

# 不同辣椒品系果实发育过程中糖含量和蔗糖代谢酶活性的变化

陈攀栋, 沈火林, 杨学妍, 马丽华

(中国农业大学 农学与生物技术学院, 北京 100094)

**摘要:** 研究了一个甜椒品系 405 和一个辣椒品系伏地尖果实在生育期内主要糖含量和蔗糖代谢关键酶活性的变化。结果表明: 在绿熟期和转色期甜椒品系 405 的可溶性总糖、蔗糖含量都明显高于辣椒品系伏地尖, 绿熟期甜椒品系 405 的可溶性总糖含量为 213.3 mg/g, 而辣椒品系伏地尖则为 97.6 mg/g, 但红熟期两者相差不大; 与辣椒品系相比甜椒品系蔗糖和淀粉含量在绿熟期后有一个升高又降低的过程; 两品系蔗糖代谢关键酶活性变化趋势差异不大, 酸性转化酶与中性转化酶活性在果实快速生长期和成熟期较高, 而在绿熟期较低; 蔗糖磷酸合成酶活性在绿熟期较高, 而在快速生长期和成熟期较低。虽然甜椒品系与辣椒品系之间糖含量存在显著差异, 但两者蔗糖代谢酶活性差异并不明显, 推测是由于对蔗糖利用的不同引起的。

**关键词:** 辣椒; 果实; 糖含量; 蔗糖代谢酶

中图分类号: S641.301 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2007)增刊-0082-04

## Changes of Sugar Contents and Sucrose-metabolizing Enzyme Activities in Developing Fruit of Two Pepper Materials

CHEN Pan-dong, SHEN Huo-lin, YANG Xue-yan, MA Li-hua

(College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100094, China)

**Abstract:** Sugar contents and activities of sucrose-metabolizing enzymes in the fruits were studied during the fruit development of a sweet pepper material(405) and a hot pepper material(Fudijian). The results showed that, during the green ripen stage and turning stage, the sucrose and total soluble sugar contents of the sweet pepper were much higher than the hot pepper, for example, the total soluble sugar contents of the sweet pepper during green ripen stage was 213.3 mg/g, while the contents of hot pepper was 97.6 mg/g. The contents of sucrose and starch had a fluctuation after green ripen stage in 405 compared with Fudijian throughout the growth. There was no noted difference on the trend of sucrose-metabolizing enzyme activities among the two materials. The acid invertase and neutral invertase activity was high in the fast growth stage and ripening stage, but low in green ripen stage. The sucrose phosphate synthase activity was high in green ripen stage, and low in the fast growth stage and ripening stage. Although the content of sugars were different between the sweet pepper 405 and hot pepper Fudijian, there were no remarkable differences between the sucrose-metabolizing enzyme activities of two pepper materials, which indicate there might exist different way in sucrose using between the two types of pepper.

**Key words:** Pepper; Fruit; Sugar content; Sucrose-metabolizing enzyme

关于植物果实的蔗糖代谢, 人们在果树<sup>[1,2]</sup>及番茄<sup>[3]</sup>、甜瓜<sup>[4]</sup>等作物上都进行了很多研究, 结果表明蔗糖代谢关键酶对于糖积累的作用因作物种类而有所不同。Nielsen 等<sup>[5]</sup>曾研究过一个甜椒类型品

种果实发育过程中的蔗糖代谢, 认为酸性转化酶与果实发育和蔗糖的积累相关, 而在果实发育过程中没有明显的淀粉早期积累成熟时又快速水解的特性, 这与番茄<sup>[6]</sup>、猕猴桃<sup>[2,7]</sup>等许多果实明显不同,

收稿日期: 2007-04-15

作者简介: 陈攀栋(1982-), 男, 河南人, 在读硕士, 主要从事辣椒生长发育方面的研究工作

通讯作者: 沈火林(1965-), 男, 上海人, 副教授, 硕士, 主要从事蔬菜遗传育种的教学与科研工作。

因此辣椒果实的糖代谢也有自己的特点, 此外辣椒果实形状、果重和辣味等方面存在非常丰富的变异, 这是其另一个显著特点, 这也为研究不同类型果实在蔗糖代谢机制上的差异, 进而分析蔗糖代谢与果实生长发育之间的关系提供了条件, 但目前在这些方面缺少深入的研究。本试验旨在对 2 个不同类型的辣椒果实的蔗糖代谢特点进行对比分析, 进一步了解辣椒果实蔗糖代谢的机理, 为辣椒果实的品质调控和改良提供理论依据。

# 1 材料和方法

## 1.1 试材与取样方法

甜椒品系为 405, 果实长方灯笼形, 中早熟, 未成熟时为绿色, 完全成熟时为红色; 辣椒品系为伏地尖, 果实羊角形, 未成熟时为绿色, 完全成熟时为深红色, 辣味浓。两品系经温室育苗后在 2005 年 4 月 28 日定植于中国农业大学科学园纱棚中。行株距 60 cm×30 cm, 开花时摘除门花和对花, 其余栽培管理同一般生产。第 3 层花开放的当日挂牌标记果实, 分别在幼果期(开花后 7 d)、快速生长期(开花后 17 d)、绿熟期(约开花后 33 d, 依品系不同略有差异)、转色期(约开花后 45 d)、红熟期(约开花后 55 d)取果实, 每次取 5~8 个果实, 测定鲜重、干重和糖含量, 另取 3~5 个果实, 四分法取样, 测定相关酶活性。

## 1.2 糖含量和酶活性测定

采用蒽酮比色法<sup>[8]</sup>测定淀粉含量, 盐酸-间苯二酚比色法<sup>[9]</sup>测定蔗糖、果糖含量, 葡萄糖氧化酶法<sup>[9]</sup>测定葡萄糖含量。

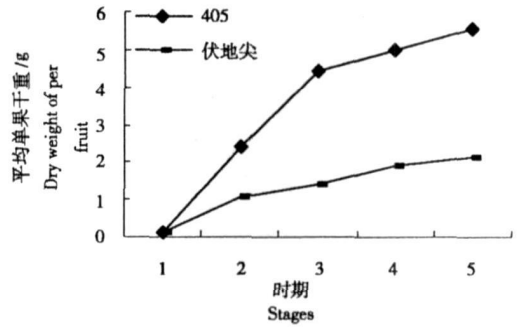
相关酶的提取与酶活性的测定: 相关酶的提取参考 Nielsen<sup>[5]</sup> 与 Hubbard<sup>[7]</sup> 并加以改进, 组织经液氮冷冻后在 4℃下加 8 mL 提取缓冲液冰浴研磨。提取

缓冲液同 Nielsen<sup>[5]</sup>。提取液用 12 000 g 离心 20 min, 取上清液。蔗糖磷酸合成酶 (SPS) 和蔗糖合成酶 (SS, 合成方向) 活性基本参考<sup>[10]</sup>, 但加入的反应终止剂为 2 mol/L 的 NaOH。酸性转化酶 (AI) 活性测定参考 Miron<sup>[3]</sup>。中性转化酶 (NI) 反应缓冲液参考 Nielsen<sup>[5]</sup>, 其余同酸性转化酶。

# 2 结果与分析

## 2.1 果实发育中干重的变化

2 个品系果实干重从幼果期到红熟期均持续增加, 但成熟时甜椒品系 405 果实干重明显大于辣椒品系伏地尖。快速生长期果实干重增加速率是甜椒品系 405 果重与辣椒品系伏地尖果重有差异的主要原因(图 1)。甜椒品系 405 的果实干重从幼果期到快速增长期、从快速增长到绿熟期的日平均增长率分别是 0.34、0.03, 绿熟期果实干重是幼果期的 34.9 倍; 辣椒品系伏地尖则分别为 0.23、0.02, 绿熟期果实干重是幼果期的 11.2 倍。



1. 幼果期, 2. 快速生长期, 3. 绿熟期, 4. 转色期, 5. 红熟期, 下同  
1. Young fruit stage, 2. Fast growth stage, 3. Green ripen stage, 4. Turning stage, 5. Ripening stage respectively, The same as follow

图 1 2 个辣椒品系果实发育过程中干重的变化  
Fig. 1 Fresh weight in development fruits of two pepper materials

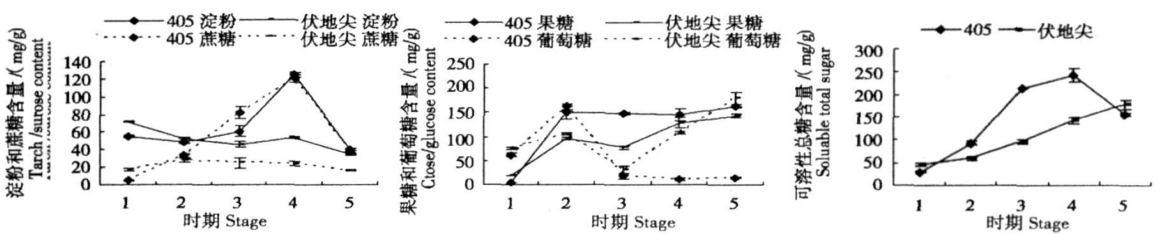


图 2 2 个辣椒品系果实发育不同阶段糖含量的变化

Fig. 2 Changes of sugar contents in development fruits of two pepper materials

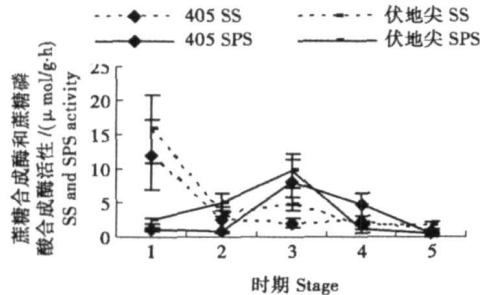
## 2.2 果实发育不同阶段糖含量的变化

果实在幼果期各种糖含量都比较低(图 2), 从快速生长期开始果糖、葡萄糖含量都快速增加。果糖含量从幼果期到快速生长期之间急剧增加, 此后直到转色期变化不大, 从转色期到红熟期又有一次

比较明显的升高。而葡萄糖含量则在幼果期较低, 然后升高, 绿熟期时又降低, 之后辣椒品系伏地尖一直升高, 而甜椒品系 405 则保持较低水平。葡萄糖与果糖含量在快速生长时期两品系均接近 1:1, 而在红熟期辣椒品系伏地尖也接近 1:1。甜椒品系

405 果实蔗糖和淀粉含量从幼果期到转色期一直增加,到完全成熟时又有一个快速降低的过程,而辣椒品系伏地尖则首先增加,之后比较稳定,到完全成熟时略有降低。两品系的可溶性总糖含量从幼果期到转色期一直增加,在绿熟期甜椒品系 405 果实可溶性总糖含量为 213.3 mg/g,而辣椒品系伏地尖则为 97.6 mg/g;之后甜椒品系 405 果实可溶性总糖含量从转色期的 242 mg/g 迅速降低至红熟期的 155.6 mg/g,而辣椒品系伏地尖则继续增加至 177.4 mg/g,略高于甜椒品系 405。两品系的可溶性总糖含量与果实平均单果干重均呈显著正相关,甜椒品系 405 的相关系数为 0.88,而辣椒品系伏地尖为 0.93。

比较甜椒品系 405 和辣椒品系伏地尖果实糖含量的变化,可以发现在绿熟期 2 个品系果实有一个明显的区别,就是甜椒品系 405 果实中出现了蔗糖的快速积累过程,而辣椒品系伏地尖则没有,甜椒品系 405 果实蔗糖含量在转色期达到最高,为 120.9 mg/g,红熟期最低,为 38.1 mg/g。而辣椒品系伏地尖最高值在快速生长期,为 28.2 mg/g,最低值在红熟期,为 16.7 mg/g。甜椒品系 405 果实开始积累蔗糖的原因可能是生长变缓以及光合“源”运进蔗糖的增加,而辣椒品系伏地尖未出现蔗糖积累可能与



辣椒素等的合成有关。由于葡萄糖含量的急剧下降,绿熟期甜椒品系 405 果实中以蔗糖和果糖为主,而辣椒品系伏地尖则以果糖为主。在红熟期两品系的蔗糖含量有一个比较明显的下降,其中 405 下降非常明显。伴随着蔗糖和淀粉的分解,两品系果实的果糖含量也有所升高,2 个品系的果实都以单糖为主,其中甜椒品系 405 果实中六碳糖占总糖含量的 69.5%,辣椒品系伏地尖为 86.3%,两者总糖含量相差不大。

### 2.3 果实糖代谢相关酶活性变化

为了说明果实主要糖含量变化的规律,以及进一步研究果实生长发育与糖含量变化的关系,我们研究了辣椒蔗糖代谢关键酶:蔗糖磷酸合成酶 (SPS),蔗糖合成酶 (SS),酸性转化酶 (AI) 和中性转化酶 (NI) 在果实生长过程中活性的变化 (图 3)。

两品系果实的 SPS 活性在绿熟期之前快速升高,绿熟期之后又快速下降。SS 活性仅在幼果期比较高,然后快速下降。AI 活性则是先升高再降低,在绿熟期最低,最后在果实完全成熟过程中再次升高,但数值仍低于快速生长时期。NI 活性变化与酸性转化酶类似,但数值低于 AI,另外其活性的下降一直持续到转色期,之后活性仅略有回升。

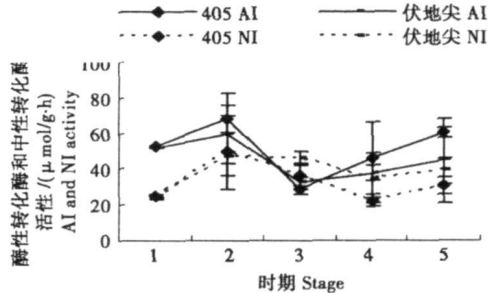


图 3 2 个辣椒品系果实发育不同阶段蔗糖代谢关键酶活性的变化

Fig. 3 Changes of sucrose metabolizing enzyme activities in development fruits of two pepper materials

联系果实糖分含量的变化可以看出,虽然 SPS 活性变化与果实蔗糖含量变化趋势不完全一致,但两品系的 SPS 活性最高的 2 个时期却分别对应着蔗糖含量最高的 2 个时期。在幼果期 405 品系的 SPS 活性低于伏地尖,蔗糖含量亦如此,而此后尽管 405 品系的 SPS 活性高于伏地尖,但 405 仍然快速地积累蔗糖,而伏地尖的蔗糖含量却没有大的变化。

伏地尖品系的 AI 活性与果糖和葡萄糖含量的变化趋势比较一致,而 405 品系的 AI 活性只在前 3 个时期与六碳糖的含量变化比较一致。到果实完全成熟时,有一个淀粉和蔗糖含量下降,六碳糖含量增加的过程,而此时也正伴随着 AI 活性的上升,因此可以说,作为辣椒果实糖分暂时贮存的淀粉和蔗糖,在成熟的过程中被 AI 降解成为单糖。

我们发现 SS 在幼果期对蔗糖合成可能有较大的作用,但这既没有引起蔗糖的积累,也与果实生长的关系不明确。NI 活性值整体上与 AI 差别不大,但与果实的生长趋势不太一致。

从总体趋势上来看,两品系蔗糖代谢关键酶活性没有太大差异而却存在蔗糖和淀粉含量的明显不同,推测这可能是由甜椒与辣椒对蔗糖的利用不同造成的。

从图 1 可知,前 2 个时期转化酶活性比较高,催化光合“源”组织运输来的蔗糖转化为单糖,以维持果实旺盛的生长和代谢。绿熟期果实重量和体积增长已经基本完成,果实的代谢活性降低,随之转化酶活性也就下降,SPS 活性升高,催化蔗糖的产生,果实开始进入成熟期,一些与品质相关的物质开始形

成又需要大量的单糖, 因此又出现了 AI 活性的上升, 促进了蔗糖和淀粉的降解。

### 3 讨论

在快速生长期果实干重增长率的差异, 是导致成熟时甜椒果实与辣椒果实干重差异的直接原因。

甜椒果实在转色期蔗糖和淀粉含量迅速升高, 而到红熟期蔗糖含量又快速下降, 同时六碳糖含量升高, 这与 Nielsen 等<sup>[5]</sup>的研究基本一致。本试验还发现辣椒品系伏地尖果实的蔗糖和淀粉含量在整个生育期内变化不大。

甜椒品系 405 与辣椒品系伏地尖的 AI 活性均在绿熟期较低, 其他时期较高, 而 SPS 活性则与之相反。所以甜椒果实在绿熟期开始的蔗糖积累以转化酶活性降低为前提, 但 SPS 活性的增加也是必须的, 这一点也与番茄<sup>[3]</sup>和甜瓜<sup>[11]</sup>的研究类似, 而与 Nielsen 等<sup>[5]</sup>的研究不同。本试验对辣椒品系伏地尖的研究表明, 相对于甜椒果实, 辣椒果实发育过程中蔗糖含量明显较低且变化幅度很小。对 SPS 活性的研究表明, 在转色期, 甜椒品系 405 的 SPS 活性还较高, 而辣椒品系伏地尖的 SPS 却处于较低活性, 同时, 此时的 AI 活性水平均较低, 故而甜椒品系 405 此时能积累更多蔗糖。此外, 从绿熟期开始, 一些与品质相关的物质如维生素 C<sup>[12]</sup>、辣椒素类<sup>[10]</sup>、胡萝卜素类<sup>[12]</sup>等物质开始快速生成, 六碳糖作为呼吸底物开始被大量消耗以形成这些物质或前体。研究表明, 辣椒果实的维生素 C、辣椒素类物质含量均高于甜椒<sup>[12]</sup>。这可能也是辣椒果实发育过程中积累较少蔗糖的原因。

我们的试验发现 SPS 活性的升高晚于 AI 活性, 蔗糖的积累也晚于果糖含量的提高, 因此, 在辣椒果实中 SPS 和 AI 可能有这样一种关系: 在果实快速发育时期, AI 活性较高, 以分解运输来的蔗糖, 增加“源”、“库”之间的蔗糖浓度梯度, 维持果实的库强; 蔗糖水解产物果糖和葡萄糖含量的增加, 抑制了 AI 的活性, 并引起了 SPS 活性的升高, 从而使蔗糖含量增加, 而淀粉合成相关的酶类活性升高, 也使淀粉积累, 这样就平衡了六碳糖含量的快速升高。但相关性分析却没有发现它们之间存在显著的相关。关于

糖代谢几种相关酶活性之间的关系, 还需要进一步的研究去证实。

### 参考文献:

- [1] 赵智中, 张上隆, 徐昌杰, 等. 蔗糖代谢相关酶在温州蜜柑果实糖积累中的作用[J]. 园艺学报, 2001, 28(2): 112 - 118.
- [2] MacRae E, Quick W P, Benker C, et al. Carbohydrate metabolism during postharvest riping in kiwifruit[J]. Planta, 1992, 188: 314- 323.
- [3] Miron D, Schaffer A A. Sucrose phosphate synthase, sucrose synthase, and invertase activities in developing fruit of *Lycopersicon esculentum* Mill. and the sucrose accumulating *Lycopersicon hirsutum* Humb. and Bonpl[J]. Plant Physiol, 1991, 95: 623- 627.
- [4] Schaffer A A, Aloni B, Fogelman B. Sucrose metabolism and accumulation in developing fruit of Cucumis[J]. Phytochemistry, 1987, 26(7): 1883- 1887.
- [5] Nielsen T H, Skjaerbaek H C, Karlsen P. Carbohydrate metabolism during fruit development in sweet pepper (*Capsicum annuum*) plants[J]. Physiologia Plantarum, 1991, 82(2): 311- 319.
- [6] Robinson N L, Hewitt J D, Bennet A B. Sink metabolism in tomato fruit I Developmental changes in carbohydrate metabolizing enzymes[J]. Plant physiology, 1988, 87: 727- 730.
- [7] Hubbard N L, Pharr D M, Huber S C. Sucrose phosphate synthase and other sucrose metabolizing enzymes in fruits of various species[J]. Physiologia Plantarum, 1991, 82: 191- 196.
- [8] 李合生. 植物生理生化实验原理与技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [9] 张志良, 瞿伟菁. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2003.
- [10] Ochoa-Alejo N, Gomez-Peralta J E. Activity of enzymes involved in capsaicin biosynthesis in callus tissue and fruits of chilli pepper (*Capsicum annuum* L.) [J]. Journal of Plant Physiology, 1993, 141(2): 147- 152.
- [11] Hubbard N L, Huber S C, Pharr D M. Sucrose phosphate synthase and acid invertase as determinants of sucrose concentration in developing muskmelon (*Cucumis melo* L.) fruits[J]. Plant Physiol, 1989, 91: 1527- 1534.
- [12] 赵和平, 蒋健箴, 沈征言. 辣椒果实发育期间的品质变化[M]. 北京农业大学学报, 1991, 17(2): 107- 112.