

乙酰水杨酸在番茄果实发育期间对蔗糖代谢相关酶活性的影响

姜晶*, 李天来, 鲁少尉, 郭金妹

沈阳农业大学园艺学院, 辽宁省设施园艺重点实验室, 沈阳 110161

摘要: 研究不同浓度乙酰水杨酸(ASA)对番茄品种‘辽园多丽’果实发育期间蔗糖代谢相关酶影响的结果表明: ASA可抑制果实的维管束和胶质胎座中酸性转化酶(AI)和中性转化酶(NI)活性, 而提高蔗糖合成酶(SS)与蔗糖磷酸合成酶(SPS)活性; 心室隔壁和中果肉中ASA的作用与此相反。ASA促进果实维管束中可溶性糖积累主要通过调控AI和NI活性实现, 而在胶质胎座中主要通过调控SS活性实现; 在中果肉和心室隔壁中主要通过调控SS和AI活性实现。

关键词: 乙酰水杨酸; 番茄; 糖; 蔗糖代谢相关酶

Effects of Acetylic Salicylic Acid on the Activities of Sucrose Metabolism Related Enzymes during Fruit Development of Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.)

JIANG Jing*, LI Tian-Lai, LU Shao-Wei, GUO Jin-Mei

Key Laboratory of Protected Horticulture of Liaoning Province, College of Horticulture, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China

Abstract: The related enzyme activities of sucrose metabolism during fruit development of *Lycopersicon esculentum* cv. ‘Liaoyuanduoli’ was studied by different concentrations of acetylic salicylic acid (ASA) treatment. The results showed that ASA inhibited the activities of acid invertase (AI) and neutral invertase (NI), increased the activities of sucrose synthase (SS) and sucrose phosphate synthase (SPS) in the fruit vascular bundle and pectinic placenta; but these were contrary in dissepiment and pericarp. The effect of ASA on the accumulation of soluble sugars in vascular was mainly controlled the activities of AI and NI and controlled the SS activity in pectinic placenta, while it was controlled the activities of SS and AI in dissepiment and pericarp.

Key words: ASA; tomato (*Lycopersicon esculentum*); carbohydrate; sucrose-metabolism related enzymes

提高番茄果实甜度是改善番茄品质的重要环节, 番茄果实甜度取决于糖分积累处的还原糖含量。多数番茄品种果实中的糖主要是葡萄糖和果糖。果实获取同化物的能力在很大程度上取决于其库强, 而库强大小常决定于与糖代谢相关的酶活性。与蔗糖代谢相关的酶有酸性转化酶(acid invertase, AI)、中性转化酶(neutral invertase, NI)、蔗糖合成酶(sucrose synthase, SS)和蔗糖磷酸合成酶(sucrose phosphate synthase, SPS)。在高等植物中, AI和NI催化蔗糖分解为单糖, SS既能催化蔗糖合成又能催化其分解, SPS被认为是催化蔗糖合成的主要酶, 已有的研究多从与蔗糖代谢相关的酶活性变化来探讨果实中糖积累的机制(Walker和Ho 1977; Sturm和Tang 1999; 张明方和李志凌 2002; Salerno和Curatti 2003)。

乙酰水杨酸(acetylic salicylic acid, ASA)是水杨酸衍生物, 其在植物体内可调节多种生理过程。王秀芹等(2004)的研究表明, 水杨酸可促进弱光环境下生长的桃幼果期和成熟期的蔗糖积累, 成熟期喷施水杨酸后葡萄糖和果糖的含量显著提

高。姜晶等(2006a, b)的试验表明, ASA可提高番茄果实含糖量和糖酸比, 改善番茄果实的风味品质, 提高番茄单果重和单株产量, 从而表明ASA在体内可以促进蔗糖和其他同化物输入果实细胞。但ASA是如何影响植物蔗糖代谢的, 还未见报道。本文在以往研究工作的基础上, 以栽培番茄果实为试材研究ASA对番茄果实发育期间不同部位蔗糖代谢相关酶活性的影响, 进而探讨水杨酸调控果实品质的机制, 为设施园艺作物优质高产栽培提供参考。

材料与方法

试验于2006年1~8月在沈阳农业大学园艺科研基地日光温室内进行。以番茄(*Lycopersicon esculentum* Mill.)品种‘辽园多丽’为试材, 1月19日穴盘播种, 3月4日定植, 行距50 cm, 株

收稿 2007-03-01 修定 2007-06-19

资助 辽宁省教育厅科学研究技术计划(05L412)。

* E-mail: jiangjingcau@163.com; Tel: 024-88487143

距 35 cm。单干整枝,留 2 穗果。其他栽培管理与一般生产相同。在番茄第 1 花序第 1 花开花 30 d 时分别用 0.05% ASA 和 0.1% ASA 全株喷施,以喷水为对照,处理之间设两垄保护行。于开花后 30、40、50 及 60 d 分别取第 1 花序第 1 果的果实维管束、中果肉、心室隔壁组织和胶质胎座等部位,称重后,用于糖和与糖代谢相关的酶活性测定。每处理每次重复取样 3 次。

蔗糖代谢相关酶——蔗糖合成酶(SS)、蔗糖磷酸合成酶(SPS)、酸性转化酶(AI)、中性转化酶(NI)的测定方法采用王永章和张大鹏(2001)文中的方法。转化酶活性测定采用 0.8 mL 反应液(pH 4.8 或 pH 7.2 的 $0.1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1} \text{ Na}_2\text{HPO}_4$ - $0.1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 柠檬酸钠, $0.1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的蔗糖)中加入 0.2 mL 酶液,37 °C 条件下反应 30 min 后,用 3,5-二硝基水杨酸法测定生成的还原糖含量。蔗糖合成酶(SS)和蔗糖磷酸合成酶(SPS)活性测定参照於新建(1985)介绍的方法。UDPG 和 6-磷酸果糖等生化试剂均购自美国 Sigma 公司。

葡萄糖、果糖和蔗糖含量用 Waters 600E 高效液相色谱仪测定,以 Dikma 公司的碳水化合物柱,柱温 40 °C,2410 示差检测器,流动相按体积比为 75% 乙腈:25% 超纯水,流速为 $1.0 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$,用 Waters Millennium 软件控制及数据处理。

结果与讨论

1 ASA 在番茄果实发育期间果实不同部位中与蔗糖代谢相关酶活性的影响

(1) 随着果实的发育进程,未喷 ASA 的 AI 在

果实维管束中活性变化不大,经 ASA 处理的 AI 活性明显下降,ASA 浓度越高,对酶的抑制作用越大。未喷 ASA 的 NI 活性在果实维管束中呈下降趋势,经 ASA 处理的 NI 活性下降更明显。未喷 ASA 的 SS 与 SPS 活性呈下降趋势,成熟期的果实维管束中 SS 和 SPS 活性最低;不同浓度的 ASA 均可提高 SS 和 SPS 活性,浓度越高,活性增强越明显(图 1)。说明在果实维管束发育期间,ASA 可抑制 AI 和 NI 活性而提高 SS 和 SPS 活性。

(2) 胶质胎座中未喷 ASA 的 AI 活性在花后 30~60 d 先降低,后升高,而 NI 活性一直呈增加趋势,只是 AI 活性稍高于 NI。2 种转化酶活性均随着果实的成熟而增强,果实成熟时最高;喷 ASA 的在花后 40~60 d 中 2 种酶活性均比未喷 ASA 的酶活性低。胶质胎座中 SS 的活性随着果实的发育呈逐渐下降趋势,即幼果期 SS 活性最高,果实成熟时降至最低。喷施 ASA 条件下,各时期胶质胎座中 SS 酶活性均高于未喷 ASA 的。未喷 ASA 的 SPS 活性呈逐渐下降趋势,果实成熟时酶活性又升高;ASA 可提高胶质胎座中 SPS 活性,ASA 浓度越高,SPS 活性较未喷 ASA 的越高(图 2)。

(3) 番茄果肉中无论喷施 ASA 处理与否,在开花 40 d 前 AI 活性都先下降,随后又缓慢增加,ASA 处理的 AI 活性始终高于未喷 ASA 的。而 NI 活性一直呈增加趋势,喷 ASA 的在花后 30~60 d 中 NI 活性高于未喷 ASA 的。不同浓度 ASA 对 2 种转化酶活性的促进程度不同,2 种转化酶活性均随着 ASA 浓度的提高而增强。随着果实的发育,经和未经 ASA 处理的中果肉中 SS 活性一直

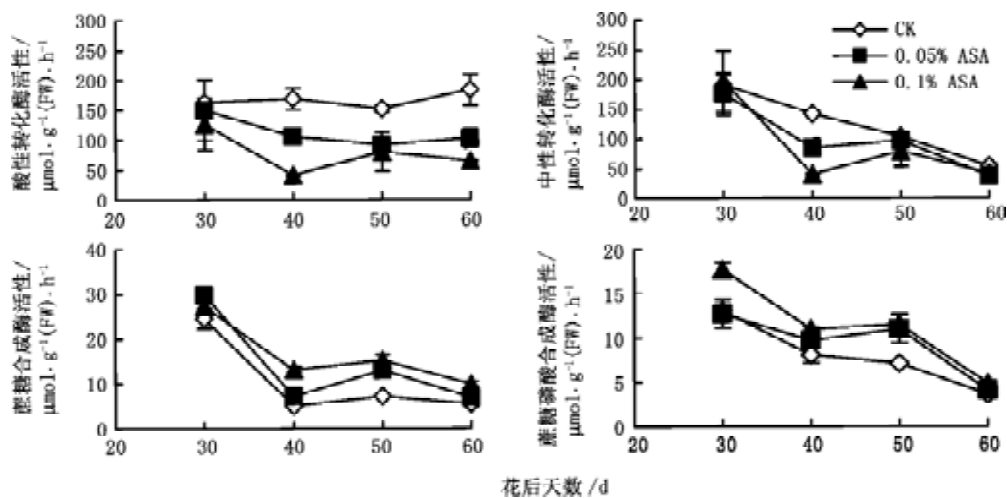


图 1 ASA 对不同发育阶段番茄果实维管束中蔗糖代谢相关酶的影响

Fig.1 Effects of ASA on the activities of sucrose metabolism related enzymes in the fruits vascular bundles during fruit development

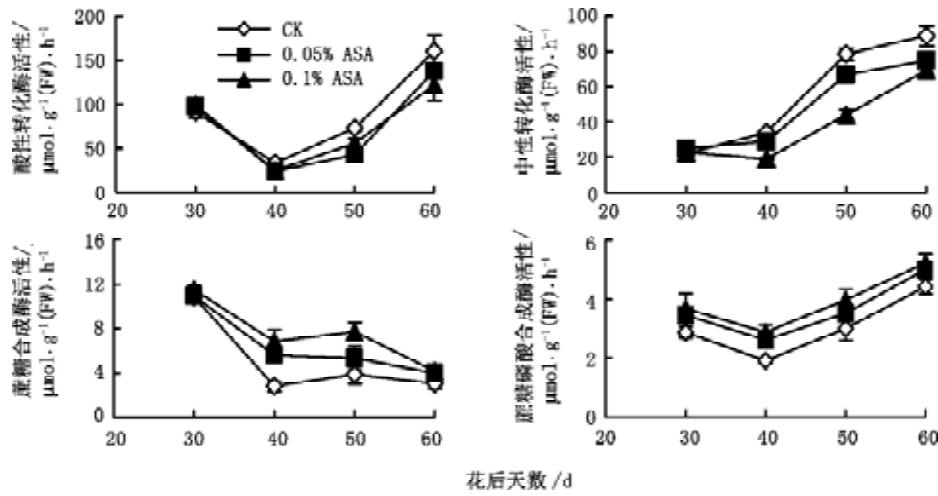


图2 ASA对不同发育阶段番茄胶质胎座中蔗糖代谢相关酶的影响

Fig.2 Effects of ASA on the activities of sucrose metabolism related enzymes in pectinic placenta during fruit development

下降,花后40 d 降到最低,以后一直维持在低水平上。在番茄果实整个发育期SPS 活性都较低;ASA 处理的SPS 活性比未喷ASA 的略有下降,至果实成熟时,仍低于未喷ASA 的(图3)。

(4)番茄果实心室隔壁中,未喷ASA 的与喷ASA 的AI 活性先下降,随后一直呈递增状态,并且ASA 处理的AI 活性始终高于未喷ASA 的,但差异不显著。喷ASA 的NI 活性高于未喷ASA 的。不同浓度的ASA 对2种转化酶活性的促进程度不明显。随着果实的发育,无论喷施ASA 与否SS 活性在花后40 d 均下降,而后又逐渐增加,至成熟时又降低;喷施ASA 在花后40 d 对SS 活性抑

制作用明显。在番茄果实整个发育期心室隔壁中SPS 活性都较低,但活性一直在缓慢增加;喷ASA 的SPS 活性均比未喷ASA 的略有下降,至果实成熟时,喷ASA 的仍是低于未喷ASA 的(图4)。

2 ASA对番茄成熟果实各部位组织中糖含量的影响

番茄果实成熟时,果实内果糖和葡萄糖含量较高,蔗糖含量却很低。从不同部位组织中糖分含量看,喷施ASA 可提高果实维管束、胶质胎座、中果肉和心室隔壁中蔗糖的含量;除经ASA 处理的中果肉中果糖和葡萄糖含量有明显的提高外,果实其他部位包括果实维管束和胶质胎座中果糖和葡萄糖含量都下降。ASA 处理对心室隔壁

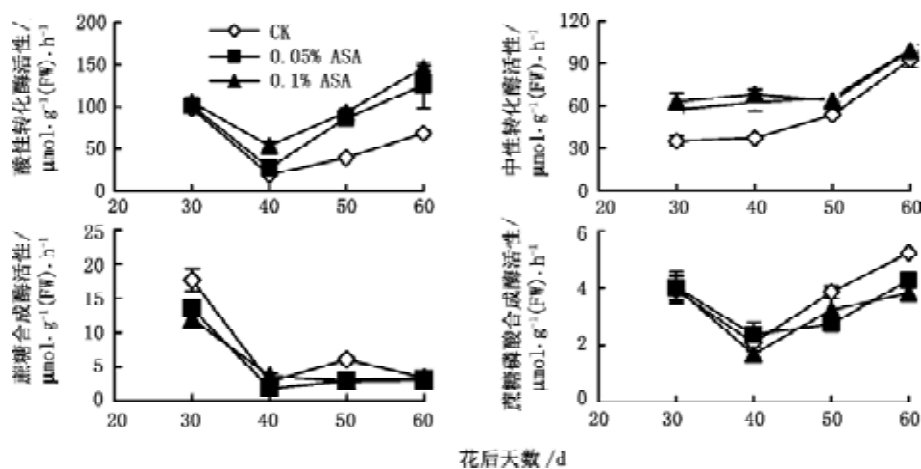


图3 ASA对不同发育阶段番茄果肉中蔗糖代谢相关酶的影响

Fig.3 Effects of ASA on the activities of sucrose metabolism related enzymes in pericarp during fruit development

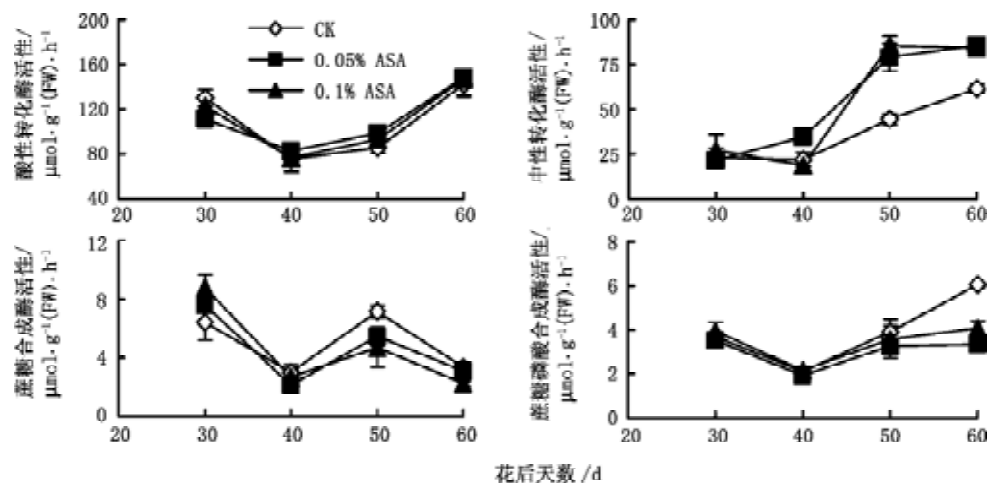


图4 ASA对不同发育阶段番茄心室隔壁中蔗糖代谢相关酶的影响

Fig.4 Effects of ASA on the activities of sucrose metabolism related enzymes in dissepiment during fruit development

表1 ASA对番茄成熟果实各部位组织中糖分组成和含量的影响

Table 1 Effects of ASA on carbohydrate contents of different parts of mature tomato

果实部位	CK			0.05% ASA			0.1% ASA		
	果糖/ $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}(\text{FW})$	葡萄糖/ $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}(\text{FW})$	蔗糖/ $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}(\text{FW})$	果糖/ $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}(\text{FW})$	葡萄糖/ $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}(\text{FW})$	蔗糖/ $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}(\text{FW})$	果糖/ $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}(\text{FW})$	葡萄糖/ $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}(\text{FW})$	蔗糖/ $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}(\text{FW})$
果实维管束	31.7±0.26	21.4±0.18	0.5±0.04	22.4±0.32	18.7±0.18	1.2±0.02	17.6±0.21	11.7±0.23	1.4±0.11
胶质胎座	14.4±0.13	12.1±0.11	0.9±0.05	12.9±0.14	10.2±0.21	1.4±0.12	11.1±0.09	8.6±0.18	2.1±0.21
中果肉	9.1±0.14	7.8±0.22	0.7±0.05	14.5±0.16	11.9±0.28	0.5±0.09	14.9±0.30	11.7±0.19	0.8±0.08
心室隔壁	16.6±0.21	3.1±0.11	0.6±0.08	16.3±0.32	3.9±0.08	0.7±0.02	17.2±0.21	3.4±0.09	1.1±0.08

中果糖和葡萄糖含量的影响不大。王秀芹等(2004)的研究也曾指出, SA可促进弱光环境下桃幼果期和成熟期的蔗糖积累, 成熟期喷施SA可显著提高葡萄糖和果糖的含量。姜晶等(2006a)的研究表明, ASA可明显提高番茄果实含糖量和糖酸比, 改善番茄果实的风味品质。

总之, 番茄果实内不同部位可溶性糖含量与蔗糖代谢相关酶的相关性不同, ASA对其影响也不同。果糖和葡萄糖含量与转化酶成正相关, 与SS成负相关; 而蔗糖的积累正好相反。ASA调控可溶性糖的积累在果实维管束部位主要通过AI与NI共同作用; 在胶质胎座部位主要通过SS作用; 在中果肉与心室隔壁部位主要通过SS与AI共同作用。ASA通过影响转化酶、SS以及SPS的活性从而影响番茄果实内不同部位糖分的代谢与积累。至于ASA在果实不同部位和对不同酶活性作用之所以不同, 还待深入研究。

参考文献

- 姜晶, 李天来, 李伟, 郭金妹(2006a). 乙酰水杨酸对番茄果实内各部位糖分含量的影响. 沈阳农业大学学报, 37 (3): 467~469
- 姜晶, 李天来, 李伟, 郭金妹(2006b). 乙酰水杨酸对番茄果实品质与产量的影响. 北方园艺, 4: 14~15
- 王秀芹, 黄卫东, 战吉成(2004). 水杨酸对弱光下“大久保”桃果实库强的影响. 中国农学通报, 20 (3): 169~172
- 王永章, 张大鹏(2001). ‘红富士’苹果果实蔗糖代谢与酸性转化酶和蔗糖合酶关系的研究. 园艺学报, 28 (3): 259~261
- 於新建(1985). 蔗糖合成酶与蔗糖磷酸合成酶活性的测定. 见: 上海市植物生理学会编. 植物生理学实验手册. 上海: 上海科学技术出版社, 148~149
- 张明方, 李志凌(2002). 高等植物中与蔗糖代谢相关的酶. 植物生理学通讯, 38 (3): 289~295
- Salerno GL, Curatti L (2003). Origin of sucrose metabolism in higher plants: when, how and why? Trends Plant Sci, 8 (2): 63~69
- Sturm A, Tang GQ (1999). The sucrose-cleaving enzymes of plants are crucial for development, growth and carbon partitioning. Trends Plant Sci, 4: 401~407
- Walker AJ, Ho LC (1977). Carbon translocation in the tomato: carbon import and fruit growth. Ann Bot, 43: 813~823