Postharvest Biol Technol, 2004, 32: 193-204.
- [24] Jeong J, Huber D J, Sargent S A. Influence of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on ripening and cell-wall matrix polysaccharides of avocado (*Persea Americana*) fruit [J]. Postharvest Biol Technol, 2002, 25: 241-256.