

采后‘嘎拉’苹果果实糖和淀粉代谢及关键酶基因表达特性

魏建梅¹, 齐秀东², 闫芳教³

(1. 中国环境管理干部学院 生态学系, 河北 秦皇岛 066004; 2. 河北科技师范学院 继续教育学院, 河北 秦皇岛 066004; 3. 河北省农林科学院, 河北 石家庄 050051)

摘 要:以‘嘎拉’苹果为试材,研究了采后果实后熟软化过程中可溶性糖和淀粉含量、相关酶活性及关键酶基因表达的变化,分析了低温、乙烯因子(1-MCP、乙烯利)处理对它们的影响,探讨了糖和淀粉代谢与采后‘嘎拉’果实软化的关系。结果表明:‘嘎拉’果实软化的初始阶段,淀粉降解对果实软化的影响最显著,并伴随淀粉酶(AM)活性和 *MdAM* 基因表达的快速上升,且淀粉含量、AM 活性及它们与硬度的相关性均显著受到低温和乙烯因子的调节,表明淀粉降解与‘嘎拉’果实软化关系密切。糖代谢中,蔗糖、果糖和葡萄糖含量变化与果实软化表现显著的相关性,均受到低温和乙烯因子的调节,但仅有蔗糖磷酸合成酶(SPS)活性与果实硬度的变化显著相关。随着果实软化 SPS 活性和 *MdSPS* 基因的表达量不断增加,并显著受乙烯利的促进,受低温与 1-MCP 的抑制,其活性及其与硬度间的相关性也受到同样的影响,表明蔗糖代谢参与了‘嘎拉’果实的后熟软化,SPS 在蔗糖代谢中起重要作用。

关键词:‘嘎拉’苹果;糖和淀粉代谢;果实软化;基因表达

中图分类号:S 661.163.6 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2015)19-0126-06

‘嘎拉’苹果 (*Malus domestica* Borkh. cv. Gala) 是苹果中品质优良的中早熟品种,冀东地区一般在 8 月下旬至 9 月初成熟。由于采收时气温较高,采后果实在室温下很快完成后熟,果肉极易发绵变软,货架期短,不耐贮藏^[1-2],这严重制约了‘嘎拉’苹果生产规模的扩大和经济效益的提高。因此,研究‘嘎拉’苹果果实的后熟软化特性及其调控机理,探讨有效的贮藏保鲜技术,对于延长‘嘎拉’果实贮藏期和鲜果市场供应期,促进‘嘎拉’苹果产业的发展具有重要意义。

研究表明,糖和淀粉是果实细胞的主要内含物质,其成分和含量的改变一方面影响果实风味和品质,另一方面会通过细胞渗透压的变化来影响果实细胞的膨压和张力,进而促进果实软化^[3-5]。目前,对于苹果果实采后软化的研究主要集中在细胞壁代谢和果实衰老相关酶类等方面。对细胞内含物质(如糖和淀粉等)代谢的研究大多局限在果实发育阶段,而其对采后果实软化的作用很少受到关注^[6-7]。低温贮藏和乙烯因子(1-MCP、

乙烯利)处理作为果实后熟软化的有效调控手段不仅在生产上得到了应用,而且也是研究采后果实软化调控机理的常用方法。因此,该试验以‘嘎拉’苹果为试材,分别采用低温、1-MCP 和乙烯利处理,分析采后果实软化过程中糖和淀粉代谢、关键酶基因表达及其调控效应,以阐明糖和淀粉代谢在‘嘎拉’果实软化中的作用。这不仅可为苹果果实后熟软化机理的研究作有益补充,也将为延长果实保鲜期、改善贮藏技术提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

以‘嘎拉’苹果果实为试材,选取成熟度一致、无病、虫、伤的果实进行研究。

1.2 试验方法

试验分别进行低温、1-MCP、乙烯利处理,1)低温处理:将果实置于 5~6℃ 下预冷后贮于(0±0.5)℃ 下;2)1-MCP 处理:常温下(20±1)℃ 将果实密闭于含 0.5 μL/L 1-MCP(0.18%)的容器中熏蒸 24 h 后常温贮藏;3)乙烯利处理:用 2 mL/L 的乙烯利(40%)溶液浸泡果实 5 min,取出晾干后常温贮藏。对照为不做任何处理,直接常温(20±1)℃ 贮藏的果实。每处理共 50 kg 果实,每 5 d 采样 1 次,测定果实硬度、呼吸速率、可溶性糖和淀粉含量、相关酶活性及关键酶基因表达的变化。

第一作者简介:魏建梅(1973-),女,河北昌黎人,博士,现主要从事果实品质发育与贮藏生理等研究工作。E-mail: xbandwj@126.com.

基金项目:河北省科技支撑计划资助项目(12226806)。

收稿日期:2015-05-25

1.3 项目测定

1.3.1 果实硬度和呼吸速率 果实硬度用 GY-4 型数显硬度计测定,重复 10 次,单位: kg/cm^2 。用气流法测定果实呼吸速率,重复 3 次,单位: $\text{CO}_2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 。

1.3.2 可溶性糖和淀粉含量 取 2.0 g 鲜样果实,研磨,加 80% 乙醇 80℃ 水浴 20 min,离心,重复 3 次,集中上清液,沸水浴蒸去乙醇,加 2 mL 水溶解,经 0.25 μm 微孔滤膜过滤,用高效液相色谱法测定蔗糖、葡萄糖和果糖含量。将上述提取可溶性糖的残余物用高氯酸法提取淀粉,用蒽酮比色法测定。重复 3 次,单位: mg/g FW。

1.3.3 蔗糖磷酸合成酶 (SPS)、蔗糖合成酶 (SS)、酸性转化酶 (AD) 和淀粉酶 (AM) 活性 参照 MERLO 等^[8] 和 ITAI 等^[9] 的方法。称取 1.0 g 鲜样果实于冰浴中研磨,加 6 mL 50 mmol/L HEPES-NaOH 缓冲液 (pH 7.5), 4℃ 下 12 000 r/min 离心 10 min,上清液于 4℃ 下透析 12 h 后用于酶活性测定。蔗糖磷酸合成酶 (SPS) 反应混合液 140 μL , 包含 100 mmol/L HEPES 缓冲液 (pH 7.5)、4 mmol/L F-6-P、3 mmol/L UDPG、1 mmol/L EDTA、5 mmol/L MgCl_2 和 80 μL 酶液。37℃ 反应 40 min, 1 mol/L NaOH 终止,沸水浴 5 min,冷却,加 0.5 mL 浓 HCl 和 0.5 mL 12% 间苯二酚,80℃ 反应 10 min,冷却,测定 OD_{520} 值。蔗糖合成酶 (SS) 反应混合液 140 μL , 包含 3 mmol/L UDPG、3 mmol/L 果糖、5 mmol/L MgCl_2 、50 mmol/L HEPES 缓冲液 (pH 7.5) 和 80 μL 酶提取液。37℃ 反应 40 min, 1 mol/L NaOH 终止,沸水浴 5 min,冷却,加 0.5 mL 12% 间苯二酚和浓 HCl,80℃ 保温 10 min,冷却,测定 OD_{520} 值。酸性转化酶 (AD) 反应混合液 1 mL, 包含 0.1 mol/L 乙酸钠缓冲液 (pH 4.8)、0.1 mol/L 蔗糖和 0.2 mL 酶液。37℃ 反应 40 min, 1 mL DNS 终止反应,沸水浴 5 min,冷却,测定 OD_{520} 值。淀粉酶 (AM) 反应混合液 1 mL, 包含 40 μL 酶提取液、0.1 mol/L 乙酸钠缓冲液 (pH 6.5)、5 mmol/L $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 、1.5 mmol/L NaF 和 0.5% 可溶性淀粉。37℃ 反应 20 min, 1 mL DNS 终止反应,沸水浴 5 min,冷却,测定 OD_{520} 值。重复 3 次,单位: U。

1.3.4 果实 *MdSPS* 和 *MdAM* 基因的定量表达分析

改良 CTAB 法提取果实总 RNA,分别测定 A_{260} 、 A_{280} 、 A_{230} 并用 0.8% 琼脂糖凝胶电泳检测 RNA 质量和完整性。用 Premier 5.0 软件进行基因定量引物设计,其中, *MdSPS* 基因上游引物为 5'-TATCAACGCAACCTACAAGA-3', 下游引物为 5'-AGGCAACTAACTCCACGAC-3', *MdAM* 基因上游引物为 5'-ACGAACATCAGCCACAGGAC-3', 下游引物为 5'-CCGAACAACTCAGAAAACG-3'。内参基因为 18S (上游引物 5'-CCATTGGAGGGCAAGTCT-3', 下游引物 5'-GGTTCTCAGCTACACGA-3')。用 TaKaRa 逆转录试剂盒进行 cDNA 第一链合成,进行多重 Real-time 荧光定量 PCR 检测基因的定量表达情况。反应总体积 20.0 μL , 包括 cDNA 模板 1.0 μL , SYBR® Premix Ex Taq™ (2×) 10.0 μL , 特异引物各 0.5 μL , 荧光检测步骤为 94℃ 5 min, 94℃ 5 s, 55~60℃ 10 s, 72℃ 10 s, 设 40 个循环。将采收时 (0 d) 的基因表达量设为 1.0, 用 $2^{-\Delta\Delta\text{CT}}$ 方法进行数据分析。每次重复 3 次。

1.4 数据分析

采用 Excel 软件进行试验数据的计算和绘图, DPS 7.05 软件进行数据的统计分析。

2 结果与分析

2.1 果实硬度和呼吸速率变化

由图 1-A 可知,常温下,‘嘎拉’果实硬度迅速降低,贮藏 10 d 即降到 6.0 kg/cm^2 以下; 0℃ 低温和 1-MCP 处理极显著推迟了果实软化,贮藏 30 d 仍能维持原有的果实硬度; 乙烯利处理加速了‘嘎拉’果实的软化进程,其硬度变化趋势与对照相似。由图 1-B 可知,随着采收后‘嘎拉’果实硬度的下降其呼吸速率迅速提高,第 10 天即出现呼吸高峰; 0℃ 贮藏则使其果实的呼吸速率显著受到抑制,并极显著推迟了呼吸跃变期的出现; 同样, 1-MCP 处理亦极显著抑制了果实呼吸速率的上升,至处理后其呼吸速率才有所升高; 而乙烯利处理则促进了果实呼吸速率的提高,但未使其呼吸跃变期提前。试验结果表明,‘嘎拉’果实的后熟软化进程显著受贮藏温度和乙烯因子的调节。

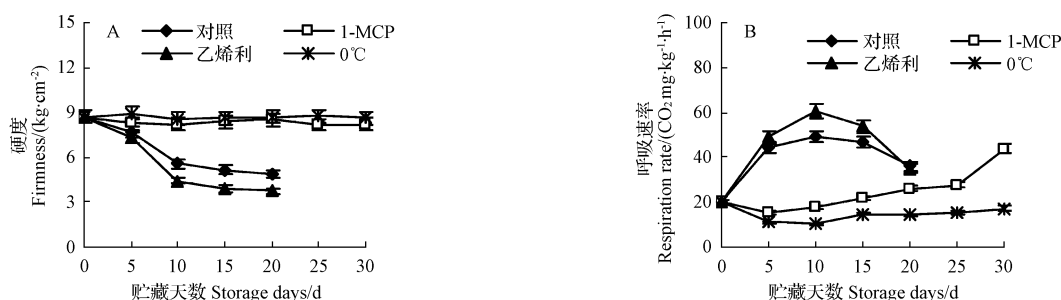


图1 ‘嘎拉’果实硬度和呼吸速率变化

Fig. 1 Change of firmness and respiration rate in ‘Gala’ apple fruit

2.2 果实糖和淀粉含量的变化

由图 2-A、B、C 可知,贮藏初期‘嘎拉’果实果糖、葡萄糖和蔗糖含量均呈增加趋势,10 d 后葡萄糖和蔗糖含量开始降低,果糖含量降低较少;0℃ 下随贮藏时间的延长,‘嘎拉’果实中蔗糖、果糖和葡萄糖的含量变化不大;1-MCP 处理一定程度抑制了‘嘎拉’果实蔗糖、果糖和葡萄糖含量的增加,尤其在贮藏前期这种抑制效果较为显著;而乙烯利处理则促进了‘嘎拉’果实中 3

种可溶性糖含量的积累。图 2-D 表明,‘嘎拉’果实的淀粉含量在采收时较高,常温下贮藏表现出迅速降解的趋势,其含量大幅降低;乙烯利处理显著加速了果实淀粉的降解进程,在贮藏初期促进作用尤为显著;1-MCP 处理显著减缓了淀粉的降解速率,至贮藏末期其淀粉含量与对照间的差异不显著;0℃ 低温虽未完全抑制淀粉的降解,但却极显著地延缓了‘嘎拉’果实淀粉的降解进程。

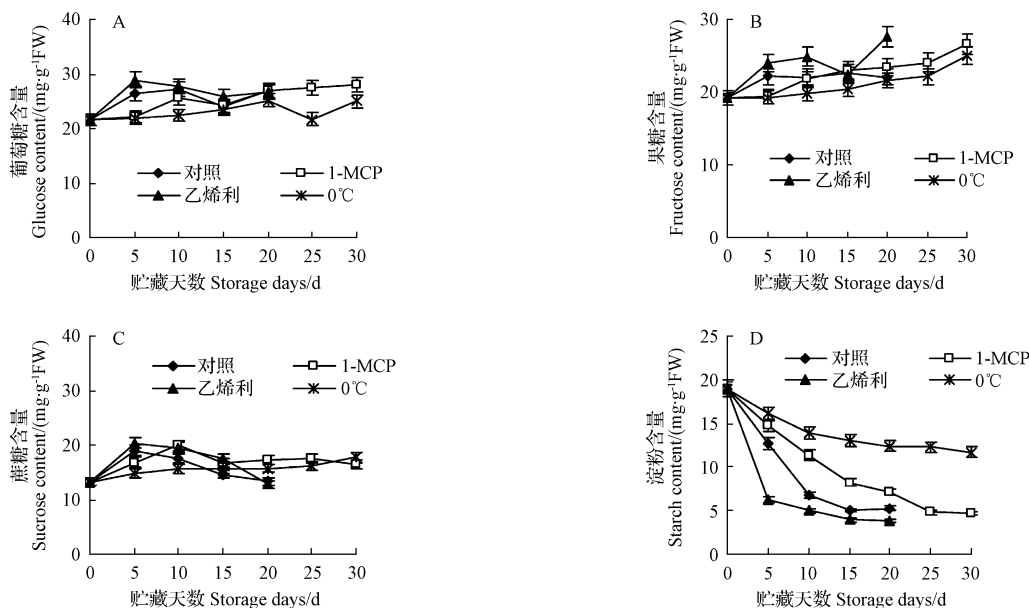


图 2 ‘嘎拉’果实葡萄糖、果糖、蔗糖和淀粉含量的变化

Fig. 2 Change of glucose, fructose, sucrose and starch content in 'Gala' apple fruit

2.3 果实蔗糖磷酸合成酶 (SPS) 和蔗糖合成酶 (SS) 活性的变化

由图 3-A 可知,‘嘎拉’果实 SPS 活性显著受低温和乙烯利因子的调控。随着果实后熟软化,SPS 活性渐趋升高,第 10 天出现较小的活性高峰;乙烯利处理则显著促进了 SPS 活性的上升,第 10 天出现的活性高峰显著高于对照;0℃ 低温和 1-MCP 处理均显著抑制了果实 SPS 活性,贮藏 30 d 内均未见明显的 SPS 活性上升的现象。由

图 3-B 可知,‘嘎拉’果实 SS 活性随着果实后熟软化呈明显的上升趋势,第 10 天出现活性高峰后下降;乙烯利处理未能显著促进贮藏前期果实的 SS 活性,到贮藏后期该处理的 SS 活性仍不断增加,显著高于对照;0℃ 低温和 1-MCP 处理显著抑制了贮藏前期果实的 SS 活性,贮藏后期其活性虽仍趋于升高,但与对照间的差异不显著。

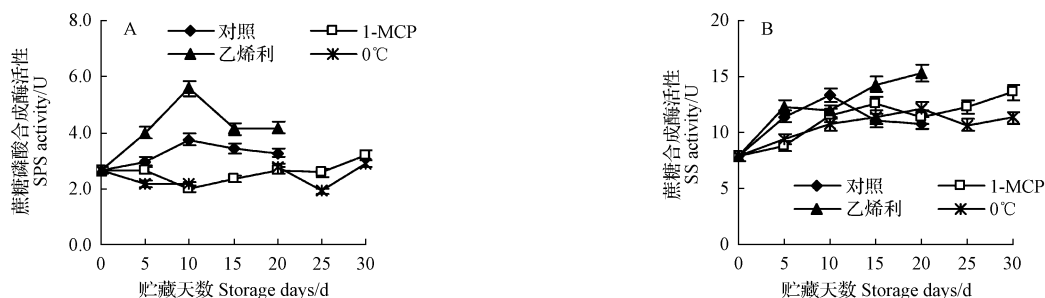


图 3 ‘嘎拉’果实蔗糖磷酸合成酶和蔗糖合成酶活性变化

Fig. 3 Change of SPS and SS activities in 'Gala' apple fruit

2.4 果实淀粉酶(AM)和酸性转化酶(AI)活性的变化

由图 4-A 可知,采后常温下贮藏,‘嘎拉’果实的 AM 活性逐渐升高,第 5 天出现活性高峰后下降;乙烯利处理促进了果实 AM 活性的增加,并较长时间的维持了较高的 AM 活性;而低温贮藏和 1-MCP 处理对 AM 活性

表现出相似的影响效果,在贮藏期间均强烈抑制了 AM 活性,并且未出现明显的上升趋势。图 4-B 表明,贮藏期间‘嘎拉’果实 AI 活性变化不大,乙烯利处理亦未促进其活性的升高,低温贮藏和 1-MCP 处理虽使 AI 活性有所降低,但与对照间均未达到差异显著水平。

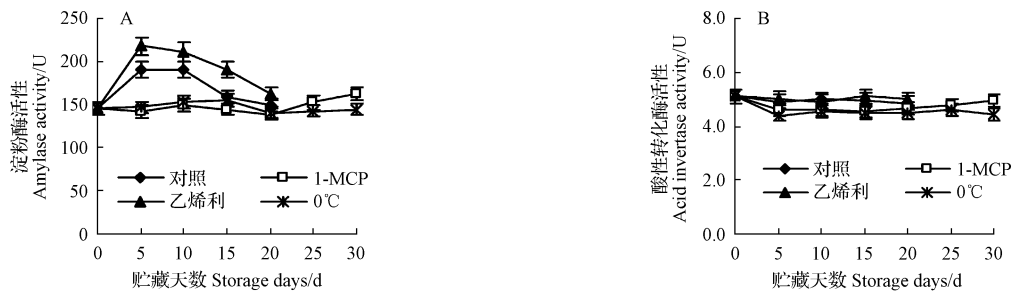


图 4 ‘嘎拉’果实淀粉酶和酸性转化酶活性变化的影响

Fig. 4 Change of AM and AI activities in ‘Gala’ apple fruit

2.5 果实 MdSPS 和 MdAM 基因表达量的变化

由图 5-A 可知,采后‘嘎拉’苹果 MdSPS 基因的表达量随果实软化不断增加,乙烯利处理则显著促进了 MdSPS 基因 mRNA 的转录水平,而‘嘎拉’苹果经 1-MCP 处理后显著抑制了果实 MdSPS 基因的表达水平,贮藏 20 d 后才开始增加。在 0°C 低温贮藏过程中,‘嘎拉’苹果果实 MdSPS 基因的表达受到强烈抑制,

基本维持较低的表达水平。由图 5-B 可知,常温下,‘嘎拉’果实 MdAM 基因的表达量呈显著增加的趋势,第 10 天出现表达高峰后降低,经乙烯利处理后其 MdAM 基因的表达水平迅速升高,极显著高于对照,但其变化趋势与对照相一致,而 1-MCP 处理和低温贮藏几乎完全抑制了‘嘎拉’苹果果实 MdAM 基因的表达。

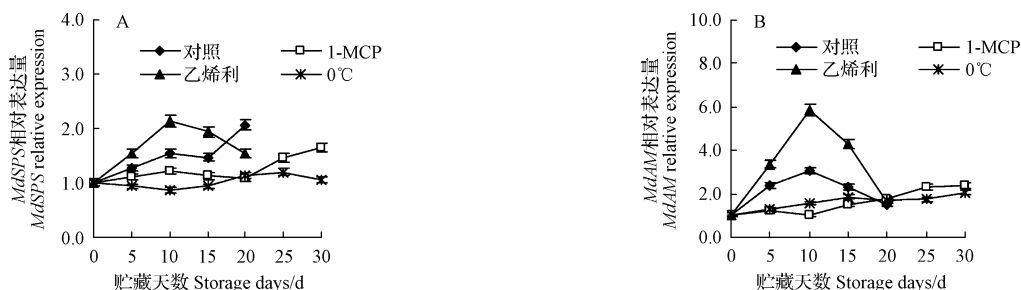


图 5 ‘嘎拉’果实 MdSPS 和 MdAM 基因的相对表达量变化

Fig. 5 Change of MdSPS and MdAM gene relative expression in postharvest ‘Gala’ apple fruit

2.6 果实糖、淀粉及其相关酶活性变化与硬度的相关性分析

从表 1 可以看出,常温下‘嘎拉’果实硬度与蔗糖、果糖和葡萄糖含量变化均呈显著或极显著的负相关关系,而与淀粉含量变化表现显著的正相关性;乙烯利处理均显著提高了果实硬度与糖和淀粉间的相关水平,尤其对淀粉含量变化与硬度间相关水平的促进作用最显著;而 0°C 低温和 1-MCP 处理则大大降低了果实硬度与糖和淀粉间的相关水平,均变得不显著。从相关系数值看,0°C 低温对其抑制效果更为强烈。表 2 表

明,常温贮藏过程中,‘嘎拉’果实硬度分别与 SPS 和 AM 活性变化呈显著的负相关关系,而与 SS 和 AI 活性变化的相关性不显著;采后乙烯利处理则促进了果实硬度与糖和淀粉代谢相关酶活性变化的相关关系,使硬度与 SPS 和 AM 活性变化间的负相关性达到极显著水平,但 SS 和 AI 活性变化与硬度仍未达到显著的相关水平;而经 1-MCP 处理和低温贮藏后‘嘎拉’果实硬度变化与各相关酶活性间的相关性均不显著。上述试验结果进一步表明,‘嘎拉’果实软化过程中碳水化合物代谢显著受到乙烯因子和贮藏温度的调控。

表 1 ‘嘎拉’果实可溶性糖和淀粉含量变化与硬度的相关性分析

Table 1 Correlation between the changes of soluble sugars and starch contents and the flesh firmness in ‘Gala’ apple fruit

嘎拉 Gala	处理 Treatment	蔗糖 Sucrose	果糖 Fructose	葡萄糖 Glucose	淀粉 Starch
硬度 Firmness	对照 Control	-0.801 *	-0.899 **	-0.917 **	0.870 *
	1-MCP	-0.707	-0.639	-0.454	0.314
	乙烯利 Ethephon	-0.851 *	-0.923 **	-0.967 **	0.983 **
	0℃	-0.282	-0.173	0.215	-0.576

注: * 显著线性相关, ** 极显著线性相关。下同。

Note: * and ** indicate significant linear correlation at 0.05 and 0.01 levels, respectively. The same below.

表 2 ‘嘎拉’果实糖代谢相关酶活性变化与硬度的相关性分析

Table 2 Correlation between sugar metabolism-related enzymes activities and the flesh firmness in ‘Gala’ apple fruit

嘎拉 Gala	处理 Treatment	蔗糖磷酸合成酶 SPS	蔗糖合成酶 SS	酸性转化酶 AI	淀粉酶 AM
硬度 Firmness	对照 Control	-0.836 *	-0.634	0.356	-0.821 *
	1-MCP	0.575	-0.339	0.603	0.470
	乙烯利 Ethephon	-0.988 **	-0.703	0.406	-0.913 **
	0℃	0.022	-0.005	-0.394	-0.468

3 讨论与结论

研究表明,随着果实软化,淀粉在淀粉酶的作用下水解成葡萄糖,葡萄糖在 6-磷酸-葡萄糖异构酶的催化下转变成果糖,果糖与葡萄糖可以在蔗糖磷酸合成酶的作用下合成蔗糖,而蔗糖又可以在酸性转化酶的作用下分解成葡萄糖和果糖,淀粉与可溶性糖之间形成动态平衡,能有效维持细胞渗透压和膨压,进而对细胞壁起支撑作用,因此,果实细胞内糖和淀粉成分与含量的改变及其动态平衡的打破会间接影响果实的软化进程^[10-11]。潘晓倩等^[12]认为,苹果果实糖和淀粉代谢不仅与果实发育成熟和风味品质的形成有关,而且淀粉降解和蔗糖代谢与果实硬度变化、乙烯合成和呼吸跃变等密切相关。淀粉酶(AM)、蔗糖磷酸合成酶(SPS)、蔗糖合成酶(SS)对果实软化的作用在香蕉^[13]、猕猴桃^[14]、桃^[15]、梨^[16]等果实上已经得到证实。张玉等^[10]发现,猕猴桃果实后熟中淀粉酶活性上升于果实软化启动阶段,随着果实进入快速软化阶段,淀粉迅速分解,葡萄糖和果糖迅速积累,SPS 活性增加蔗糖含量升高,至果实软化后期 SPS 活性降低蔗糖含量下降,SPS 在采后猕猴桃果实软化过程中起着核心作用。李雯等^[13]也证实 SPS 与香蕉果实后熟中乙烯释放、呼吸速率变化、硬度下降、淀粉分解及糖的积累等有着非常密切的关系。郭艳利等^[17]指出,采后果实蔗糖合成酶具有分解和合成蔗糖的双重属性,会通过蔗糖代谢的正负调控来调节细胞渗透压而影响果实软化。由此可见,果实软化不仅与细胞壁代谢及其相关酶的活性变化关系密切,而且与细胞内含物蔗糖和淀粉等的代谢亦存在不容忽视的相关性。

该研究发现,‘嘎拉’果实软化过程中淀粉含量变化最显著,常温下淀粉迅速降解,并伴随着 AM 活性和 MdAM 基因表达的快速上升,且这些变化在果实软化的初始阶段表现更为明显。在贮藏过程中,淀粉含量和 AM 活性均与果实硬度变化表现出显著的相关关系,而且无论是淀粉含量、AM 活性还是它们与硬度的相关性均显著受到乙烯因子和低温的调节,表明淀粉降解与‘嘎拉’果实软化关系密切。其次,蔗糖代谢酶中 SPS 活性变化与硬度的相关性较为显著,SPS 活性和 MdSPS 基因的表达量随果实软化不断增加,显著受到乙烯利的促进,受到低温与 1-MCP 处理的抑制,而且 SPS 活性与硬度间的相关性也受到显著影响。蔗糖、果糖和葡萄糖含量随果实软化呈增加趋势,与果实软化表现显著的负相关性,且均受低温和乙烯因子的调节,表明蔗糖代谢参与了‘嘎拉’果实后熟软化,SPS 在其后熟软化过程中起重要作用。这与香蕉^[13]和猕猴桃^[14]等果实上的研究结果相一致。

试验结果表明,糖和淀粉作为采后‘嘎拉’果实的内含物质,其合成与降解参与了果实软化,是果实后熟软化进程中的重要生理生化过程,这进一步丰富了苹果果实后熟软化机理的内容,为果实软化研究提供了新的思路。然而,果实软化生理过程复杂,受多种代谢途径的协同作用,作为细胞内含物的糖和淀粉的合成与降解过程也是错综复杂的,糖在果实中往往作为信号分子起作用^[18-19],也表明果实糖和淀粉代谢的复杂性。因此,仍需进行深入研究来阐释它们与果实软化的确切关系。

参考文献

- [1] 王玲,黄森,张继澍,等. ‘嘎拉’苹果果实采后电学特性与生理特性关系的研究[J]. 西北植物学报,2009,29(2):402-407.
- [2] 阎根柱,王春生,赵迎丽,等. 1-MCP 和乙烯脱除剂对嘎拉苹果贮藏生理及品质的影响[J]. 保鲜研究,2014,14(1):23-26.
- [3] HARKER F R, REDGWELL R J, HALLETT I C, et al. Texture of fresh fruit[J]. Horticultural Reviews,1997,20:121-224.
- [4] YANG X T, SONG J, CAMPBELL-PALMER L. Effect of ethylene and 1-MCP on expression of genes involved in ethylene biosynthesis and perception during ripening of apple fruit[J]. Postharvest Biol Technol,2013,78:55-66.
- [5] 于年文,李俊才,王家珍,等. 不同时期采收的南果梨后熟过程中糖分的变化规律[J]. 中国农学通报,2011,27(20):123-126.
- [6] BRUMMELL D A. Cell wall disassembly in ripening fruit[J]. Functional Plant Biology,2006,33:103-119.
- [7] 刘美艳,魏景利,刘金,等. ‘泰山早霞’苹果采后 1-甲基环丙烯处理对其软化及相关基因表达的影响[J]. 园艺学报,2012,39(5):845-852.
- [8] MERLO L, PASSERA C. Changes in carbohydrate and enzyme levels during development of leaves of *Prunus persica*, a sorbitol synthesizing species[J]. Plant Physiol,1991,83:621-626.
- [9] ITAI A, TANAHASHI T. Inhibition of sucrose loss during cold storage in Japanese pear (*Pyrus pyrifolia* Nakai) by 1-MCP[J]. Postharvest Biol Technol,2008,48(3):355-363.
- [10] 张玉,陈昆松,张上隆,等. 猕猴桃果实采后成熟过程中糖代谢及其调节[J]. 植物生理与分子生物学报,2004,30(3):317-324.

- [11] WANG K, SHAO X, GONG Y, et al. The metabolism of soluble carbohydrates related to chilling injury in peach fruit exposed to cold stress [J]. *Postharvest Biol Technol*, 2013, 86: 53-61.
- [12] 潘晓倩, 申琳, 生吉萍. 苹果采后软化过程中糖类物质代谢的研究进展[J]. *中国食物与营养*, 2011, 17(11): 29-32.
- [13] 李雯, 邵远志, 庄军平, 等. 蔗糖磷酸合成酶与香蕉果实成熟、衰老的关系[J]. *园艺学报*, 2006(5): 1087-1089.
- [14] 周国忠, 刁太清. 猕猴桃果实淀粉含量和淀粉酶活性变化与耐贮性的关系[J]. *果树科学*, 1997(1): 21-23.
- [15] 彭丽桃, 杨书珍, 任小林, 等. 采后两种不同果肉类型油桃软化相关酶活性的变化[J]. *热带亚热带植物学报*, 2002, 10(2): 171-176.
- [16] 林河通, 席玑芳, 陈绍军. 黄花梨果实采后软化生理基础[J]. *中国农业科学*, 2003, 36(3): 349-352.
- [17] 郭艳利, 杨肖芳, 蒋黎, 等. 蔗糖代谢相关酶与果实糖代谢[J]. *现代园艺*, 2012(9): 50-54.
- [18] SHAO X, ZHU Y, CAO S, et al. Soluble sugar content and metabolism as related to the heat-induced chilling tolerance of loquat fruit during cold storage[J]. *Food and Bioprocess Technol*, 2013, 6(12): 3490-3498.
- [19] 陈俊伟, 张上隆, 张良诚. 果实中糖的运输、代谢与积累及其调控[J]. *植物生理与分子生物学学报*, 2004, 30(1): 1-10.

Sugar and Starch Metabolism and the Key-enzyme Gene Expression in Postharvest 'Gala' Apple Fruit

WEI Jianmei¹, QI Xiudong², YAN Fangjiao³

(1. Department of Ecology, Environmental Management College of China, Qinhuangdao, Hebei 066004; 2. School of Continuing Education, Hebei Normal University of Science and Technology, Qinhuangdao, Hebei 066004; 3. Hebei Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Shijiazhuang, Hebei 050051)

Abstract: Taking 'Gala' apple fruits as the test materials, the changes in the contents of soluble sugars and starch were analyzed in order to study the relationship between carbohydrate metabolism and fruit softening, the activities of related enzymes, and the key-enzyme gene expression after being treated at low temperature and with 1-MCP and ethephone. The results showed that the starch contents decreased rapidly and it played the most significant roles at the early stage of storage, and accompanied by a rapid rise rate in AM activity and *MdAM* gene expression, and either the starch content and AM activity or their correlation with firmness were significantly regulated by ethylene factor and low temperature treatment, showing that starch degradation had close correlations with 'Gala' fruit softening. The changes of sucrose, glucose and fructose contents showed significant correlations with fruit softening, which significantly regulated by low temperature and ethylene factor treatment. However, only the SPS activity increased and had significantly correlation with firmness loss, accompanied with a fast rise rate in the expression of *MdSPS* gene. Also, these phenomena were significantly promoted by ethephon treatment and obviously inhibited by low temperature and 1-MCP treatments, and the correlation between SPS activity and fruit firmness were affected in the same way. So above results showed that SPS played an important role in 'Gala' fruit softening by involving in sucrose metabolism.

Keywords: 'Gala' apple; sugar and starch metabolism; fruit softening; gene expression

欢迎订阅 2016 年《中国瓜菜》

《中国瓜菜》是由农业部主管、中国农业科学院郑州果树研究所主办的全国性瓜菜一体的科技期刊, 进入 2014 年版《中文核心期刊要目总览》园艺类核心期刊, 进入《中国农业核心期刊概览 2014》。2016 年《中国瓜菜》将继续及时报道瓜菜领域的重大科研成果、最新科研进展、实用技术和信息, 努力把《中国瓜菜》打造成我国瓜菜科研和产业交流的优秀平台, 促进我国瓜菜业的全面发展和社会、经济、生态效益的综合提升。

本刊划分为科研、生产、论坛和信息等四大板块, 设有专题综述、试验研究、品种选育、研究简报、标准化技术、栽培与植保、产业发展等栏目。适合瓜菜科技人员、农业院校师生、瓜菜种植者、种子及产品经销商、行业组织及实体管理人员、瓜菜区领导等瓜菜从业者参阅。2016 年起改为月刊, 每月 5 日出版, 每期 64 页码、定价 5 元, 全年 12 期共 60 元。邮发代号: 36-143; 国外代号: BM2654。也可汇款至本刊发行部订阅。

地 址: 郑州市未来路南端·中国农业科学院郑州果树研究所

邮 编: 450009

电子信箱: zhongguoguacai@caas.cn, zggc@163.com

电 话: 0371-65330927(编辑部), 65330926/49(广告部), 65330982(发行部),
65330926(传真), 65330928(社长室)