

## 不同时期采收的草莓果实糖含量差异的代谢机理

陈俊伟\*, 谢 鸣, 蒋桂华, 秦巧平, 徐红霞, 程建徽, 吴 江

(浙江省农业科学院园艺研究所, 杭州 310021)

**摘 要:** 以促成栽培的‘栃乙女’草莓为试材, 分析了不同月份采收的果实糖含量和蔗糖代谢相关酶活性的变化。结果表明, 不同时期采收的草莓果实糖含量有差异, 成熟果实的总糖和蔗糖含量以2月份采收的最高, 1月份次之, 4月份最低; 不同月份果实糖含量不同主要由蔗糖含量的差异引起。2月份果实的蔗糖磷酸合酶 (SPS)、蔗糖合酶 (SS) 合成方向活性显著高于1月份, 而转化酶活性显著低于1月份, 这样有利于2月份成熟果实的蔗糖积累。4月份成熟果实的SS (合成方向)、SPS和酸性转化酶 (AI) 活性水平均与2月份相近, 但此时果实仍不能积累蔗糖, 表明4月份草莓果实不能积累蔗糖与糖代谢关系不密切。

**关键词:** 草莓; 促成栽培; 果实; 糖积累; 蔗糖代谢

中图分类号: S 668.4 文献标识码: A 文章编号: 0513-353X (2007) 05-1147-04

## Difference in Sugar Content of Fruit Harvested in Different Month Strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch ‘Tochiotome’) and Its Relation to Sucrose Metabolism

CHEN Jun-wei\*, XIE Ming, JIANG Gui-hua, QIN Qiao-ping, XU Hong-xia, CHENG Jian-hui, and WU Jiang  
(Institute of Horticulture, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310021, China)

**Abstract:** Sugar accumulation and sucrose metabolism enzyme activities of strawberry fruits harvested in different month were measured by using forcing culture ‘Tochiotome’ strawberry cultivar at various developmental stages. The results showed that the sugar content was different among fruits harvested in different month. The contents of total sugar and sucrose in fruits harvested in February were highest, followed by January, whereas lowest in April. The difference of sugar content in fruits harvested in different month was mainly attributed to the difference in its sucrose concentration. The activities of sucrose phosphate synthase (SPS) and sucrose synthase (SS) synthetic direction in fruits harvested in February were significantly higher than those in January, whereas the acid invertase activity in fruits matured in February was significantly lower than that in January. This profile of sucrose-metabolizing enzymes is favorable to sucrose accumulation for fruit harvested in February. Although the level of invertase activity and sucrose synthetic activities (SPS and SS-synthetic direction) in fruit harvested in April was still equal to that in February, sucrose accumulation in fruit harvested in April was still much lower than that in February. The results indicated lack of sucrose accumulation in fruit harvested in April may not relate to sucrose metabolism.

**Key words:** Strawberry; Forced cultivation; Fruit; Sugar accumulation; Sucrose metabolism

在我国南方地区, 利用塑料大棚进行草莓促成栽培, 草莓采收期可从12月持续到翌年5月, 种植效益显著高于露地。研究表明, 促成栽培中不同时期收获的草莓果实糖含量是不同的, 前期采收的果实糖含量较高, 而后期 (4~5月份) 采收的糖含量低 (Ogiwara et al., 1999; 梁英龙等, 2006), 导致其

收稿日期: 2006-12-24; 修回日期: 2007-05-30

基金项目: 国家自然科学基金项目 (30370998); 浙江省自然科学基金项目 (302389)

\* 通讯作者 Author for correspondence (E-mail: chenjunwe@tom.com)

商品性差, 售价低。作者以大棚栽培的‘栃乙女’草莓为试材, 分析不同月份采收的草莓果实糖含量的差异, 并从糖代谢角度探讨其原因, 以期为提高促成栽培草莓后期果实品质提供理论指导。

## 1 材料与方法

供试材料为‘栃乙女’草莓 (*Fragaria × ananassa* Duch ‘Tochiotome’), 种植于浙江省农业科学院园艺研究所高新园艺创新基地的塑料大棚中。对采样植株每一花序前3朵花挂标签, 记下开花日期。根据开花日期和着色程度, 分别在2004年1月14日、2月15日和4月20日采集大小相近、发育程度接近的不同发育阶段的果实。阶段1: 绿色幼果, 果实绿色、瘦果紧密聚合; 阶段2: 白色果实, 果实已膨大、瘦果不再紧密聚合; 阶段3: 正在转色的粉红果实; 阶段4: 完全着色的红色成熟果实。每个样品取6个果实中间部位用液氮速冻后研磨成粉, 贮于-70℃超低温冰箱中供糖和酶的测定, 取样重复3次。

称取各个时期的果实粉末各2 g, 参照陈俊伟等(2006)的方法进行糖的提取和高效液相色谱测定。测定仪器为Waters 1525高效液相色谱仪(Waters, USA), 柱型Sugar-Pak™ 1(Waters), 流速0.6 mL·min<sup>-1</sup>, 柱温90℃, 检测器为Waters 2414示差折光检测器。Waters Breeze软件控制HPLC运行与处理色谱结果, 根据葡萄糖、果糖、蔗糖峰面积的标准曲线定量样品糖含量。重复3次。

取1~2 g上述草莓果实样品, 参照赵智中等(2001)的方法进行蔗糖磷酸合酶(SPS)、蔗糖合酶(SS)、酸性转化酶(AI)和中性转化酶(NI)的提取与活性测定。

采用Microal Origin软件比较样品间糖含量与酶活性差异的显著性( $P < 0.05$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同时期采收的促成栽培草莓果实糖含量的变化

从图1可见, 草莓果实中的蔗糖含量均随果实发育呈上升趋势, 但果实成熟过程中各个时期的蔗糖含量差异较大。成熟果以2月份采收的蔗糖含量最高, 1月份采收的不到2月份的3/4, 4月份的约为2月份的1/5, 差异达显著水平。葡萄糖和果糖含量在果实发育进程中相对保持稳定, 不同采收时期之间差异不大, 但比较而言, 1月份采收的略高于2月份和4月份的成熟果实。蔗糖含量的差异, 导致不同采收期果实的糖成分构成不同。1月份成熟的果实, 蔗糖占总糖含量的45%, 2月份的超过60%,

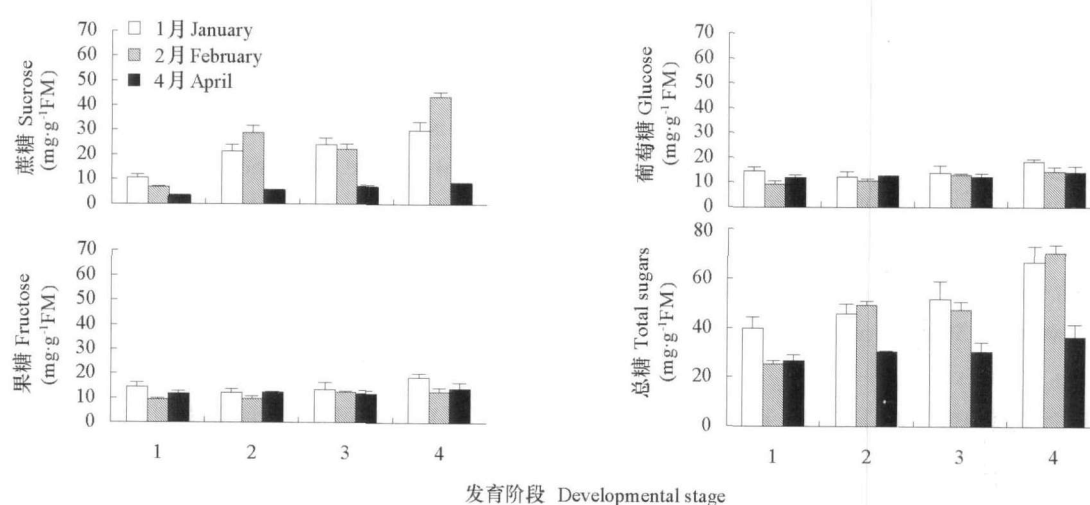


图1 不同时期采收的草莓果实中葡萄糖、果糖、蔗糖和总糖含量的变化

Fig. 1 Changes of glucose, fructose, sucrose and total sugars contents in strawberry fruits harvested in January, February and April

而4月份的仅占23%。以总糖计,1月份和2月份成熟的草莓显著高于4月份。上述结果表明,蔗糖含量高低是决定促成栽培‘栃乙女’草莓果实糖含量高低的关键因子。

## 2.2 不同时期采收的草莓果实中蔗糖代谢相关酶活性的变化

图2表明,1月份采收的草莓果实的酸性转化酶活性随果实成熟快速上升,4月份采收的也呈上升趋势,但上升幅度较小;而2月份采收的呈下降趋势,在粉红果实时达到低位,成熟果又有所上升。成熟果实中,1月份采收的酸性转化酶活性显著高于2月份和4月份的果实。与酸性转化酶相比,中性转化酶的活性较低,变化较小,均以成熟果实相对较高。

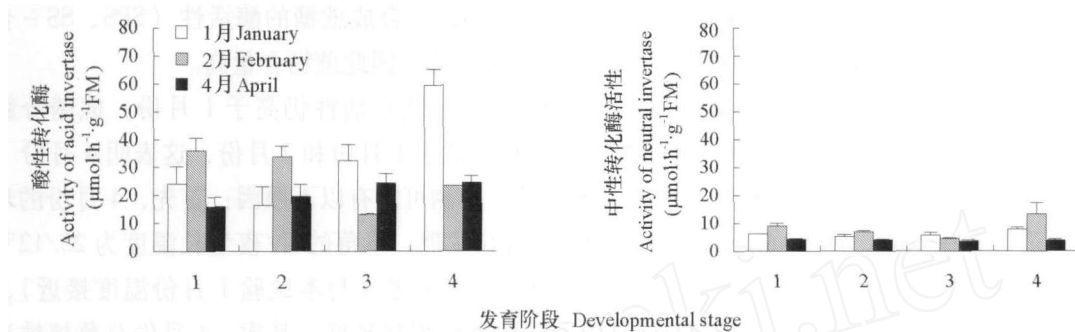


图2 不同的采收的草莓果实中转化酶活性的变化

Fig. 2 Changes in activities of invertase in strawberry fruits harvested in January, February and April

图3表明,不同采收时期的草莓果实SS合成活性不同,1月份采收的显著低于其它2个时期,但相同时期采收的各发育阶段的果实之间没有显著差异。SS分解活性的变化趋势与合成活性基本相似,但比合成活性低。

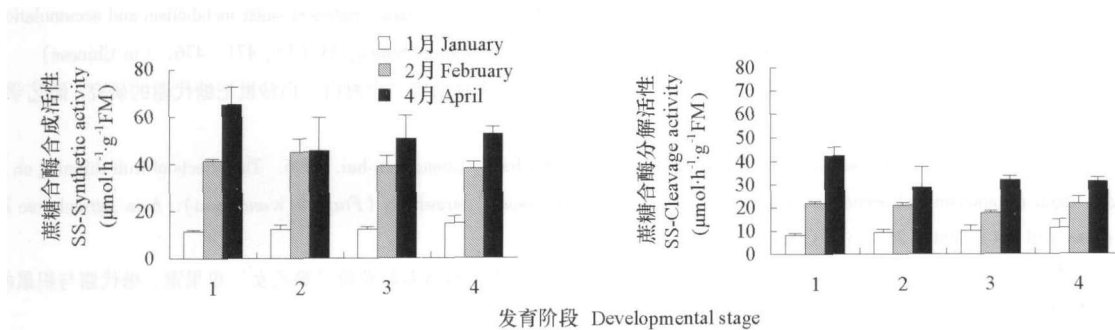


图3 不同时期采收的草莓果实中蔗糖合酶活性的变化

Fig. 3 Changes in activities of sucrose synthase in strawberry fruits harvested in January, February and April

图4显示了不同时期采收的草莓果实中SPS活性的变化。

由图4可以看出,在果实发育的各阶段,1月份采收果实的SPS活性均显著低于2月份和4月份采收的果实,而2月份与4月份差异不显著。

相同月份采收的各发育阶段果实之间的SPS活性变化较小。

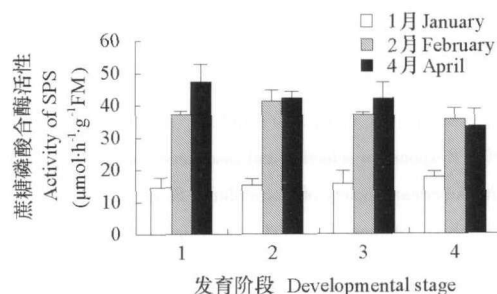


图4 不同时期采收的草莓果实中蔗糖磷酸合酶活性的变化

Fig. 4 Changes in activity of sucrose phosphate synthase in strawberry fruits harvested in January, February and April

### 3 讨论

草莓果实主要积累葡萄糖、果糖和蔗糖 (Montero et al., 1996; Ogiwara et al., 1998), 但其含量与成分既取决于基因型 (Sturma et al., 2003), 又易受生产期间环境条件的影响 (Shaw, 1990)。本研究表明, 与‘女峰’、‘丽红’等草莓品种 (Ogiwara et al., 1999) 相似, 不同月份采收的‘枋乙女’草莓果实的糖含量和糖成分构成差异较大。由于各月份采收果实的葡萄糖和果糖含量基本相似, 因此, 蔗糖含量的差异是导致各个时期采收的草莓果实糖含量不同的主要原因。

本研究表明, 2 月份采收的草莓果实与 1 月份采收的相比, 合成蔗糖的酶活性 (SPS、SS - 合成活性) 高, 而分解蔗糖的酶 (AI) 活性低, 有利于蔗糖的积累, 因此蔗糖含量高。

4 月份采收的草莓果实的蔗糖合成酶 (SPS 和 SS 合成活性) 活性仍高于 1 月份, 蔗糖分解酶 (即酸性转化酶) 活性显著低于 1 月份, 但蔗糖含量却仍远低于 1 月份和 2 月份, 这表明 4 月份‘枋乙女’草莓果实不能积累蔗糖与蔗糖代谢的关系不密切。推测可能有以下原因: 首先, 4 月份的环境温度过高不适宜蔗糖积累, 据 Wang 和 Camp (2000) 研究发现, 草莓的日/夜生长温度为 25/12℃ 时最适宜蔗糖积累 (这与本试验中 2 月份温度接近), 18/12℃ 次之 (与本试验 1 月份温度接近), 而 30/22℃ (本试验中 4 月份温度与此相当甚至更高) 时蔗糖积累量最低。其次, 4 月份草莓植株生长加快, 大量新叶和匍匐茎发生, 果实生育期缩短 (从 1 月的 56 d 缩短到 39 d), 从叶片输入的蔗糖分配至各个库组织, 导致果实不能积累蔗糖。梁英龙等 (2006) 通过疏果减少光合产物的竞争, 最终使 4 月份采收的果实蔗糖含量提高, 证明营养竞争是导致 4 月份促成栽培‘枋乙女’草莓蔗糖不能积累的重要原因。因此, 通过栽培措施, 减少营养竞争和降低环境温度可提高后期采收的草莓品质。

### References

- Chen Jun-wei, Feng Jian-jun, Qin Qiao-ping, Liu Xiao-kun, Wu Jiang, Xie Ming. 2006. Characteristics of sugar metabolism and accumulation in  $GA_3$  induced parthenocarpic white flesh loquat ‘Ninghai Bai’ fruit. *Acta Horticulturae Sinica*, 33 (3): 471–476. (in Chinese)
- 陈俊伟, 冯健君, 秦巧平, 刘晓坤, 吴江, 谢鸣. 2006.  $GA_3$  诱导的单性结实‘宁海白’白沙枇杷糖代谢的研究. *园艺学报*, 33 (3): 471–476.
- Liang Ying-long, Chen Jun-wei, Qin Qiao-ping, Xie Ming, Jiang Gui-hua, Wu Jiang, Cheng Jian-hui. 2006. The effects of fruit thinning on fruit weight, sugar metabolism and accumulation in fruit of greenhouse ‘Tochiotome’ strawberry (*Fragaria × ananassa*). *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 18 (4): 250–252. (in Chinese)
- 梁英龙, 陈俊伟, 秦巧平, 谢鸣, 蒋桂华, 吴江, 程建徽. 2006. 疏果对设施栽培草莓‘枋乙女’单果重、糖代谢与积累的影响. *浙江农业学报*, 18 (4): 250–252.
- Montero T M, Molla E M, Esteban R M, Lopez-Andreu F J. 1996. Quality attributes of strawberry during ripening. *Scientia Horticulturae*, 65: 239–250.
- Ogiwara I, Miyamoto R, Habutsu S, Suzuki M, Hakoda N, Shimura I. 1998. Variation in sugar content in fruit of four strawberry cultivars grown in the field and under forced culture, harvest year and maturation stages. *Journal of the Japanese Society of Horticultural Science*, 67 (3): 400–405.
- Ogiwara I, Shiraishi M, Hakoda N, Shimura I. 1999. Cause of low sugar levels in forced strawberry fruits. *Journal of the Japanese Society of Horticultural Science*, 68 (1): 130–137.
- Shaw D. 1990. Response to selection and associated changes in genetic variance for soluble solids and titratable acids content in strawberry. *Journal of the American Society of Horticultural Science*, 115: 839–843.
- Sturma K, Koronb D, Stampar F. 2003. The composition of fruit of different strawberry varieties depending on maturity stage. *Food Chemistry*, 83: 417–422.
- Wang Y S, Camp M J. 2000. Temperatures after bloom affect plant growth and fruit quality of strawberry. *Scientia Horticulturae*, 85: 183–199.
- Zhao Zhi-zhong, Zhang Shang-long, Xu Chang-jie, Cheng Kun-song, Liu Shuan-tao. 2001. Roles of activities of sucrose-metabolizing enzymes in accumulation of sugars in satsuma mandarin fruit. *Acta Horticulturae Sinica*, 28 (2): 112–118. (in Chinese)
- 赵智中, 张上隆, 徐昌杰, 陈昆松, 刘栓桃. 2001. 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*, 28 (2): 112–118.