

昼间亚高温对花后番茄叶和果实中光合产物代谢的影响

张洁^{1,2,*}, 李天来², 徐晶²

¹ 河海大学农业工程学院, 南京 210098; ² 沈阳农业大学园艺学院, 沈阳 110161

摘要: 于日光温室中栽培的番茄第一花序第一花开花和开花 10 d 时分别作昼间 35 °C 亚高温处理(以 25 °C 为对照), 检测不同生育期的番茄叶与果实中同化产物积累与代谢变化的结果表明: 番茄开花后叶中果糖、葡萄糖和蔗糖含量均下降, 花后亚高温处理时期越早, 叶中糖含量越低; 果实发育过程中的果糖、葡萄糖和蔗糖含量比 25 °C 下的高, 但成熟时趋于一致。叶和果实中蔗糖代谢相关酶的活性变化基本一致, 酸性转化酶(AI)与中性转化酶(NI)活性下降, 蔗糖合成酶(SS)和蔗糖磷酸合成酶(SPS)活性升高。

关键词: 亚高温; 番茄; 碳水化合物; 蔗糖代谢酶

Effect of Day Time Sub-high Temperature on Metabolism of Photosynthate in Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) Leaf and Fruit after Flowering

ZHANG Jie^{1,2,*}, LI Tian-Lai², XU Jing²

¹ College of Agricultural Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China; ² College of Horticulture, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China

Abstract: The effect of day time sub-high temperature on metabolism of photosynthate in tomato (*Lycopersicon esculentum*) leaves and fruits after flowering was studied in this paper. Plants were treated by day time sub-high temperature 35 °C when the 1st inflorescence effloresced and at 10 d after flowering and at the same time compared with the control plants that under 25 °C. The results showed that the fructose, glucose and sucrose contents in tomato leaves decreased, and the earlier the plants were treated by sub-high temperature, the lower the contents of the three sugars. The fructose, glucose and sucrose contents in fruits increased during the development of fruits, but there were no differences when fruits all matured. The trends of activities of four sucrose-metabolizing enzymes both in leaves and fruits were accorded. The activities of invertase (AI and NI) decreased, but the activities of sucrose synthase (SS) and sucrose phosphate synthase (SPS) increased.

Key words: sub-high temperature; tomato (*Lycopersicon esculentum*); carbohydrate; sucrose-metabolizing enzymes

番茄通过叶片进行光合作用形成碳水化合物供植株生长发育需要, 蔗糖是光合作用的主要终产物, 也是光合产物经韧皮部运输到各库器官的主要形式(姜晶和李天来 2005; 赵智中等 2001)。多年来的研究表明, 果糖、葡萄糖、蔗糖是番茄果实内主要的糖类, 而蔗糖合成酶(sucrose synthase, SS)、蔗糖磷酸合成酶(sucrose phosphate synthase, SPS)和转化酶(invertase, Ivr)是蔗糖代谢的关键酶(陈俊伟等 2000; Miron 和 Schaffer 1991; 吕英民和张大鹏 2000)。温暖季节设施栽培的番茄常出现 30~35 °C 亚高温现象, 此种温度虽不至于对植株造成致命伤害, 但长期处于这种温度下, 植株叶片的光合作用下降, 光合产物形成减少, 蔗糖代谢改变, 最终导致果实

品质下降、产量降低(张洁等 2005a, b)。关于高温降低植物叶片光合作用和影响光能利用率的研究已很多, 但有关高温对开花后的番茄叶片与果实中蔗糖代谢影响的报道还较少, 其他作物中的研究所得出的结论也不尽相同(Ebrahim 等 1998; Lafta 和 Lorenzen 1995; Lorenzen 和 Lafta 1996), 因此, 本文以番茄品种‘辽园多丽’为试材, 探讨 35 °C 昼间亚高温对花后番茄叶片和果实中光合产物代谢的影响。

收稿 2007-04-23 修定 2007-07-06
资助 国家自然科学基金(30170640)和辽宁省自然科学基金(20022080)。

* E-mail: zhangjiejd@hhu.edu.cn

材料与amp;方法

试验于2003年秋季在沈阳农业大学蔬菜基地日光温室中进行,番茄(*Lycopersicon esculentum* Mill.)品种为‘辽园多丽’。采用基质穴盘育苗,幼苗五叶一心时定植于温度处理室中的塑料桶中,每桶一株。每个温度处理室均为5 m×3 m×2.5 m,定植用塑料桶上口直径为33.7 cm,下口直径为30.5 cm,高40 cm,定植土的比例为园田土:草炭:腐熟猪粪=3:2:2。植株定植后至第一花序的第一花开放期间,按正常温度管理,即昼温(25±1),夜温(15±1)。在植株第一花序的第一花开放当天和开花后10 d,分别对植株进行昼温(35±1)的亚高温处理,以第一花序的第一花开放后依然保持昼温(25±1)处理的植株为对照,夜温均为(15±1)。每个处理区均定植54株,植株单干整枝,自然坐果,留3穗果后摘心,每穗均留前4朵花坐的果实。除温度处理外,其他与正常生产管理相同。

温度处理室采用空调机制冷、暖风机加热,通过自动控温系统GIC-III型温室环境智能化控制器(沈阳农业大学工厂化农业中心研制)进行温度调控。每天温度处理为上午8:00时开始升温,9:30时达到各处理所设定的温度(即25和35),至下午16:30时开始降温,18:00时达到15(秋季后期为下午16:00时开始降温)。自然光照,生长期间的光辐射通量密度皆为450~780 μmol·m⁻²·s⁻¹,可以满足番茄正常生长的需要,控制器控制排风扇适时调节处理区内的湿度(白天为50%~75%,夜间为60%~95%),以减少处理间差异。

35 亚高温处理后5、10、15、20、25、30、35、40 d,分别取植株第一花序下部第一片叶片,测定果糖、葡萄糖、蔗糖、淀粉含量和蔗糖代谢酶活性;在处理15、20、25、30、35、40 d,果实转色,成熟时测定第一花序第一个果实内碳水化合物含量和蔗糖代谢相关酶的活性。各处理的每项指标每次均取样3株测定,重复3次。

糖分含量用Waters 600E(美国Waters公司)高效液相色谱(HPLC)测定。提取流程为:取约1 g鲜重样品称重 置入试管中 倒入80%乙醇

80 水浴中1 h 倒出乙醇提取液放入25 mL容量瓶 加80%乙醇,置80 水浴中,重复提取2次 定容至25 mL 浓缩 用1 mL超纯水溶解 上清液过0.45 μm滤膜 进液相测定。测定色谱条件为:碳水化合物柱,柱温为35, 2410示差检测器,流动相比为80%乙腈:20%超纯水,流速为1.0 mL·min⁻¹,Waters Millennium软件控制及数据处理。

酶提取参照王永章和张大鹏(2000)的方法,取冷冻样品,加少量石英砂和10 mL HEPES缓冲液[50 mmol·L⁻¹ HEPES-NaOH (pH 7.5)、1 mmol·L⁻¹ EDTA、10 mmol·L⁻¹ MgCl₂、2.5 mmol·L⁻¹ DTT、10 mmol·L⁻¹ 维生素C和5%不溶性的聚乙烯吡咯烷酮(PVP)],冰浴中研磨,4层纱布过滤,12 000×g、4 离心20 min,弃沉淀,上清液中逐渐加入硫酸铵至80%溶解度,再以12 000×g、4 离心30 min,弃上清液,用提取缓冲液2~5 mL溶解沉淀,再以稀释10倍的提取缓冲液(不含PVP)透析20 h。以上所有操作均在0~4 下进行。

酶活性的测定参照於新建(1985)介绍的方法。淀粉含量用高氯酸法(牛森1994)测定。

试验中的尿苷二磷酸葡萄糖(UDPG)和6-磷酸果糖均购自美国Sigma公司。

结果与amp;讨论

1 昼间亚高温对番茄叶和果实中糖分含量的影响

从图1可以看出,经亚高温处理的植株叶片中果糖、葡萄糖和蔗糖含量均下降,花后10 d处理的植株叶中糖分含量在第一花序花后40 d内基本上介于25 处理与开花时处理之间。总体上说,番茄第一花序第一花开放时开始进行昼间亚高温处理的叶中糖分含量受亚高温影响的程度大于花后10 d处理的植株。

从图1还可以看出,随着番茄果实的发育,果实内果糖、葡萄糖含量逐渐增加,蔗糖含量逐渐减少,但开花时开始35 亚高温处理的植株果实中果糖、葡萄糖含量在果实发育过程中均比25 下的高。而花后10 d开始处理的植株在花后15 d时果糖和葡萄糖含量与25 下的差异很小,之后随着处理时间的延长差异加大,开花40 d后差异又逐渐减小。果实成熟时处理间的果糖和葡萄糖

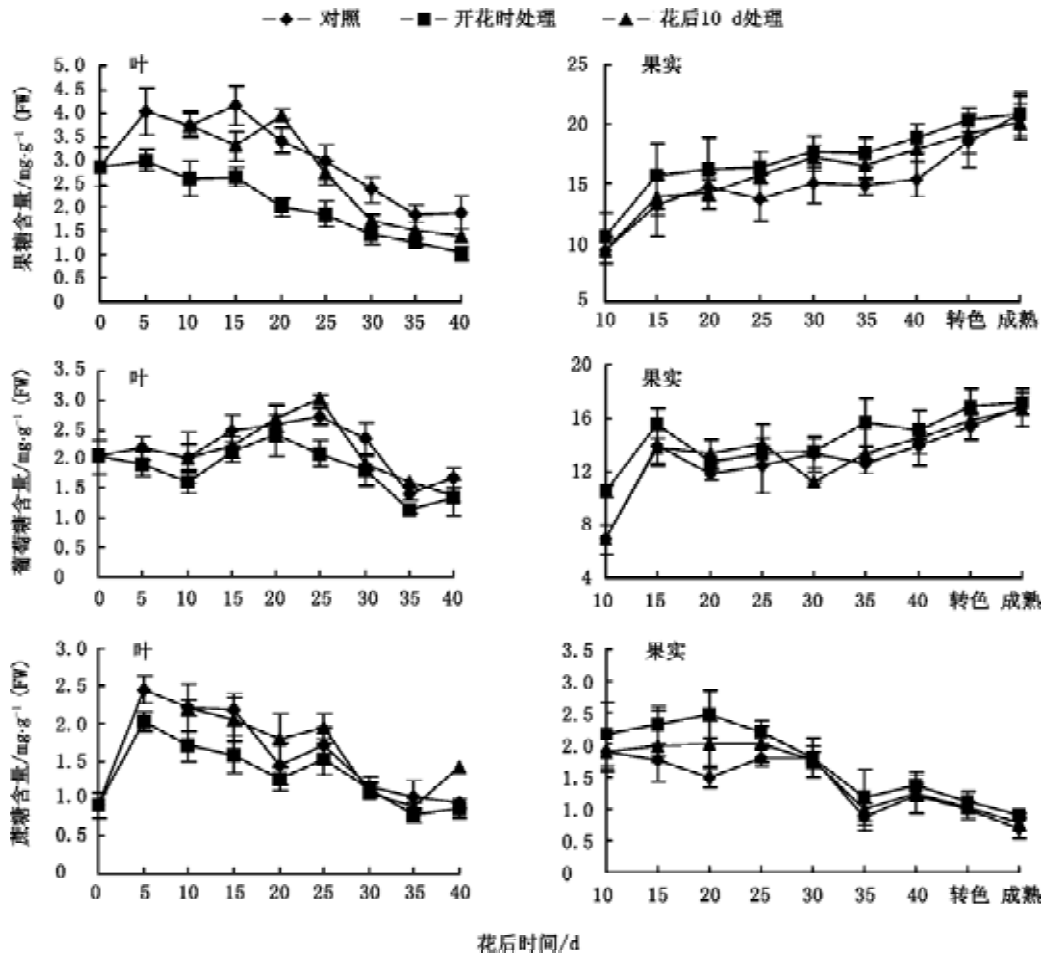


图1 昼间亚高温对番茄叶和果实中糖分含量的影响

Fig.1 Effect of sub-high temperature on sugar contents in tomato leaves and fruits

含量基本上一致。35与25 处理之间的果实中蔗糖含量在第一花序开花25 d之内差异较明显,开花25 d后差异逐渐变小,但依然表现为开花时亚高温处理>花后10 d亚高温处理>25 处理。

2 昼间亚高温对番茄叶和果实中蔗糖代谢相关酶活性的影响

从图2可以看出,昼间亚高温处理的番茄叶中酸性转化酶(acid invertase, AI)活性下降,且处理时间越早, AI活性越低。昼间亚高温处理的植株叶中中性转化酶(neutral invertase, NI)活性较25 处理的略有降低,但两者间差异较小。35 昼间亚高温处理的植株叶中SS、SPS活性均比25 处理的植株高。亚高温处理的叶中SPS活性一直是处理时期越早,SPS活性越高,但两者间差别较小。

从图2还可以看出,随着番茄果实的发育,果实内AI、NI活性逐渐升高,在果实成熟时达到最高;SS、SPS活性在果实发育过程中呈下降趋势。开花时和花后10 d亚高温处理的植株果实中AI、NI活性均比25 处理的有所下降,基本上是亚高温处理时间越早,转化酶活性越低。昼间亚高温处理的果实中SS活性明显升高,表现为开花时亚高温处理>花后10 d亚高温处理>25 处理。果实转色后各处理之间的差异减小。番茄果实内SPS活性较低,处理之间差异较小,但亚高温处理的果实中SPS活性稍有增高。

3 昼间亚高温对番茄叶与果实中淀粉含量的影响

从图3可以看出,亚高温处理后5 d内,番茄叶中淀粉含量下降。亚高温处理10 d后的淀粉含量开始升高,开花25 d后各处理之间的叶中淀

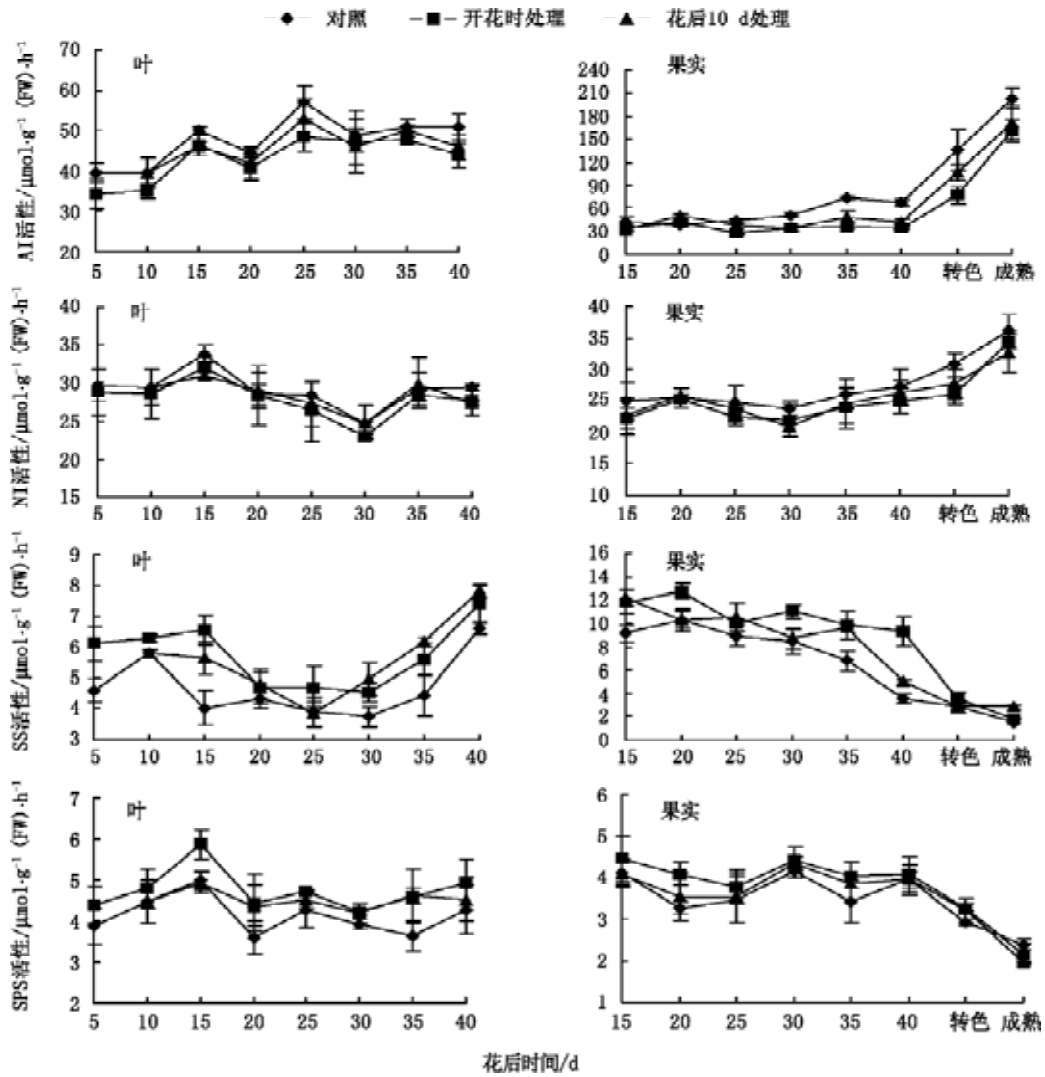


图2 昼间亚高温对番茄叶与果实中蔗糖代谢相关酶活性的影响

Fig.2 Effect of sub-high temperature on sucrose -metabolizing enzyme activities in tomato leaves and fruits

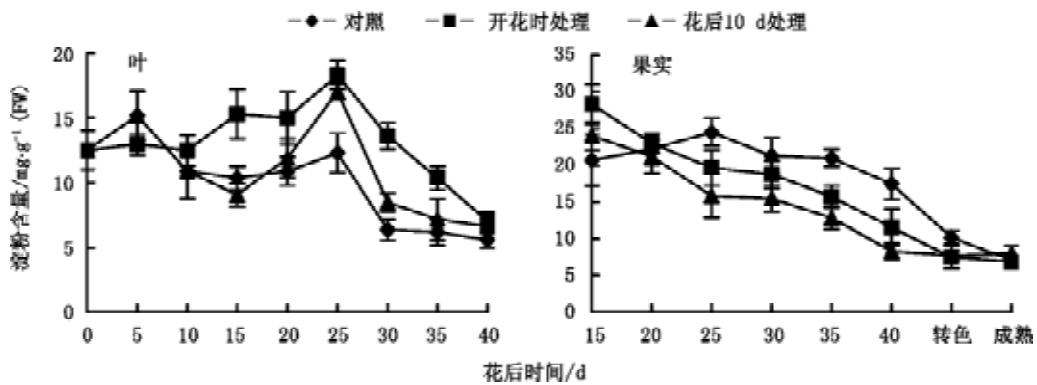


图3 昼间亚高温对番茄叶和果实中淀粉含量的影响

Fig.3 Effect of sub-high temperature on starch contents in tomato leaves and fruits

粉含量均迅速下降,但仍表现为开花时亚高温处理>花后10 d亚高温处理>25℃处理。番茄果实中的淀粉含量随着果实的发育先升高后逐渐减少(图3)。开花时处理与花后10 d处理的果实中淀粉含量均在花后15 d达到最大值;而25℃处理则在花后25 d时达到最大值,之后缓慢下降,成熟前的果实中淀粉含量一直高于亚高温处理的。但在果实成熟时各处理的果实中淀粉含量均达到最低值,处理之间基本上不存在差异。

参考文献

- 陈俊伟, 张良诚, 张上隆(2000). 果实中的糖份积累机理. 植物生理学通讯, 36 (6): 497~503
- 姜晶, 李天来(2005). 番茄蔗糖代谢关键基因的分子生物学研究. 生物技术, 15 (1): 82~85
- 吕英民, 张大鹏(2000). 果实发育过程中糖的积累. 植物生理学通讯, 36 (3): 258~265
- 牛森(1994). 作物品质分析. 北京: 中国农业出版社, 224
- 齐红岩(2003). 番茄光合运转糖——蔗糖的运转、代谢及其相关影响因素的研究[博士学位论文]. 沈阳: 沈阳农业大学
- 王永章, 张大鹏(2000). 乙烯对成熟期新红星苹果果实碳水化合物代谢的调控. 园艺学报, 27 (6): 391~395
- 於新建(1985). 蔗糖合成酶、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
- 张洁, 李天来, 徐晶(2005a). 昼间亚高温对日光温室番茄光合作用及物质积累的影响. 园艺学报, 32 (2): 228~233
- 张洁, 李天来, 徐晶(2005b). 昼间亚高温对日光温室番茄生长发育、产量及品质的影响. 应用生态学报, 16 (6): 1051~1055
- 赵智中, 张上隆, 徐昌杰(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): 6~10
- Ebrahim MK, Zingsheim O, El-Shourbagy MN, Moorep PH, Komor E (1998). Growth and sugar storage in sugarcane grown at temperatures below and above optimum. J Plant Physiol, 153: 593~602
- Lafta AM, Lorenzen JH (1995). Effect of high temperature on plant growth and carbohydrate metabolism in potato. Plant Physiol, 109: 637~643
- Lorenzen JH, Lafta AM (1996). Effect of heat stress on enzymes that affect sucrose levels in potato shoots. J Am Soc Horticult Sci, 121 (6): 1152~1156
- Miron D, Schaffer AA (1991). Sucrose phosphate synthase, sucrose synthase, and invertase activities in developing fruit of *Lycopersicon esculentum* Mill. and the sucrose accumulating *Lycopersicon hirsutum* Humb. and Bonpl. Plant Physiol, 95: 623~627