

蔗糖磷酸合成酶与香蕉果实成熟、衰老的关系

李 雯^{1,2} 邵远志² 庄军平¹ 陈维信^{1*}

(¹华南农业大学, 广东省果蔬保鲜重点实验室, 广东广州 510642; ²海南大学生命科学与农学院, 海南海口 570228)

摘 要: 研究了正常成熟、成熟抑制和促进成熟处理的香蕉果实蔗糖磷酸合成酶 (SPS) 与呼吸速率、硬度及蔗糖形成的关系。结果表明: (1) 使用乙烯吸收剂不仅极显著抑制了呼吸速率、果实软化和蔗糖的积累 ($P < 0.01$), 同时抑制了 SPS 的活性, 与正常成熟果实相比, 其 SPS 活性高峰延迟 3 d 出现, 酶活性明显降低。 (2) 丙烯处理不仅使 SPS 活性高峰比对照提前 9 d 出现, 而且促进了呼吸速率的提高, 加速了硬度的下降和蔗糖的积累。表明 SPS 与香蕉果实的成熟、衰老和糖的积累及果实软化等有密切的关系。

关键词: 香蕉; 果实; 蔗糖磷酸合成酶; 成熟; 衰老

中图分类号: S 668 **文献标识码:** A **文章编号:** 0513-353X (2006) 05-1087-03

Relationships between the Sucrose Phosphate Synthase and Ripening, Senescence of Banana Fruits

Li Wen^{1,2}, Shao Yuanzhi², Zhuang Junping¹, and Chen Weixin^{1*}

(¹South China Agricultural University, Guangdong Province Key Laboratory for Postharvest Science and Technology of Fruits and Vegetables, Guangzhou, Guangdong 510642, China; ²College of Life Science and Agriculture, Hainan University, Haikou, Hainan 570228, China)

Abstract: The relationships between the activity of sucrose phosphate synthase (SPS) and respiration rate, softening and sucrose accumulation during banana ripening were studied. It was shown that the application of ethylene absorbent not only inhibited the rate of respiration, delayed the fruit softening and the accumulation of sucrose ($P < 0.01$), but also inhibited the activity of SPS, the peak of which appearing 3 days later, and the activity of SPS being decreased significantly than that of normal ripening fruits. The peak of SPS activity in fruits treated with propylene appeared 9 days earlier than that in fruits with normal ripening. The rate of respiration of fruit, the decline of fruit firmness and sucrose accumulation were found to be accelerated by the treatment with propylene. The SPS was found to be correlated closely with the ripening, senescence, sugar accumulation and softening of the fruits.

Key words: Banana; Fruit; SPS; Ripening; Senescence

1 目的、材料与方法

蔗糖磷酸合成酶 (Sucrose phosphate synthase, SPS) 是调节蔗糖合成的关键酶之一。国内外大量研究表明, SPS 与果实发育、糖的积累、品质形成及成熟衰老有着密切关系。采后果实淀粉的分解和蔗糖的形成与果实硬度的降低、乙烯的产生和呼吸跃变等都有着密切的关系。目前有关香蕉果实后熟过程中 SPS 的研究国内外报道较少, 并且研究结果也不完全一致^[1~3]。因此, 研究 SPS 在香蕉果实成熟中的变化规律以及它在成熟进程中与呼吸速率、硬度变化以及糖积累的关系, 对于探讨香蕉果实后熟过程中糖的代谢规律、控制成熟软化、提高品质和改善风味都具有重要意义。

试验在华南农业大学园艺学院广东省果蔬保鲜重点实验室进行。采收饱满度约为八成的‘巴西’香蕉 (*Musa* spp. AAA Group, Cavendish) 果实, 去轴落梳后分成单个蕉果。挑选大小均匀, 无病虫害及

收稿日期: 2005 - 12 - 07; 修回日期: 2006 - 02 - 20

基金项目: 教育部基金资助项目 (20050564013); 海南省教育厅高校科研资助项目 (Hjkj200515)

* 通讯作者 Author for correspondence (E-mail: chenweix@sti.gd.cn)

机械伤的果实,清洗和杀菌处理后晾干。将果实分成3组,做3种处理:正常自然成熟(对照),将果实放入0.03 mm厚的聚乙烯薄膜袋中,不封口;抑制成熟,每袋放入5 g乙烯吸收剂(用珍珠岩吸附饱和和高锰酸钾溶液);促进成熟,将果实放在密闭塑料容器中,通入 $1\,000\ \mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ 的丙烯(乙烯类似物)气体,密闭20 h后取出。处理后的果实存放温度为 $25\ ^\circ\text{C}$ 。贮藏期间每隔2~4 d取样用于测定。3条香蕉为1次重复,每处理重复3次。使用日本岛津GC17A型气相色谱仪测定呼吸速率;用KM-1型和KM-5型硬度计(日本产)测定果实硬度(每条果实在距果顶和果尾1/3横切面处测定10个值,取平均值)。SPS活性测定参照Eduardo等^[4]和赵智忠等^[5]的方法并做了改进:总反应体系 $60\ \mu\text{L}$ 中含酶提取液 $20\ \mu\text{L}$ 和缓冲液 $40\ \mu\text{L}$ [含 $50\ \text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ Hepes-KOH (pH 7.5)、 $1\ \text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ NaF、 $5\ \text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ fructose-6-phosphate、 $10\ \text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ UDP-glucose、 $15\ \text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ glucose-6-phosphate和 $15\ \text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ MgCl_2],以产生蔗糖的量计算SPS活性($\text{mmol}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}\text{FM}$)。果实蔗糖含量用HPLC法测定,进样量 $20\ \mu\text{L}$,碳水化合物柱,流动相(乙腈:重蒸水=70:30),流速 $0.8\ \text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$,柱温 $25\ ^\circ\text{C}$,156示差检测器,System Gold Software控制及数据处理系统。制作标准曲线所用样品及酶反应所用底物为Sigma公司产品,其余为国产分析纯试剂。采用Excel 2000、Signaplot 8.02和SAS软件统计分析并作图。

2 结果分析与讨论

2.1 采后香蕉果实蔗糖磷酸合成酶(SPS)活性和呼吸速率的变化

从图1可以看出,抑制成熟(加乙烯吸收剂)处理不但极显著延迟了果实呼吸高峰的出现($P < 0.01$),而且明显抑制了SPS的活性,就酶活性峰值来看,正常成熟(对照)和抑制成熟的果实SPS活性峰值分别是 58.06 和 $32.14\ \text{mmol}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}\text{FM}$;抑制成熟的果实高峰比正常果实推迟3 d出现。促进成熟(丙烯)处理极显著促进了果实呼吸速率的提高($P < 0.01$),同时也影响了SPS活性,酶活性高峰比对照提前了9 d,这与Hubbard等^[6]用乙烯催熟的结果一致;但其活性峰值却比对照低 $34.80\ \text{mmol}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}\text{FM}$ 。3种处理的果实,其SPS活性高峰都出现在呼吸高峰之前,推测SPS活性的提高可能为果实的呼吸作用提供一定的物质基础,可能对呼吸跃变起到一定的上游调控作用。

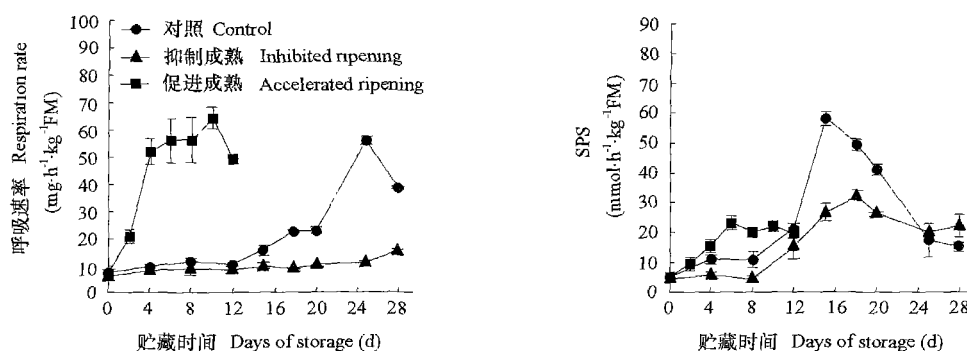


图1 香蕉果实后熟中SPS活性和呼吸速率的变化

Fig. 1 Changes in SPS activities and respiration rate during banana ripening

2.2 采后香蕉果实硬度的变化

图2表明,(1)随着贮藏时间的延长,果实硬度逐渐降低,对照果实的硬度从12 d起快速下降,而抑制成熟处理的果实从28 d才开始明显下降,促进成熟处理的果实采后4 d内硬度已下降了80%,三者间差异极显著($P < 0.01$);(2)对于正常成熟和抑制成熟的果实,其硬度快速下降的时间正是SPS活性快速升高的时间(采后第12天和第50天);(3)丙烯处理后果实硬度一直下降的趋势与SPS活性上升的趋势相吻合。这些变化暗示SPS活性与果实硬度的变化可能有密切的关系。

2.3 采后香蕉果实蔗糖积累的变化

多数研究者认为SPS与蔗糖之间存在显著的正相关关系^[7-9]。在香蕉果实后熟中,蔗糖含量不断

增加(图3), 对照果实从18 d以后快速增加, 并于25 d时达到高峰($90.67 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FM}$), 之后则下降; 抑制成熟处理的果实显著抑制了蔗糖的积累; 而促进成熟的果实蔗糖含量在采后第2天就已明显增加, 第6天达到高峰($120.71 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FM}$)。这3种处理的果实, 其SPS活性的高峰出现在蔗糖积累高峰之前或者同时出现(图1, 3), 说明蔗糖的积累与SPS活性变化有密切联系, 当蔗糖积累到较高水平后SPS活性即开始下降, 这可能是由于蔗糖积累到一定水平时即对SPS产生反馈抑制的作用, 这与张玉等在猕猴桃上的研究结果^[10]一致。

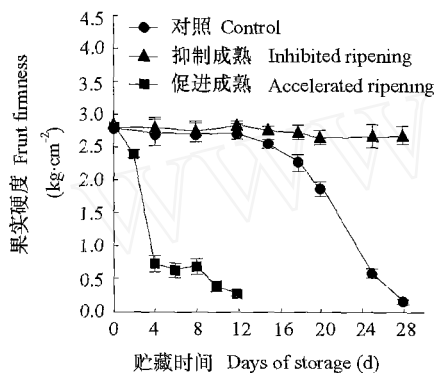


图2 香蕉果实后熟中果实硬度的变化

Fig. 2 Changes in fruit firmness during banana ripening

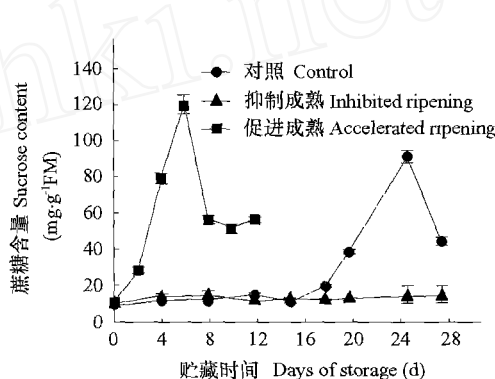


图3 香蕉果实后熟中蔗糖积累的变化

Fig. 3 Changes in sucrose accumulation during banana ripening

总之, 香蕉果实成熟衰老的过程极其复杂, SPS在其中起着重要作用, SPS与其它几种糖代谢相关酶之间的内在关系还有待深入研究。

参考文献:

- 王惠聪, 黄辉白, 黄旭明. 荔枝果实的糖积累与相关酶活性. 园艺学报, 2003, 30 (1): 28~33
Wang H C, Huang H B, Huang X M. Sugar accumulation and related enzyme activity in the lichi fruit Acta Horticulturae Sinica, 2003, 30 (1): 28~33 (in Chinese)
- Prabha T N, Bhagyalakshmi N. Carbohydrate metabolism in ripening banana fruit Phytochemistry, 1998, 48, (6): 915~919
- Angels K K, Theophanes S, Autar K M. Changes in sugar, enzymic activities and acid phosphatase isoenzyme profiles of bananas ripened in air or stored in 2.5% O₂ with and without ethylene Plant Physiol, 1989, 90: 251~258
- Eduardo P, Franco M L, Joao R O. Inhibition of α-amylase activity, starch degradation and sucrose formation by indole-3-acetic acid during banana ripening Planta, 2001, 212: 823~828
- 赵智忠, 张上隆, 徐昌杰, 陈昆松, 刘拴桃. 蔗糖代谢相关酶在温州蜜柑果实糖积累中的作用. 园艺学报, 2001, 28 (2): 112~118
Zhao Z Z, Zhang S L, Xu C J, Chen K S, Liu S T. Roles of sucrose-metabolizing enzymes in accumulation of sugars in Satsuma Mandarin fruit Acta Horticulturae Sinica, 2001, 28 (2): 112~118 (in Chinese)
- Hbbard N L, Pharr D M, Huber S C. Role of sucrose-phosphate synthase in sucrose biosynthesis in ripening banana and its relationship to the respiratory climacteric Plant Physiol, 1990, 94: 201~208
- Thomas W R, Philip J, Kerr S, Steven C H. Characterization of diurnal changes in activities of enzymes involved in sucrose biosynthesis Plant Physiol, 1983, 73, 428~433
- Speth M, Paul P Q, Christina B. Carbohydrate metabolism during postharvest ripening in kiwifruit Planta, 1992, 188: 314~323
- 陈俊伟, 张上隆, 张良诚, 徐昌杰, 陈昆松. 柑橘果实遮光处理对发育中的果实光合产物分配、糖代谢与积累的影响. 植物生理学报, 2001, 27 (6): 499~504
Chen J W, Zhang S L, Zhang L C, Xu C J, Chen K S. Effects of fruit shading on photosynthate partitioning, sugar metabolism and accumulation in developing Satsuma Mandarin (Citrus unshiu Marc) fruit Acta Phytophysiologica Sinica, 2001, 27 (6): 499~504 (in Chinese)
- 张 玉, 陈昆松, 张上隆, 王建华. 猕猴桃果实采后成熟过程中糖代谢及其调节. 植物生理与分子生物学学报, 2004, 30 (3): 317~324
Zhang Y, Chen K S, Zhang S L, Wang J H. The regulation and mechanism for sugar metabolism on the ripening of postharvest kiwifruit Journal of Plant Physiology and Molecular Biology, 2004, 30 (3): 317~324 (in Chinese)