

乙烯和 1-MCP 对伯谢克辛甜瓜果实软化及细胞壁降解的影响

朱婉彤¹, 冯作山¹, 白羽嘉^{1,2}, 热合满·艾拉¹, 王瑾¹, 古丽皮耶·艾海提¹

(1. 新疆农业大学食品科学与药学院, 新疆乌鲁木齐 830052)

(2. 新疆农业大学作物学博士后流动站, 新疆乌鲁木齐 830052)

摘要:“伯谢克辛”甜瓜属于典型的呼吸跃变型果实, 在采后 3~5 d 迅速软化。使用 1 $\mu\text{L/L}$ 1-甲基环丙烯 (1-methylcyclopropene, 1-MCP) 和 300 mg/kg 乙烯利处理“伯谢克辛”甜瓜, 研究“伯谢克辛”甜瓜调控软化机理, 分析硬度、果胶物质含量、纤维素降解变化规律, 纤维素酶 (Cx)、 β -葡萄糖苷酶 (β -Glu)、多聚半乳糖醛酸酶 (PG)、果胶甲酯酶 (PME) 活性变化规律。结果表明: 1-MCP 处理组延缓了甜瓜硬度的下降, 原果胶、纤维素含量显著高于对照及乙烯利处理。原果胶比对照组高 22% ($p<0.05$)、纤维素含量比对照组高 26.13% ($p<0.05$); 1-MCP 处理 PG、PME、Cx、 β -Glu 活性显著低于对照及乙烯利处理组。PG、PME、Cx、 β -Glu 活性均低于对照组, 酶活高峰时比对照组低 8.92%、25.73%、32.45%、14.82%。乙烯利处理 PG、Cx、 β -Glu 活性均高于对照组, 酶活高峰时比对照组高 2.84%、21.83%、14.95%。随着贮藏时间的增加, 1-MCP 处理通过调节“伯谢克辛”甜瓜果胶类物质、纤维素含量及细胞壁降解酶的活性, 减缓细胞软化进程, 提高“伯谢克辛”甜瓜的贮藏品质。

关键词: 伯谢克辛甜瓜; 1-MCP; 硬度; 细胞壁降解酶

文章编号: 1673-9078(2019)12-94-101

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2019.12.013

Effects of Ethylene and 1-MCP Treatments on Softening and Cell Wall Degradation of Bethexin Melon Fruit

ZHU Wan-tong¹, FENG Zuo-shan¹, BAI Yu-jia^{1,2}, Reheman·Aila¹, WANG Jin¹, Gulipiye·Ahaimaiti¹

(1. College of Food Science and Pharmacy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

(2. Postdoctoral Mobile Station of Crop Science, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

Abstract: “Bethexin” melon is a typical climacteric fruit that softens rapidly 3 to 5 days after harvest. Treatment of “Bethexin” melon with 1 $\mu\text{L/L}$ 1-methylcyclopropene (1-MCP) and 300 mg/kg ethephon to study the softening mechanism of “Bethexin” melon and analyze the hardness and pectin substance Changes in the content, cellulose degradation, cellulase (Cx), β -glucosidase (β -Glu), polygalacturonase (PG), pectin methylesterase (PME) activity. The results showed that the 1-MCP treatment group delayed the decrease of melon hardness, and the original pectin and cellulose content were significantly higher than that of the control and ethephon treatment. The original pectin was 22% higher than the control group ($p<0.05$), and the cellulose content was 26.13% higher than the control group ($p<0.05$). The activity of PG, PME, Cx and β -Glu treated by 1-MCP was significantly lower than that of the control and ethylene. Processing group. The activities of PG, PME, Cx and β -Glu were lower than those of the control group. The peak enzyme activity was 8.92%, 25.73%, 32.45% and 14.82% lower than the control group. The activities of PG, Cx and β -Glu in ethephon treatment were higher than those in the control group, and the peak of enzyme activity was 2.84%, 21.83% and 14.95% higher than that of the control group. With the increase of storage time, 1-MCP treatment slowed the cell softening process by regulating the activity of “Bethexin” melon pectin, cellulose content and cell wall degrading enzyme, and improved the storage quality of “Bethexin” melon.

Key words: “Bethexin” melon; 1-MCP; hardness; cell wall degrading enzyme

收稿日期: 2019-07-08

基金项目: 国家自然科学基金项目 (3166100317)

作者简介: 朱婉彤 (1994-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 农产品加工与综合利用

通讯作者: 冯作山 (1963-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 农产品加工与综合利用; 共同通讯作者: 白羽嘉 (1984-), 男, 博士, 副教授, 博士后在站, 研究方向: 农产品加工与综合利用、作物遗传育种

“伯谢克辛”俗称“老汉瓜”，是即使没有牙的老汉都可以吃的一种软化甜瓜品种，典型性的呼吸跃变型果实，是新疆特有品种，采后 2~3 d 迅速软化，在溶质型甜瓜中极具代表性。“伯谢克辛”甜瓜，果实成熟期 35~40 d^[1]，果肉酥松绵软，含糖量高，单果重 3 kg，被视为炎热夏季消暑解渴的理想瓜果。

1-甲基环丙烯 (1-methylcyclopropene, 1-MCP) 是近年来在果蔬保鲜领域运用较多的一种安全有效的乙烯抑制剂，已广泛用于哈密瓜^[2]、苹果^[3]、芒果^[4]、桃^[5]、梨^[6]、香蕉^[7]等多种果蔬的贮藏保鲜技术上。1-MCP 处理可以显著抑制哈密瓜 PG、PME、 β -Glu 活性的增加，延缓了可溶性果胶的升高及硬度的下降^[8]。绿熟期赛买提杏，经 1-MCP 处理组 (1.0 μ L/L) 可抑制货架期杏果实的失重率，延缓果实硬度^[9-10]。1-MCP 处理能够推迟“岳帅”苹果果实细胞壁降解酶活力高峰的出现，延缓果实硬度降低，从而对果实软化起到了明显的抑制作用^[11]。乙烯是一种气态植物激素，在植物生长和发育中起着至关重要的作用^[12]。外源乙烯处理显著地提高了完熟果实细胞壁水解酶的活性，从而使乙烯处理后的完熟果实硬度下降的速度更快^[13]。乙烯促进贮藏前期甜瓜 PG 活性、PME 活性的增加^[14]，外源乙烯处理能诱导和加速果实成熟。本实验小组在调研时，发现有部分农户会在瓜的表面按一定比例涂抹乙烯利进行催熟，以达到提早上市的目的。因此研究 1-MCP、乙烯利调控“伯谢克辛”甜瓜软化及细胞壁降解显得尤为重要。

“伯谢克辛”甜瓜成熟采收期正值高温季节，采后生理代谢旺盛，极易发生软化，由于其耐贮性差，使得在营销过程中营养价值，风味以及商品价值都严重受损，在运输和贮藏方面也受到极大的限制。根据调研时发现的问题，本实验在确定瓜没有被涂抹乙烯利后采收，设立了催熟软化组和延缓软化组及对照，为“伯谢克辛”甜瓜技术处理、保鲜技术提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

1.1.1 实验材料

伯谢克辛甜瓜，采收自新疆喀什地区，采收时可溶性固形物含量 $\geq 9^\circ$ Brix。

1.1.2 实验试剂

酒石酸钾钠、吡啶、无水乙醇、浓硫酸、多聚半乳糖醛酸、醋酸、醋酸钠、氯化钠、亚硫酸钠、3,5-二硝基水杨酸、结晶酚、羧甲基纤维素钠 (CMC)、柠檬酸、水杨苷、柠檬酸钠、等均为分析纯 (AR)，

以上试剂均来源于天津市光复精细化工研究所。

1.2 仪器与设备

DZKW 型电热恒温水浴锅，北京市永光明医疗器械厂；TGL-16G 型高速冷冻离心机，上海安亭科学仪器厂；TU-1810 型紫外-可见分光光度计，北京普析通用公司；FA2104N 型电子天平，上海明桥精密科学仪器有限公司；FE20 型 pH 计，梅特勒-托利多仪器有限公司；XHF-DY 型高速分散器，宁波新芝生物科技股份有限公司。

1.3 方法

1.3.1 样品处理方法

催熟软化组：根据农户对伯谢克辛甜瓜涂抹比例，使用 300 mg/kg 乙烯利溶液均匀涂抹于果实表面；延缓软化组：参照李学文^[2]同等方法，采用 1 μ L/L 1-MCP 熏蒸 24 h。

对照组：不进行任何处理。

贮藏于 4℃冷库中，各实验组间隔 12 h 进行取样，取样 14 次。按照大样本实验处理，每次随机选取 6 个伯谢克辛甜瓜，取距离果皮 1.5 cm~2.5 cm 处果肉，将果肉切成 1 cm³ 的块状，迅速置于液氮中速冻后置于 -80℃保存。

1.3.2 测定指标与方法

1.3.2.1 硬度

随机取 6 个“伯谢克辛”甜瓜，围绕果实赤道部位等间距的 6 个位置，取距离果皮 1.5 cm~2.5 cm 处果肉，用 FHR-1 型果实硬度计测定各个位置果肉的硬度，单位：kg/cm²。

1.3.2.2 原果胶和可溶性果胶含量测定

采用吡啶比色法测定，参考《果蔬采后生理生化实验指导》^[15]。

1.3.2.3 多聚半乳糖醛酸酶 (PG) 活性

以每小时每克鲜重 (FW) “伯谢克辛”甜瓜样品在 37℃催化多聚半乳糖醛酸水解生成半乳糖醛酸的微克数表示，单位： μ g/(h·g) FW。参考《果蔬采后生理生化实验指导》^[15]。

1.3.2.4 果实果胶甲酯酶 (PME) 活性的测定

采用滴定法进行测定，以单位鲜重样品在 30 min 内消耗的 NaOH 量表示果胶甲酯酶活性。单位： μ g/(h·g) FW，参照陈金印^[16]等人方法。

1.3.2.5 纤维素酶 (Cx) 活性

以每小时每克鲜重 (FW) “伯谢克辛”甜瓜样品在 37℃催化羧甲基纤维素水解形成还原糖的微克数表示，单位： μ g/(h·g) FW，参考《果蔬采后生理生化实

验指导》^[15]。

1.3.2.6 果实 β -葡萄糖苷酶(β -Glu)活性的测定

采用水杨苷水解法进行测定, β -葡萄糖苷酶活性以每小时每克鲜重“伯谢克辛”甜瓜样品中酶在37℃催化水杨苷水解形成还原糖的微克数表示,单位: $\mu\text{g}/(\text{h}\cdot\text{g})\text{FW}$ 。参考《果蔬采后生理生化实验指导》^[15]。

1.4 数据统计分析

数据采用 SPSS 19.0 软件进行显著性分析。用 Origin Pro 8.5 绘制图形。

2 结果与分析

2.1 不同处理伯谢克辛甜瓜采后果肉硬度的变化

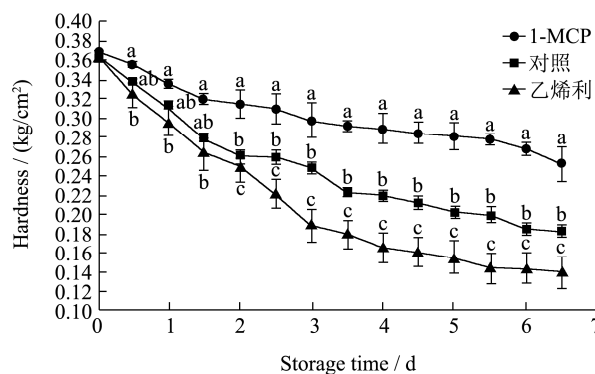


图1 不同处理“伯谢克辛”甜瓜硬度变化

Fig.1 Different treatments of "Bethexin" melon hardness change

注: 相同处理时间不同组别间字母不同表示差异显著($p<0.05$), 下同。

如图1所示, 不同处理“伯谢克辛”甜瓜果肉硬度均呈下降趋势。对照组第6.5 d硬度为0.18 kg/cm², 乙烯利处理第6.5 d硬度为0.14 kg/cm², 比对照组低22.22%; 1-MCP处理在第6.5 d硬度为0.25 kg/cm², 比对照组高38.88%。通过调控软化, 1-MCP处理“伯谢克辛”甜瓜始终高于对照组及乙烯利处理, 差异显著($p<0.05$)。

2.2 不同处理伯谢克辛甜瓜采后果肉原果胶含量变化

不同处理“伯谢克辛”甜瓜果肉原果胶含量变化明显, 呈逐渐下降趋势(图2)。在第6.5 d对照组原果胶含量为0.07 g/100 g; 乙烯利处理“伯谢克辛”甜瓜原果胶含量下降较快, 在第6.5 d原果胶含量最低, 为

0.05 g/100 g, 比对照组低28.57%; 1-MCP处理原果胶含量第6.5 d原果胶含为0.09 g/100 g, 比对照组高28.57%, 乙烯利处理原果胶含量低于对照组和1-MCP处理组, 差异显著($p<0.05$)。

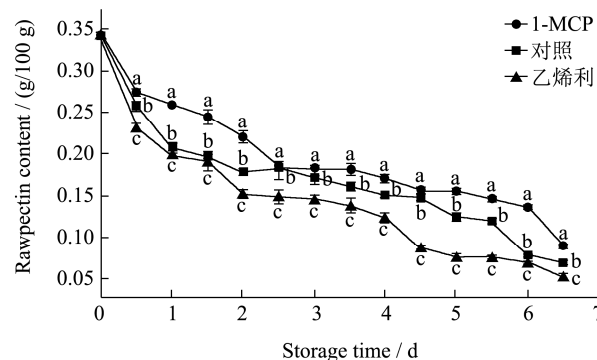


图2 不同处理“伯谢克辛”甜瓜原果胶含量变化

Fig.2 Changes in the original pectin content of different treatments of "Bethexin" melon

2.3 不同处理伯谢克辛甜瓜采后果肉可溶性果胶含量变化

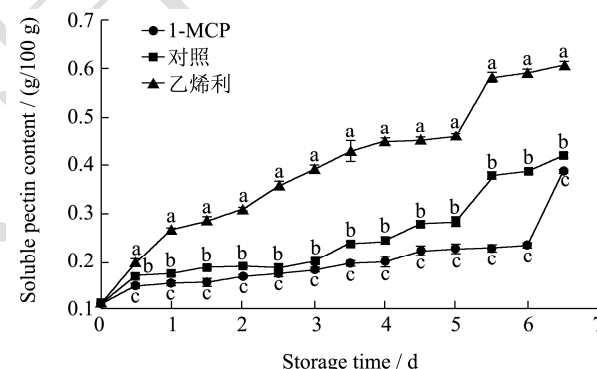


图3 不同处理“伯谢克辛”甜瓜可溶性果胶含量变化

Fig.3 Changes of soluble pectin content in different treatments of "Bethexin" melon

不同处理“伯谢克辛”甜瓜果肉可溶性果胶含量变化明显, 呈逐渐上升趋势(图3)。1-MCP处理组可溶性果胶含量均低于对照组, 乙烯利处理组甜瓜果实中可溶性果胶含量均高于对照组。对照组第6.5 d可溶性果胶含量为0.41 g/100 g; 乙烯利处理第6.5 d可溶性果胶含量为0.60 g/100 g, 比对照组高46.34%; 1-MCP处理第6.5 d可溶性果胶含量为0.39 g/100 g, 比对照组低4.87%。乙烯利处理可溶性果胶含量高于对照组和1-MCP处理组, 差异显著($p<0.05$)。“伯谢克辛”甜瓜在后熟阶段中原果胶在果胶酶的作用下不断被水解为可溶性果胶, 果实变软。

2.4 不同处理伯谢克辛甜瓜采后果肉PG活性

的变化

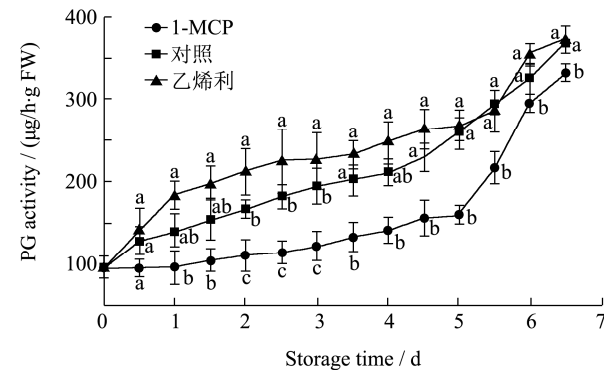


图4 不同处理“伯谢克辛”甜瓜 PG 活性变化

Fig.4 Changes in PG activity of different treatments of "Bethexin" melon

不同处理“伯谢克辛”甜瓜果肉PG活性变化明显,呈上升的变化趋势(图4)。1-MCP处理组PG活性均低于对照组,在0~5 d明显的抑制PG酶活性的增加,从第5 d开始急速上升。对照组第6.5 d的PG活性为361.71 U;1-MCP处理第6.5 d的PG活性为329.44 U,比对照组低8.92%;乙烯利处理第6.5 d的PG活性为371.99 U,比对照组高2.84%。1-MCP处理组可溶性果胶含量低于对照组和乙烯利处理,差异显著($p<0.05$)。PG通过持续高的酶活性加速细胞壁果胶层逐渐降解,可溶性果胶含量不断增加,原果胶含量降低,破坏细胞壁使果实采后果实软化,说明PG是导致果胶质降解的主要因素,这与河套蜜瓜^[17]果实的研究结果规律相似。

2.5 不同处理伯谢克辛甜瓜采后果肉 PME 活性的变化。

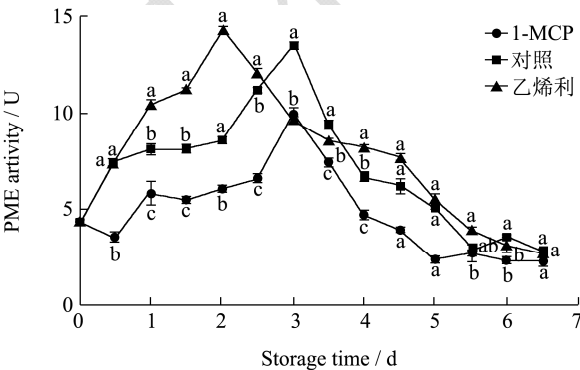


图5 不同处理“伯谢克辛”甜瓜 PME 活性变化

Fig.5 Changes in PME activity of different treatments of "Bethexin" melon

不同处理“伯谢克辛”甜瓜果肉PME活性变化明显,呈先上升后下降的趋势(图4)。乙烯利处理第2 d

时出现酶活性峰值,活性为14.57 U;对照组第3 d出现酶活性峰值,随后迅速降低,活性为13.52 U;1-MCP处理组PME活性在第3 d时出现酶活性峰值,随后迅速降低,活性为10.04 U,比对照组低25.73%,差异显著($p<0.05$)。

2.6 不同处理硬度、果胶物质与果胶降解酶相关性

1-MCP处理“伯谢克辛”甜瓜的硬度与原果胶含量、可溶性果胶含量与PG活性呈极显著性正相关分别是($r=0.771$, $r=0.850$, $p<0.01$);硬度与可溶性果胶含量、原果胶含量与PG活性、PG活性与PME活性呈极显著性负相关分别是($r=-0.641$, $r=-0.681$, $r=-0.456$, $p<0.01$) (表1)。

表1 1-MCP处理“伯谢克辛”甜瓜硬度、果胶物质与PG、PME变化的相关性分析

"Bethexin" melon					
项目	硬度	原果胶	可溶性果胶	PG	PME
硬度	1				
原果胶	0.771**	1			
可溶性果胶	-0.641**	-0.776**	1		
PG	-0.614**	-0.681**	0.850**	1	
PME	-0.003	0.014	-0.293	-0.456**	1

注: **: 在0.01水平(双侧)上显著相关, *: 在0.05水平(单侧)上显著相关。下表同。

表2 乙烯利处理“伯谢克辛”甜瓜硬度、果胶物质与PG、PME变化的相关性分析

melon treated with ethephon					
项目	硬度	原果胶	可溶性果胶	PG	PME
硬度	1				
原果胶	0.604**	1			
可溶性果胶	-0.616**	-0.956**	1		
PG	-0.520**	-0.907**	0.914**	1	
PME	0.319	0.398	-0.529**	-0.456**	1

乙烯利处理“伯谢克辛”甜瓜的硬度与原果胶含量、可溶性果胶含量与PG活性呈极显著的正相关性分别是($r=0.604$, $r=0.914$, $p<0.01$);硬度与可溶性果胶含量、原果胶含量与PG活性、可溶性果胶与PME活性、PG活性与PME活性呈极显著的负相关性分别是($r=-0.616$, $r=-0.907$, $r=-0.529$, $r=-0.456$, $p<0.01$)

(表2)。

1-MCP 处理通过抑制“伯谢克辛”甜瓜中硬度的下降速率和原果胶的降解,减少可溶性果胶的增加,降低了 PG 活性和 PME 活性,有效维持细胞壁结构的完整性,从而延缓果实软化进程。1-MCP、乙烯利对“伯谢克辛”甜瓜果胶物质及其降解酶的作用与 1-MCP、乙烯利对番木瓜^[18]的研究结果表现出同样的规律。

2.7 不同处理伯谢克辛甜瓜采后果肉纤维素含量的变化

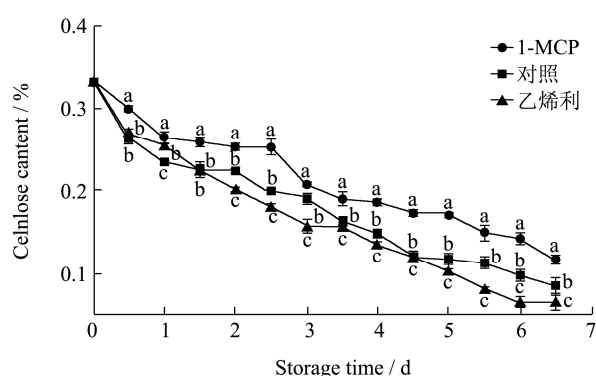


图6 不同处理“伯谢克辛”甜瓜采后纤维素含量的变化

Fig.6 Changes of cellulose content in different treatments of "Bethexin" melon

不同处理“伯谢克辛”甜瓜果肉纤维素含量变化明显,呈逐渐下降趋势(图6)。对照组纤维素含量第6.5 d 纤维素含量为0.0851%;乙烯利处理“伯谢克辛”甜瓜纤维素含量下降最快,在第6.5 d 纤维素含量最低为0.065%,比对照低23.61%;1-MCP 处理纤维素含量第6.5 d 原果胶含为0.1152%,比对照高35.37%。在果实成熟过程中,纤维素发生降解,导致细胞壁结构的解体 and 果实的软化^[19],1-MCP 有效的减缓了纤维素含量的降低,1-MCP 处理纤维素含量高于对照组和乙烯利处理组,差异显著($p<0.05$)。

2.8 不同处理伯谢克辛甜瓜采后果肉 Cx 活性的变化

随着贮藏时间的增加,不同处理“伯谢克辛”甜瓜果肉 Cx 活性变化明显,呈先上升后下降的趋势(图7)。1-MCP 处理组 Cx 活性均低于对照组($p<0.05$),乙烯处理组 Cx 活性均高于对照组,在第4 d 均出现酶活性峰值,随后迅速降低。对照组第4 d 的 Cx 活性为561.12 U,乙烯利处理第4 d 的 Cx 活性为717.81 U,比对照组高21.83%;1-MCP 处理第4 d 的 Cx 活性为

379.06 U,比对照组低32.45%。本实验结果与1-MCP 处理甜瓜“黄醉仙”^[20]的研究结果一致,1-MCP 处理显著降低了纤维素酶活性($p<0.05$)。

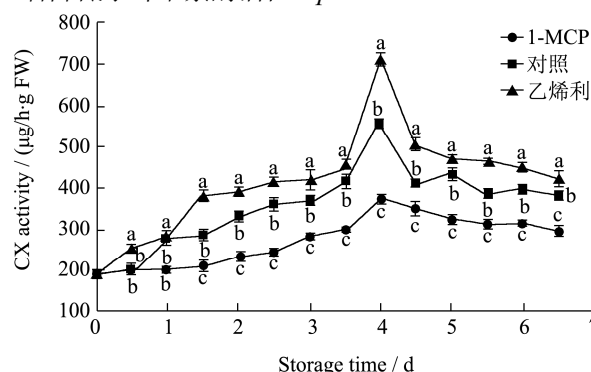


图7 不同处理“伯谢克辛”甜瓜 Cx 活性变化

Fig.7 Changes in Cx activity of different treatments of "Bethexin" melon

2.9 不同处理伯谢克辛甜瓜采后果肉 β-Glu 活性的变化

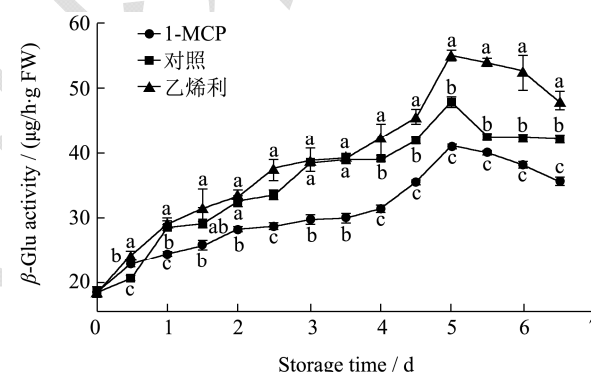


图8 不同处理“伯谢克辛”甜瓜 β-Glu 活性变化

Fig.8 Changes in β-Glu activity of different treatments of "Bethexin" melon

不同处理“伯谢克辛”甜瓜果肉 β-Glu 活性变化明显,呈先上升后下降的趋势(图8)。1-MCP 处理组 β-Glu 活性均高于对照组($p<0.05$),乙烯处理组 β-Glu 活性均低于对照组,第5 d 均出现酶活性峰值,随后迅速降低。对照组第5 d 的 β-Glu 活性为47.95 U,乙烯利处理第5 d 的 β-Glu 活性为55.12 U,比对照组高14.95%;1-MCP 处理第5 d 的 β-Glu 活性为40.84 U,比对照组高14.82%,差异显著($p<0.05$)。β-葡萄糖苷酶可以使部分细胞壁组分变得不稳定,通过降解支链上的多聚醛酸,从而使得果胶发生降解,与细胞壁结构的松弛或加固有关,活性越高果实细胞壁越松弛,1-MCP 处理“伯谢克辛”甜瓜有效的延缓了 β-葡萄糖苷酶的活性,这与1-MCP 处理哈密瓜^[21]研究的变化规律一致。

2.10 不同处理硬度、纤维素含量与纤维素降解酶相关性

1-MCP 处理“伯谢克辛”甜瓜的硬度与纤维素含量呈极显著的正相关性 ($r=0.775$, $p<0.01$) (表 3); 硬度与 Cx 活性、纤维素含量与 Cx 活性、纤维素含量与 β -Glu 活性呈极显著的负相关性, 分别为 ($r=-0.682$, $r=-0.840$, $r=-0.920$, $p<0.01$)。

乙烯利处理“伯谢克辛”甜瓜的硬度与纤维素含量呈极显著的正相关性 ($r=0.619$, $p<0.01$) (表 3); 硬度与 Cx 活性、纤维素含量与 Cx 活性、纤维素含量与 β -Glu 活性呈极显著的负相关性, 分别为 ($r=-0.423$, $r=-0.697$, $r=-0.962$, $p<0.01$)。

根据相关性分析可知,“伯谢克辛”甜瓜果实软化与纤维素含量及其降解酶呈极显著相关 ($p<0.01$)。1-MCP 处理通过抑制“伯谢克辛”甜瓜中硬度下降速率, 降低了 Cx 活性和 β -Glu 活性, 减少了纤维素的降解, 从而延缓果实软化进程。1-MCP、乙烯利对“伯谢克辛”甜瓜果实纤维素含量及其降解酶的作用与 1-MCP、乙烯利对番木瓜^[18]作用一致。

表 3 1-MCP 处理“伯谢克辛”甜瓜硬度、纤维素与 Cx、 β -Glu 变化的相关性分析

Table 3 Correlation analysis of 1-MCP treatment of "Bethexin" melon hardness, cellulose and Cx, β -Glu changes

项目	硬度	纤维素	Cx	β -Glu
硬度	1			
纤维素	0.775**	1		
Cx	-0.682**	-0.840**	1	
β -Glu	-0.762**	-0.920**	0.864**	1

表 4 乙烯利处理“伯谢克辛”甜瓜硬度、纤维素与 Cx、 β -Glu 变化的相关性分析

Table 4 Correlation analysis of the hardness, cellulose and Cx, β -Glu changes of "Bethexin" melon in ethephon treatment

项目	硬度	纤维素	Cx	β -Glu
硬度	1			
纤维素	0.619**	1		
Cx	-0.423**	-0.697**	1	
β -Glu	-0.563**	-0.962**	0.674**	1

3 讨论

果实的软化及货架寿命与细胞壁降解酶的活性, 尤其是多聚半乳糖醛酸酶和纤维素酶的活性密切相关, 也受果胶酶、 β -葡萄糖苷酶等细胞壁降解酶活性的影响。细胞壁降解酶促进细胞壁物质的降解, 引起

果实的软化^[22]。甜柿采后随着贮藏时间的延长, PG、纤维素酶 (Cellulase) 和 β -GAL 活性上升, 促进原果胶和纤维素不断下降, 可溶性果胶逐渐上升, 且果实硬度与原果胶和纤维素都呈极显著正相关, 与可溶性果胶呈显著负相关^[23]。陈新艳等人研究表明, 1-MCP 处理可以有效的抑制哈密瓜细胞壁物质的降解, 同时明显抑制了 PG、CX、PME、 β -葡萄糖苷酶等与果实体内软化相关酶的活性^[21]。乙烯是调控果实成熟的重要激素, 乙烯利处理加速果实乙烯生物合成及其生理作用, 可加快果实成熟衰老进程。李鹏鹤等人对甜瓜采后进行乙烯利处理, 结果显示乙烯利处理加速果实半纤维素、纤维素分解, 不利于果实硬度的保持。说明甜瓜果实细胞壁成分变化与果实成熟衰老有密切关系, 且受乙烯因子、贮藏温度的影响^[24]。

1-MCP 处理延缓果实软化, 对果胶物质降解起到了减缓作用。作为 PG 的作用底物, 在 PG 活性被抑制的同时, PME 活性被抑制, 降低了原果胶被降解, PME 可能是参与果实软化进程, 仅在果实软化的某阶段起作用, 但不是导致软化的关键酶, 这与张瑞^[14]等研究结果一致。而乙烯利处理使得果实的硬度迅速降低, 果胶物质迅速降解, 同时激发 PME 的作用。果胶物质、纤维素的降解及细胞壁降解酶的活性是采后“伯谢克辛”甜瓜软化的重要原因。1-MCP 处理可以有效的延缓“伯谢克辛”甜瓜的衰老软化, 并达到一定程度上的保鲜效果。

4 结论

4.1 1-MCP 处理组“伯谢克辛”甜瓜随着贮藏时间的增加硬度缓慢下降, 显著减缓果实软化的速率; 乙烯利处理“伯谢克辛”甜瓜随着贮藏时间的增加硬度下降速率加快, 显著加快果实软化的进程。1-MCP、乙烯利可以调控果实软化的速率。

4.2 1-MCP 处理明显的延缓了“伯谢克辛”甜瓜硬度、原果胶及纤维素含量的下降同时减缓可溶性果胶上升, 降低了 PG、PME、Cx、 β -Glu 的活性。乙烯利处理后的“伯谢克辛”甜瓜的硬度、原果胶、纤维素含量均低于对照组; 可溶性果胶含量均高于对照组, PG 活性、Cx 活性、 β -Glu 活性在酶活高峰时均高于对照组。说明 1-MCP 可以有效延缓“伯谢克辛”甜瓜的软化进程。

4.3 不同处理“伯谢克辛”甜瓜, 硬度与原果胶、纤维素呈正相关 ($p<0.01$), 与可溶性果胶、PG、Cx、 β -Glu 呈负相关 ($p<0.01$)。1-MCP 处理“伯谢克辛”甜瓜 PG 活性与 PME 呈弱负相关, 而乙烯利处理组“伯谢克辛”甜瓜硬度、原果胶与 PME 活性呈正弱相关,

与可溶性果胶、PG 活性呈负相关 ($p<0.01$)。随着贮藏时间的增加, 1-MCP、乙烯利处理可以有效地调节“伯谢克辛”甜瓜果实贮藏期间软化及细胞壁降解生理变化。

参考文献

- [1] 姚安. 薄皮甜瓜伯谢克辛的提纯复壮[J]. 农村科技, 2007, 7: 42
YA An. Purification and rejuvenation of thin-skinned melon boscain [J]. Rural Science and Technology, 2007, 7: 42
- [2] 李学文. 1-MCP 和 MeJA 对哈密瓜采后品质调控及其机理研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2011
LI Xue-wen. 1-MCP and MeJA on postharvest quality control and mechanism of cantaloupe [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2011
- [3] Lu X, Nock J F, Ma Y, et al. Effects of repeated 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatments on ripening and superficial scald of 'Cortland' and 'Delicious' apples [J]. Postharvest Biology and Technology, 2013, 78: 48-54
- [4] Razzaq K, Singh Z, Khan A S, et al. Role of 1-MCP in regulating 'Kensington Pride' mango fruit softening and ripening [J]. Plant Growth Regulation, 2016, 78(3): 401-411
- [5] Cai H, An X, Han S, et al. Effect of 1-MCP on the production of volatiles and biosynthesis-related gene expression in peach fruit during cold storage [J]. Postharvest Biology and Technology, 2018, 141: 50-57
- [6] Jia X H, Wang W H, Du Y M, et al. Optimal storage temperature and 1-MCP treatment combinations for different marketing times of Korla xiang pears [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2018, 17(3): 693-703
- [7] Zhu X, Shen L, Fu D, et al. Effects of the combination treatment of 1-MCP and ethylene on the ripening of harvested banana fruit [J]. Postharvest Biology and Technology, 2015, 107: 23-32
- [8] Li Xuewen, Cao Shifeng, Zheng Yonghua, et al. 1-MCP suppresses ethylene biosynthesis and delays softening of 'Hami' melon during storage at ambient temperature [J]. J Sci Food Agric, 2011, 91(14): 2684-2688
- [9] 于军, 侯旭杰, 李海纬, 等. 1-MCP·OHAA 在小白杏贮藏保鲜中的应用研究[J]. 食品工业, 2012, 2: 113-116
YU Jun, HOU Xu-jie, LI Hai-wei, et al. Application of 1-MCP·OHAA in storage and preservation of Xiaobai apricot [J]. Food Industry, 2012, 2: 113-116
- [10] 吴芳, 周江, 朱尤可, 等. 水杨酸和 1-甲基环丙烯处理对赛买提杏冷藏后货架期品质的影响[J]. 食品科技, 2016, 41(3): 52-57
WU Fang, ZHOU Jiang, ZHU You-ke, et al. Effects of salicylic acid and 1-methylcyclopropene treatment on shelf life quality of sai mait apricot after refrigeration [J]. Food Science and Technology, 2016, 41(3): 52-57
- [11] 郭丹, 韩英群, 魏鑫, 等. 1-MCP 处理对“岳帅”苹果冷藏软化及相关生理指标的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(17): 266-272
GUO Dan, HAN Ying-qun, Wei Xin, et al. Effects of 1-MCP treatment on cold-softening and related physiological parameters of "Yue Shuai" apple [J]. Food Science, 2017, 38(17): 266-272
- [12] Li W, Ma M, Feng Y, et al. EIN2-directed translational regulation of ethylene signaling in arabidopsis [J]. Cell, 2015, 163(3): 670-683
- [13] 吕双双, 李天来, 吴志刚, 等. 外源乙烯对不同成熟度网纹甜瓜果实细胞壁水解酶活性的影响[J]. 西北农业学报, 2009, 18(4): 344-350
LYU Shuang-shuang, LI Tian-lai, WU Zhi-gang, et al. Effects of exogenous ethylene on cell wall hydrolase activity of muskmelon fruits with different maturity [J]. Northwest Agricultural Journal, 2009, 18(4): 344-350
- [14] 张瑞. 甜瓜果实熟软化过程中细胞壁代谢及其调控[D]. 郑州: 河南农业大学, 2013
ZHANG Rui. Cell wall metabolism and its regulation during melon ripening and softening process [D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2013
- [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
CAO Jian-kang, JIANG Wei-bo, ZHAO Yu-mei. Physiological and Biochemical Experiment Guidance for Postharvest Fruits and Vegetables [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007
- [16] 陈金印. 美味猕猴桃“金魁”果实熟软化机理及其调控技术研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2004
CHEN Jin-yin. Study on the post-ripening softening mechanism and its regulation technology of delicious kiwifruit 'Jinkui' fruit [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2004
- [17] 刘莹. “河套”蜜瓜果实采后品质变化特征与成熟衰老调控特性研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2014
LIU Ying. Study on postharvest quality variation characteristics and mature senescence regulation characteristics of 'Hetao' honeydew melon [D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2014

- [18] 邵远志,高毫杰,贾志伟,等.1-MCP 和乙烯利处理对番木瓜果实软化生理的影响[J].中国食品学报,2013,13(2):143-148
SHAO Yuan-zhi, GAO Wei-jie, JIA Zhi-wei, et al. Effects of 1-MCP and ethephon treatment on softening physiology of papaya fruit [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2013, 13(2): 143-148
- [19] 何俊瑜,任艳芳,陈元有,等.一氧化氮对常温贮藏下芒果果实软化和细胞壁代谢的影响[J].食品工业科技,2018,39(17):269-275
HE Jun-yu, REN Yan-fang, CHEN Yuan-you, et al. Effect of nitric oxide on softening and cell wall metabolism of mango fruit under normal temperature storage [J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(17): 269-275
- [20] 张敏,王爱玲,杨军,等.甜瓜“黄醉仙”果实采后软化过程中细胞壁水解酶的变化[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2015,43(4):113-117
ZHANG Min, WANG Ai-ling, YANG Jun, et al. Changes of cell wall hydrolase during postharvest softening of melon 'Huangzuixian' fruit [J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition), 2015, 43(4): 113-117
- [21] 陈新艳.1-MCP 抑制哈密瓜果实采后软化机理的研究[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2015
CHEN Xin-yan. Study on the mechanism of 1-MCP inhibition of postharvest softening of cantaloupe fruit [D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2015
- [22] 赵云峰,林河通,林娇芬,等.果实软化的细胞壁降解酶及其调控研究进展[J].仲恺农业技术学院学报,2006,1:65-70
ZHAO Yun-feng, LIN He-tong, LIN Jiao-fen, et al. Research progress on cell wall degrading enzymes and their regulation in fruit softening [J]. Journal of Zhongkai Agricultural College of Technology, 2006, 1: 65-70
- [23] 叶玲,李冬香,王威,等.1-MCP 处理对不同成熟度甜柿采后品质和生理的影响[J].福建农业学报,2012,27(11):1211-1218
YE Ling, LI Dong-xiang, WANG Wei, et al. Effects of 1-MCP treatment on postharvest quality and physiology of different maturity sweet persimmons [J]. Fujian Journal of Agricultural Sciences, 2012, 27(11): 1211-1218
- [24] 李鹏鹤.乙烯调控后熟甜瓜果实细胞壁代谢及其结构变化[D].郑州:河南农业大学,2015
LI Peng-he. Cell wall metabolism and structural changes of cooked melon fruits after ethylene regulation [D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2015

(上接第 136 页)

- [16] 张锋,张莹莹,龚新明,等.1-MCP 延缓采后苹果果实熟软化的生化机制[J].河北农业大学学报,2011,34(4):54-59
ZHANG Feng, ZHANG Ying-ying, GONG Xin-ming, et al. Biochemical mechanism of 1-MCP delayed ripening and softening of postharvest apple fruit [J]. Journal of Agricultural University of Hebei, 2011, 34 (4): 54-59
- [17] 李江阔,林洋,张鹏,等.1-甲基环丙烯处理时间对苹果贮藏效果的影响[J].农业机械学报,2013,44(8):190-194
LI Jiang-kuo, LIN Yang, ZHANG Peng, et al. Effects of various 1-methylcyclopropene treatment durations on storage quality of apple fruit [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(8): 190-194
- [18] Candan A P, Graell J, Larrigaudiere C. Roles of climacteric ethylene in the development of chilling injury in plums [J]. Postharvest Biology and Technology, 2008, 47(1): 107-112
- [19] 张帆,任小林,王位涛,等.采后 1-MCP 处理对富士苹果灰霉病的影响[J].西北农业学报,2008,17(3):210-214
ZHANG Fan, REN Xiao-lin, WANG Wei-tao, et al. Effect of 1-MCP on gray mold of 'Fuji' apple [J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2008, 17(3): 210-214
- [20] 侯玉茹,李文生,王宝刚,等.1-MCP 处理对贮藏后西洋梨货架期品质的影响[J].食品工业科技,2015,36(20):335-338
HOU Yu-ru, LI Wen-sheng, WANG Bao-gang, et al. Effect of 1-MCP treatment on quality of *Pyrus communis* L. during shelf-life of storage [J]. Science and Technology of Food Industry, 2015, 36(20): 335-338
- [21] 董文明,田素梅,何莲君.1-MCP 和膜袋处理对丽江雪桃低温贮藏抗褐变效果的研究[J].现代食品科技,2013,29(8):1796-1799,1795
DONG Wen-ming, TIAN Su-mei, HE Lian-jun. Anti-browning effect of 1-MCP and film treatments on Lijiang snow peach during cold storage [J]. Modern Food Science and Technology, 2013, 29 (8): 1796-1799,1795