

1-MCP 处理对采后桃果实糖代谢的影响

韩 帅¹,蔡洪芳¹,马瑞娟²,俞明亮²,郁志芳^{1,*}

(1.南京农业大学食品科技学院,江苏南京 210095;

2.江苏省农业科学院园艺研究所,江苏南京 210014)

摘 要:以“霞晖6号”桃果实为材料,通过检测 20℃、85%~90%相对湿度贮藏期间果实果糖、葡萄糖含量及糖代谢相关基因表达量,研究采后 1-MCP 处理对桃果实糖代谢的影响和调控机制。结果显示,1-MCP 处理可以显著地延缓桃果实硬度下降($p < 0.05$),降低并推迟呼吸高峰,抑制果糖、葡萄糖含量的增加和蔗糖含量的下降,减慢糖的转化;共检测到 14 个糖代谢相关的基因,*PpSPS*、*PpSS* 和 *PpNI* 相对于 *PpAI* 有较高的表达水平,1-MCP 处理可以显著性上调 *PpSPS4* 和显著下调贮藏中期 *PpNI3*、*PpNI4* 和 *PpSS1* 的表达水平($p < 0.05$)。结论:1-MCP 处理主要通过上调贮藏期 *PpSPS4* 和下调 *PpNI3*、*PpNI4* 的基因表达,从而调控桃果实的糖代谢,维持更高的蔗糖水平。

关键词:桃,1-MCP,代谢,表达

Effect of 1-MCP on Sugar Metabolism of Postharvest Peach Fruit

HAN Shuai¹, CAI Hong-fang¹, MA Rui-juan², YU Ming-liang², YU Zhi-fang^{1,*}

(1.College of Food Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China;

2.Institute of Horticulture, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China)

Abstract: To research the effect and regulation mechanism of 1-MCP treatment on sugar metabolism of peach, the soluble sugars and the transcription level of sugar metabolism related genes of “Xiahui 6” peach that were stored at 20℃ with 85%~90% relative humidity were determined. The results showed that 1-MCP treatment could keep a higher firmness compared to control group significantly ($p < 0.05$). Besides, the respiration of peach could decreased and the peak of respiration could be postponed by 1-MCP treatment. 1-MCP could inhibit the increase of the content of glucose and fructose and the decrease of the content of sucrose. Total 14 genes related sugar metabolism were isolated and the expression of *PpSPS*, *PpSS* and *PpNI* had a higher level compared with the expression of *PpAI*. 1-MCP treatment could significatly enhance the expression of *PpSPS4* and inhibited the transcript level of *PpNI3*, *PpNI4* and *PpSS1* during the middle storage ($p < 0.05$). Conclusion: 1-MCP could regulate the sugar metabolism mainly through up-regulating the expression of *PpSPS4* and down-regulating the expression of *PpNI3*, *PpNI4*, which could result in a higher level of sucrose content.

Key words: peach; 1-MCP; sugar metabolism; gene expression

中图分类号:TS255.3

文献标识码:A

文章编号:1002-0306(2018)18-0264-06

doi:10.13386/j.issn1002-0306.2018.18.045

引文格式:韩帅,蔡洪芳,马瑞娟,等.1-MCP 处理对采后桃果实糖代谢的影响[J].食品工业科技,2018,39(18):264-269.

桃(*Prunus persica*)属于蔷薇科李属植物,原产中国,历史悠久^[1]。桃果实因其丰富的营养物质及独特的风味,受到广大消费者的青睐。果实中糖的种类及含量不仅决定了果实的风味,而且还是重要的能源物质。糖是众多代谢通路的中间产物及原料,糖代谢及其信号转导参与调控植物的发育、成熟和衰老等多个过程^[2]。桃果实中的主要可溶性糖包括蔗糖、果糖和葡萄糖,且蔗糖占主导地位^[3]。但桃是典型的呼吸跃变型果实,采后易成熟衰老,不耐贮藏,影响其商品价值^[4]。近年来,各种各样的物理、化学

和生物保鲜技术被广泛研究,如气调保藏、化学保鲜剂(1-甲基环丙烯(1-MCP)、茉莉酸、水杨酸等)、拮抗菌保鲜等,其中属于化学保鲜的乙烯抑制剂因其无毒安全性高、环境友好、操作简便、作用显著得到了行业的普遍关注与认可。

1-MCP 是一种新型的乙烯抑制剂,具有无毒、高效的优点,能够与乙烯受体蛋白优先发生不可逆的结合,阻止乙烯和其受体的结合,从而导致乙烯信号转导受阻^[5]。研究表明,1-MCP 能够有效地延缓多种果实的成熟和衰老,特别对于呼吸跃变型果实其

收稿日期:2018-01-31

作者简介:韩帅(1993-),男,硕士,研究方向:采后生物学,E-mail:hanshuai93@sina.com。

*通讯作者:郁志芳(1960-),男,博士,教授,研究方向:采后生物学,E-mail:yuzhifang@njau.edu.cn。

基金项目:江苏省农业科技自主创新资金项目(CX(15)1020)。

保鲜效果更显著^[6]。Shen 等^[7]研究表明,1-MCP 可以显著减缓木瓜的软化及颜色变化;Zhang 等^[8]研究发现,1-MCP 处理可以降低枣果实的呼吸速率和乙烯生成量,延缓枣果实硬度、总酸和可溶性固形物的下降,保持了更高的品质。也有研究表明,1-MCP 处理虽然可以推迟果实衰老,延长货架期,但会显著性地减少芳香物质的产量^[9]。金宏^[10]研究表明,1-MCP 虽然可以显著延缓和保持苹果果实的成熟衰老和保鲜期,但抑制了果实 AAT 的活性,显著降低了果实芳香酯香味物质的含量。

目前,研究者多侧重研究果实发育过程中糖代谢与糖组分的关系及采后处理对糖含量的影响,鲜有从分子水平上研究 1-MCP 处理对桃果实糖含量的调控机制。为进一步了解 1-MCP 对桃果实糖代谢的调控机制,本文借助 RNA-seq 和代谢物分析手段,从代谢与转录水平上探讨 1-MCP 对贮藏期间桃果实糖代谢的影响,以期为进一步研究糖代谢调控技术提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

“霞晖 6 号”桃果实 2017 年 7 月 9 号采摘于江苏省常州市水蜜桃科技示范园,采摘后立即运回实验室,20℃ 下充分散去田间热后,选择大小均一、无机械伤、无病虫害且成熟度一致的果实随机分成两组(每组 150 个果实)以待处理。

FHM-5 硬度计 Takemura Electric Works Ltd.; KQ-300DB 数控超声波清洗仪 昆山市超声仪器有限公司;HH-6 数显恒温水浴锅 常州国华电器有限公司;恒温磁力搅拌器 常州国华电器有限公司;TGL16M 高速冷冻离心机 长沙维尔康湘鹰离心机械有限公司;微型涡旋混合仪 上海沪西分析仪器有限公司;超低温冰箱 中科美菱有限公司;CO₂ 分析仪 PBI Dansensor Ltd.;Bruker 气质联用仪 美国布鲁克公司;植物提取试剂盒 宝日医生物技术有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 样品处理 根据先前本实验室的研究结果^[11],一组桃果实置于密闭的泡沫箱,用 10 μL·L⁻¹ 的 1-MCP 在 (20 ± 0.5)℃、相对湿度 85%~90% 条件下处理 12 h(1-MCP),为了避免 CO₂ 的积累,处理的同时,在泡沫箱里放入 1% 的 KOH 溶液,吸收多余的 CO₂,以放置密闭泡沫箱无任何处理的另一组为对照组(CK)。每个处理有 50 个果实,并重复 3 次。处理完成后将果实放置在 (20 ± 0.5)℃ 条件下贮藏 7 d,分别在第 0、1、3、5、7 d 测量果实的生理指标,并分别从每个取样时间点的 30 个果实均匀取中果皮果肉,混合均匀,用液氮冷冻后置于 -80℃ 下保存以待后续分析。

1.2.2 测定方法

1.2.2.1 硬度的测定 采用硬度计进行测定,采用直径为 8 mm 的探头,以 1 mm·s⁻¹ 的速度测量去皮后的桃果实硬度,每个果实测量赤道对立面 2 次,重复取果 10 个,取平均值。

1.2.2.2 呼吸强度的测定 采用 CO₂ 分析仪测定。将 3~4 个已称重的果实放入一个密闭容器内,在室温条件下放置 1 h 后连接仪器进行测量并记录 CO₂ 的读数 A,每组重复 3 次。计算公式为 CO₂ (mg·h⁻¹·kg⁻¹ FW) = A × 10⁴ × 1.96 × L × 10⁻³ × T⁻¹ × FW⁻¹。

A: 仪器读取的数值,百分含量%; L: 密闭容器的体积,单位为 L; T: 放置的时间,单位为 h; FW: 桃果实的重量,单位为 kg。

1.2.2.3 糖含量的测定 样品的提取和衍生化参照 Zhang^[12] 的方法并稍作修改。随机称取桃组织 300 mg 放于研钵中,加入液氮充分研磨后,转移至离心管中,并加入 2.7 mL 甲醇和 0.3 mL 的内标核糖醇 (0.2 mg·mL⁻¹),涡旋振荡 2 min 后,置于 4℃ 的超声清洗仪中超声提取 15 min,然后 70℃ 水浴中提取 15 min,4℃,8000 r/min 离心 10 min,上清液过 0.45 μm 膜后,吸取 100 mL 于氮吹仪上吹干。吹干后的样品加入 80 μL 15 mg·mL⁻¹ 的甲氧胺盐酸盐吡啶溶液,37℃ 的振荡培养箱中肟化反应 90 min,之后加入 80 μL BSTFA + 1% TMCS 于 70℃ 水浴反应 60 min,室温静置以待上样。

气相质谱联用仪的参数如下^[12]: 采用 HP-5M 毛细管柱,高纯氦气作为载气,流速为 1 mL·min⁻¹,进样口温度为 250℃,分流比 10:1; 柱温箱升温程序为: 90℃,保持 0.2 min,以 10℃ min⁻¹ 升至 160℃,以 5℃ min⁻¹ 升至 220℃,20℃ min⁻¹ 升至 280℃ 保持 16 min; 检测器离子源温度 220℃,电子能量 70 eV,质量扫描范围为 45~600 m/z。

1.2.2.4 果实总 RNA 的提取及 RNA-seq 果实总 RNA 的提取参照植物总 RNA 提取试剂盒说明书进行,并用微量紫外分光光度计及琼脂糖凝胶电泳检测 RNA 的质量及完整性。RNA 检测合格后送至华大基因科技有限公司,使用 Illumina HiSeq 平台测序,使用 Bowtie2^[13] 将 clean reads 比对到参考序列已统计基因比对率,之后再使用 RSEM^[14] 计算基因的表达水平。

1.3 数据分析

每个实验组重复三次,结果以平均值 ± 标准差表示。采用 SPSS 18.0 软件,以邓肯氏多重比较的方法,对组间数据进行显著性分析 (p < 0.05),采用 Microsoft excel 绘制图表。

2 结果与分析

2.1 硬度的变化

硬度是衡量果实成熟度及品质的重要指标。图 1 显示了 1-MCP 处理对贮藏期间桃果实硬度的影响。随贮藏时间延长,果实硬度也逐渐下降。对照组硬度从最初的 15.3 N 降到 3.5 N,下降了 77.1%; 1-MCP 处理组只下降了 72.5%; 整个贮藏期间,1-MCP 处理都显著地延缓了桃果实硬度的下降 (p < 0.05)。结果表明,1-MCP 能够有效地维持桃果实的硬度。

2.2 呼吸速率的变化

呼吸作用是采后果实重要的生理活动,其速率的测量可以反应桃果实的生理状态和贮藏效果^[15]。图 2 的 1-MCP 对贮藏期间桃果实呼吸速率的影响

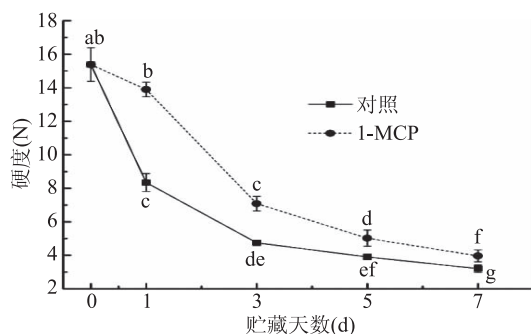


图1 1-MCP对贮藏期间桃果实硬度的影响

Fig.1 Effect of 1-MCP on firmness of peach fruit during storage

显示,对照组果实呼吸速率前5 d 直线上升,第5 d 达到最大值后下降;处理组果实呼吸速率呈现了先下降后上升的变化趋势,1-MCP 处理不仅显著降低了贮藏期间桃果实的呼吸速率($p < 0.05$),而且还推迟了呼吸高峰的时间。以上结果表明,1-MCP 可延缓桃果实成熟衰老进程,延长桃果实的保鲜期。

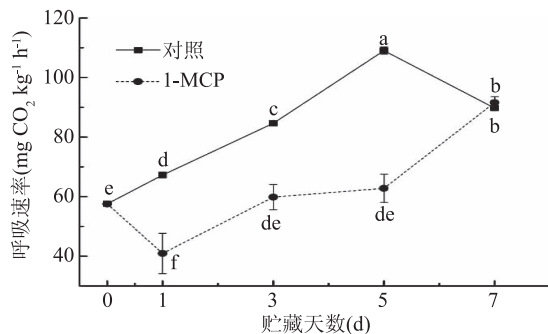


图2 1-MCP对贮藏期间桃果实呼吸速率的影响

Fig.2 Effect of 1-MCP on respiration rate of peach fruit during storage

2.3 糖含量的变化

研究认为,桃果实中可溶性糖主要有葡萄糖、果糖和蔗糖^[16-17]。图3显示,桃果实中的主要可溶性糖为蔗糖,这于 Yu^[18] 和黄丽萍^[19] 的研究结果一致,但与甜瓜^[20]、柿子^[21] 和苹果^[22] 等果实情况不同。由图3A、B 可看出,两处理桃果实的葡萄糖和果糖在整个贮藏期间,呈现持续稳定的递增趋势,且在贮藏的中期(第5 d),1-MCP 处理的果实葡萄糖和果糖均显著低于对照($p < 0.05$);由图3C 可知,蔗糖含量变化趋势与两种己糖含量变化趋势相反,贮藏前中期(第1和5 d),1-MCP 处理组的蔗糖含量显著高于对照果实($p < 0.05$),即使在第7 d 1-MCP 处理果实的蔗糖含量还是高于对照。以上结果,提示1-MCP 可降低蔗糖分解的速度,从而减慢了果糖和葡萄糖的增加。Singh 等^[23] 研究表明,NO 处理能够保持梨果实更高的蔗糖含量,延缓果实的衰老。由此得出,1-MCP 处理可以延缓贮藏期桃果实蔗糖含量的降解,保持更高的蔗糖含量,为桃果实延长贮藏期奠定物质基础。

2.4 糖代谢酶相关基因表达

为在转录水平上研究1-MCP对桃果实糖代谢的调控机制,通过蔷薇科基因组数据库

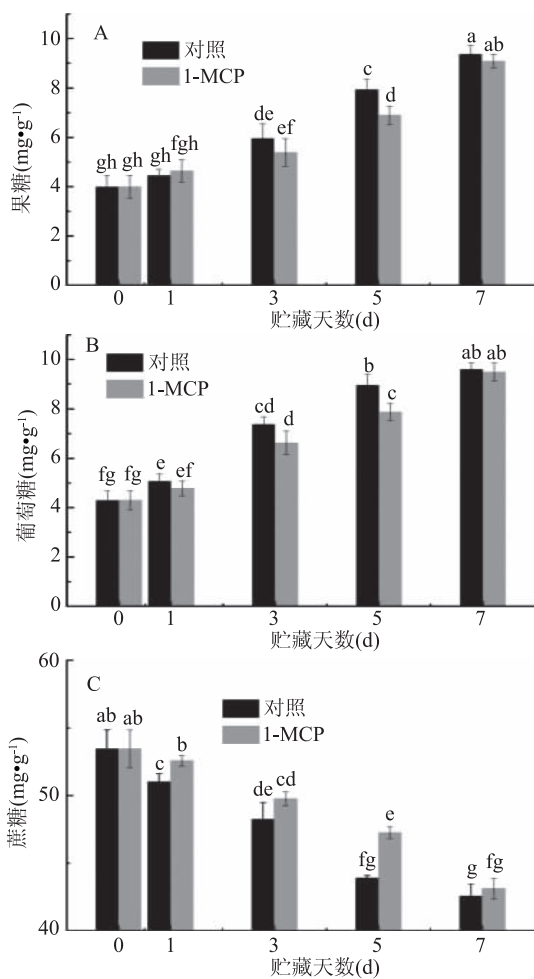


图3 1-MCP对贮藏期间桃果实可溶性糖的影响

Fig.3 Effect of 1-MCP on soluble sugars of peach during storage

(www.rosaceae.org, GDR) 搜索相关酶基因,并在转录组数据中筛选,共得到表1中14个基因成员,其中有4个SPS基因、3个SS基因、6个NI基因和1个AI基因。

表1 蔗糖代谢相关酶基因的注释

Table 1 Annotation of sugar metabolism related genes

基因名称	编号	GDR 登录号
蔗糖磷酸合成酶	PpSPS1	Prupe.7G249900
	PpSPS2	Prupe.1G483200
	PpSPS3	Prupe.1G159700
	PpSPS4	Prupe.8G003700
蔗糖合成酶	PpSS1	Prupe.7G192300
	PpSS2	Prupe.8G264300
	PpSS3	Prupe.3G014100
中性转化酶	PpNI1	Prupe.2G083900
	PpNI2	Prupe.6G309800
	PpNI3	Prupe.1G556900
	PpNI4	Prupe.1G111800
	PpNI5	Prupe.2G075000
	PpNI6	Prupe.6G122600
酸性转化酶	PpAI1	Prupe.5G075600

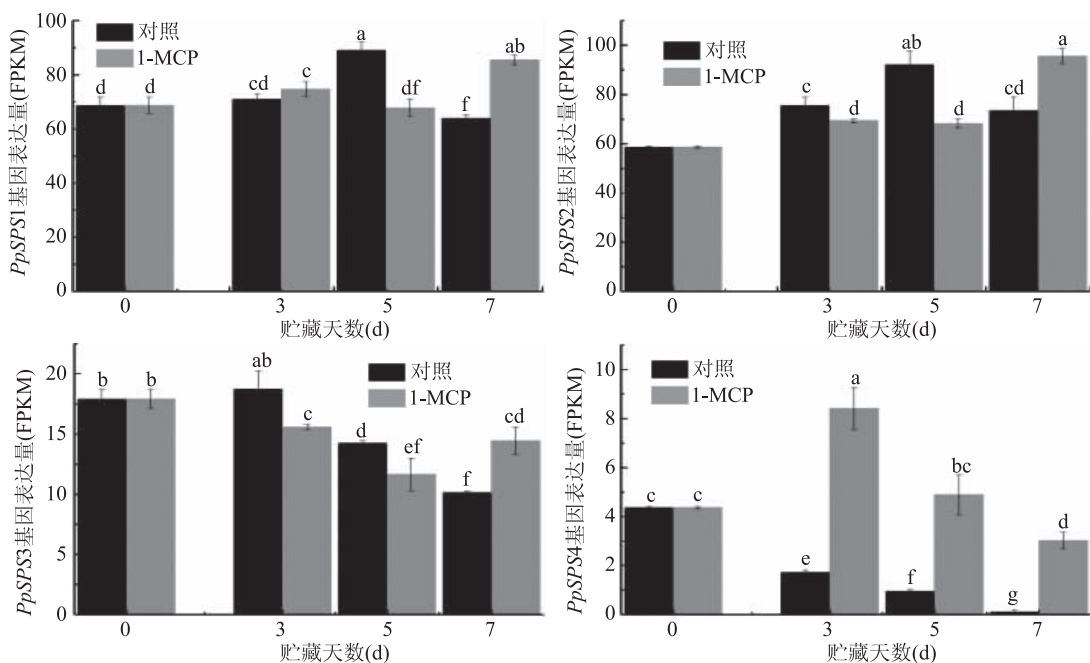


图4 1-MCP对贮藏期间桃果实SPS基因表达的影响

Fig.4 Effect of 1-MCP on SPS genes expression of peach

注:FPKM:Fragment per kilobase permillion mapped fragments,每百万个 fragments 中比对上某一转录本每千碱基长度的 fragments 数目。图5~图7同。

2.4.1 PpSPS 基因的变化 贮藏前5 d,1-MCP 处理下调了相同时间点桃果实中 PpSPS2、PpSPS3 表达量,同时下调了第5 d PpSPS1 的转录水平,显著上调了 PpSPS1、PpSPS2 和 PpSPS3 第7 d 基因表达量 ($p < 0.05$);不同于 PpSPS1、PpSPS2、PpSPS3,整个贮藏期间 1-MCP 显著上调了 PpSPS4 表达量 ($p < 0.05$) (图4)。PpSPS1、PpSPS2 的变化趋势与果实呼吸速率保持一致,表明 PpSPS1、PpSPS2 的表达可能与果实的呼吸代谢有关。相较于对照组,1-MCP 处理组 PpSPS4 整个贮藏期间都保持了较高的转录水平,联想到1-MCP主要阻断乙烯的合成并影响其相关转录因子,推测 PpSPS4 可能受到某一转录因子的调控,这还需进一步的验证。以上结果表明,1-MCP 可以上调 PpSPS 表达,为保持更高的蔗糖含量奠定了基础。

2.4.2 PpSS 基因的变化 图5显示,贮藏期间桃果实主要表达了 PpSS1、PpSS2 和 PpSS3。其中 PpSS1 的表达水平最高,PpSS3 表达量最少。1-MCP 处理下调了贮藏期间 PpSS1 的表达水平;上调了贮藏末期 PpSS2 的表达水平;对照组 PpSS3 表达量第5 d 迅速增高,随后迅速下降,而 1-MCP 处理组呈现了逐渐下降的趋势,并在第5、7 d 分别显著低于和高于对照组的表达量 ($p < 0.05$)。

已有研究表明^[24],SS 主要参与蔗糖的水解方向,进而推测 1-MCP 可以通过下调 PpSS1 的表达水平减缓蔗糖的水解,保持更高的蔗糖含量。

2.4.3 PpNI 和 PpAI 基因的变化 图6~图7显示,在7个水解酶基因中,NI 基因的表达量显著高于 AI 的表达量。从图6中可得,PpNI1 的表达量相对稳定,且在两组之间无显著差异 ($p > 0.05$),PpNI2 的表达

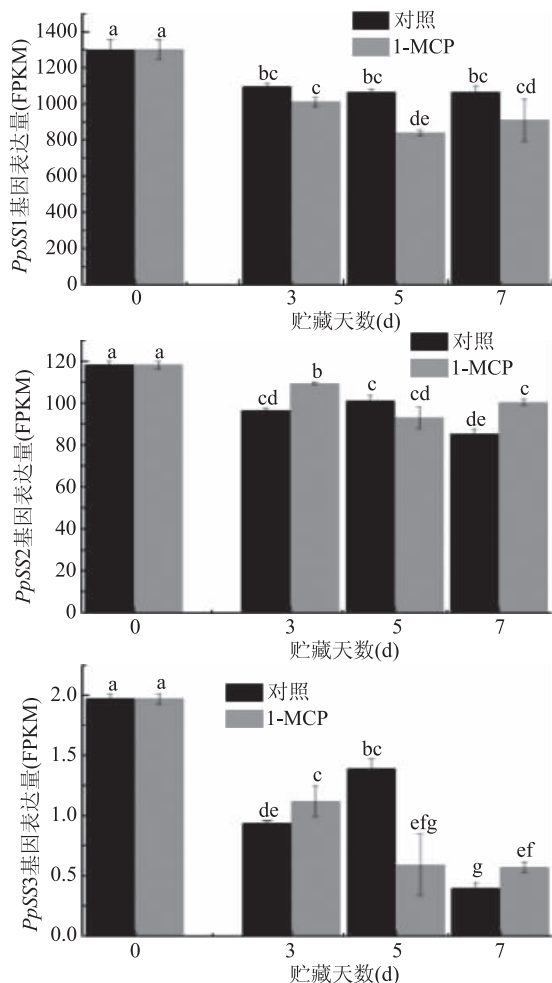


图5 1-MCP对贮藏期间桃果实SS基因表达的影响

Fig.5 Effect of 1-MCP on SS genes expression of peach

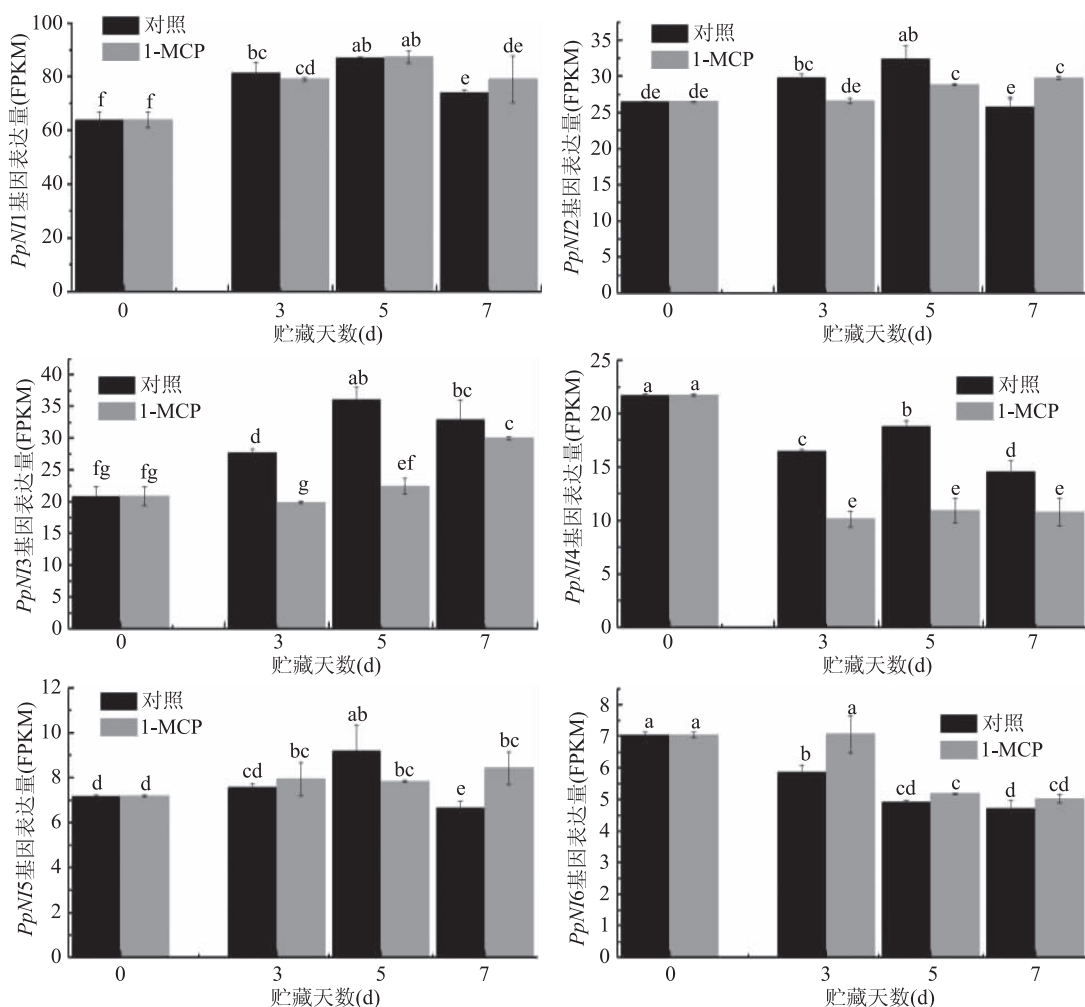


图6 1-MCP对贮藏期间桃果实NI基因表达的影响

Fig.6 Effect of 1-MCP on NI genes expression of peach

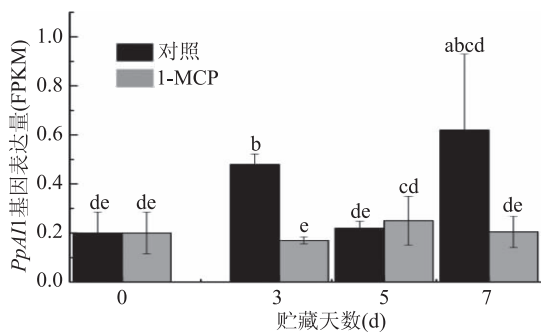


图7 1-MCP对贮藏期间桃果实AI基因表达的影响

Fig.7 Effect of 1-MCP on AI genes expression of peach

量整体变化不大。1-MCP处理可以显著增强 *PpNI6* 第3 d和 *PpNI5* 第7 d的表达量($p < 0.05$)。在整个贮藏中期(第3、5 d),1-MCP显著地下调了 *PpNI3*、*PpNI4* 的表达量($p < 0.05$)。由图7可知,1-MCP能够下调 *PpAI1* 在第3、7 d的表达量,但是在整个贮藏期间,*PpAI* 的转录水平都偏低。以上结果说明,1-MCP主要通过抑制NI的转录水平来调控桃果实的糖代谢。

3 讨论

1-MCP作为一种新型乙烯受体抑制剂,可阻断

乙烯所诱导的信号转导,延缓乙烯的生理反应^[25]。果实的糖代谢与积累不仅决定了果实的风味和品质,而且糖作为信号分子可参与信号转导调节植物的生长发育及基因表达^[26-27]。已有研究表明,采后处理能够影响果实的糖代谢。Sun^[28]等研究表明,采后一氧化氮处理能够保持桃果实的蔗糖含量,延缓桃果实的成熟衰老。本实验中,1-MCP处理能够推迟并降低果实的呼吸高峰,维持更高的硬度和蔗糖水平,表明桃果实的生理状态与果实品质具有一定的相关性。

随着桃基因组的测序完成,越来越多的研究者开始从转录水平上探讨采后处理的调控机理。Yu^[18]等研究显示,HA和MeJA处理可以通过上调蔗糖磷酸合成酶的基因表达和降低酸性转化酶的活性,来保持低温贮藏期间桃果实的蔗糖含量。在本实验中,1-MCP处理显著提高了贮藏末期(第7 d) *PpSPS1*、*PpSPS2*、*PpSPS3* 的转录水平和贮藏期 *PpSPS4* 的转录水平($p < 0.05$);显著抑制了第5 d的 *PpSS1*、*PpSS3* 和贮藏中期(3、5 d) *PpNI3*、*PpNI4* 的表达量($p < 0.05$)。虽然两组间 *PpAI* 有显著性差异,但其表达量过低。

4 结论

1-MCP处理保持了桃果实更高的硬度,降低了

桃果实的呼吸速率,并推迟了呼吸高峰的到来;1-MCP处理使桃果实维持了更高的蔗糖含量和较低的已糖含量,减缓了蔗糖的降解;1-MCP上调了桃贮藏期间 *PpSPS4* 和贮藏末期 *PpSPS1*、*PpSPS2*、*PpSPS3* 的基因表达和下调中性转化酶 *PpNI3*、*PpNI4* 和蔗糖合成酶 *PpSS1* 的基因表达,进而保持了贮藏期高的蔗糖含量和低的葡萄糖和果糖含量。

参考文献

- [1] 俞明亮,马瑞娟,沈志军,等.中国桃种质资源研究进展[J].江苏农业学报,2010,26(6):1418-1423.
- [2] Rolland F, Baenagonzalez E, Sheen J. Sugar sensing and signaling in plants: conserved and novel mechanisms[J]. Annual Review of Plant Biology, 2006, 57(1): 675-709.
- [3] 沈志军,马瑞娟,俞明亮,等.桃果实发育过程中主要糖及有机酸含量的变化分析[J].华北农学报,2007,22(6):130-134.
- [4] 陈克明,陈伟,杨震峰.桃果实采后可溶性糖和果胶类物质的变化与低温冷害的关系[J].核农学报,2013,27(5):647-652.
- [5] 关夏玉,陈清西.1-MCP采后处理在果实贮藏保鲜上应用的研究进展[J].中国农业科技导报,2006,8(4):46-49.
- [6] Bulens I, Poel B V D, Hertoga M L A T M, et al. Influence of harvest time and 1-MCP application on postharvest ripening and ethylene biosynthesis of 'Jonagold' apple[J]. Postharvest Biology & Technology, 2012, 72: 11-19.
- [7] Shen Y H, Lu B G, Feng L, et al. Isolation of ripening-related genes from ethylene/1-MCP treated papaya through RNA-seq[J]. BMC Genomics, 2017, 18(1): 671.
- [8] Zhang Z Q, Tian S P, Zhu Z, et al. Effects of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on ripening and resistance of jujube (*Zizyphus jujuba* cv. Huping) fruit against postharvest disease[J]. LWT-Food Science and Technology, 2012, 45(1): 13-19.
- [9] Serek M, Tamari G, Sisler E C, et al. Inhibition of ethylene-induced cellular senescence symptoms by 1-methylcyclopropene, a new inhibitor of ethylene action[J]. Physiologia Plantarum, 1995, 94(2): 229-232.
- [10] 金宏.CA、1-MCP对粉红女士苹果贮藏期间香气及其相关酶活性影响的研究[D].西安:陕西师范大学,2009.
- [11] Zhang L, Jiang L, Shi Y, et al. Post-harvest 1-methylcyclopropene and ethephon treatments differently modify protein profiles of peach fruit during ripening[J]. Food Research International, 2012, 48(2): 609-619.
- [12] Zhang J J, Wang X, Yu O, et al. Metabolic profiling of strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) during fruit development and maturation[J]. Journal of Experimental Botany, 2011, 62(3): 1103.
- [13] Langmead B, Salzberg S L. Fast gapped-read alignment with Bowtie 2[J]. Nature Methods, 2012, 9(4): 357-359.
- [14] Li B, Dewey C N. RSEM: accurate transcript quantification from RNA-Seq data with or without a reference genome[J]. BMC

Bioinformatics, 2011, 12(1): 323.

- [15] Hunsik C, Kwangdeog M. Browning characteristics of fresh-cut 'Tsugaru' apples as affected by pre-slicing storage atmospheres[J]. Food Chemistry, 2009, 114(4): 1433-1437.
- [16] Borsani J, Budde C O, Porrini L, et al. Carbon metabolism of peach fruit after harvest: changes in enzymes involved in organic acid and sugar level modifications[J]. Journal of Experimental Botany, 2009, 60(6): 1823.
- [17] Brooks S J, Moore J N, Murphy J B. Quantitative and aualitative changes in sugar content of peach genotypes [*Prunus persica* (L.) Batsch.] [J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 1993, 118(1): 97-100.
- [18] Yu L, Liu H X, Shao X F, et al. Effects of hot air and methyl jasmonate treatment on the metabolism of soluble sugars in peach fruit during cold storage[J]. Postharvest Biology & Technology, 2016, 113: 8-16.
- [19] 黄丽萍,张倩茹,尹蓉,等.不同品种桃果实糖、酸、V_C含量分析[J].农学学报,2017,(10):51-55.
- [20] Lester G E. Antioxidant, sugar, mineral, and phytonutrient concentrations across edible fruit tissues of orange-fleshed honeydew melon (*Cucumis melo* L.) [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2008, 56(10): 3694-3698.
- [21] Bubba M D, Giordani E, Pippucci L, et al. Changes in tannins, ascorbic acid and sugar content in astringent persimmons during on-tree growth and ripening and in response to different postharvest treatments [J]. Journal of Food Composition & Analysis, 2009, 22(7): 668-677.
- [22] Duque P, Barreiro M G, Arrabaça J D. Respiratory metabolism during cold storage of apple fruit. I. Sucrose metabolism and glycolysis[J]. Physiologia Plantarum, 1999, 107(1): 14-23.
- [23] Singh S P, Singh Z, Swinny E E. Postharvest nitric oxide fumigation delays fruit ripening and alleviates chilling injury during cold storage of Japanese plums (*Prunus salicina* Lindell) [J]. Postharvest Biology & Technology, 2009, 53(3): 101-108.
- [24] Kumutha D, Sairam R K, Ezhilmathi K, et al. Effect of waterlogging on carbohydrate metabolism in pigeon pea (*Cajanus cajan* L.): Upregulation of sucrose synthase and alcohol dehydrogenase[J]. Plant Science, 2008, 175(5): 706-716.
- [25] 赵金星,王熙霖,邱胤晖,等.1-MCP处理对'白凤'水蜜桃采后贮藏品质的影响[J].亚热带农业研究,2015,11(4):241-245.
- [26] León P, Sheen J. Sugar and hormone connections[J]. Trends in Plant Science, 2003, 8(3): 110-116.
- [27] Rolland F, Sheen J. Sugar sensing and signaling in plants [J]. Plant Cell, 2002, 14(Suppl): s185.
- [28] Sun Z, Li Y, Zhou J, et al. Effects of exogenous nitric oxide on contents of soluble sugars and related enzyme activities in 'Feicheng' peach fruit [J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 2011, 91(10): 1795-1800.