

DOI:CNKI:61-1390/S. 20110810. 1014. 005

网络出版时间:2011-08-10 10:14:00

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20110810.1014.005.html>

遮阴对甜瓜果实蔗糖积累及其代谢酶活性的影响

安翠香^{1,2}, 张玉鑫^{2,3}, 杨世梅², 陈年来²

(1 西北师范大学 后勤与国有资产管理处, 甘肃 兰州 730070; 2 甘肃农业大学 农学院, 甘肃省干旱生境作物学重点实验室, 甘肃 兰州 730070; 3 甘肃省农科院 蔬菜研究所, 甘肃 兰州 730070)

【摘要】【目的】分析光照强度对果型大小不同的甜瓜果实蔗糖积累量及其代谢酶活性的影响,以期更好地理解甜瓜果实糖分积累的内在生理机制。【方法】以“玉金香”、“银帝”、“黄河蜜”3个果型大小不同的甜瓜品种为试材,分析了透光率100%(自然光照,对照)、52%(一层黑色遮阳网遮阴)、26%(一层黑色遮阳网+一层白色防虫网遮阴)3个光照水平,对甜瓜果实蔗糖积累量及其代谢酶(酸性转化酶(AI)、中性转化酶(NI)、蔗糖磷酸合成酶(SPS)、蔗糖合成酶(SS))活性变化的影响。【结果】果实发育初期,蔗糖分解酶(AI, NI)活性较高,蔗糖积累很少;随着果实发育,蔗糖分解酶活性大幅度下降,蔗糖合成酶(SS, SPS)活性逐渐升高;甜瓜果实定个后进入蔗糖快速积累期,蔗糖分解酶活性降到最低。遮阴降低了甜瓜果实蔗糖含量,52%透光率条件下,“黄河蜜”果实的蔗糖含量降幅(21.6%)显著大于“银帝”(10.1%)和“玉金香”(11.5%);26%透光率条件下,“黄河蜜”的蔗糖含量降幅(30.7%)大于“银帝”(25.8%),且二者均显著大于“玉金香”(16.7%)。遮阴对转化酶活性的影响相对较小,主要是降低了蔗糖合成酶(特别是SPS)的活性;透光率52%条件下,“玉金香”和“银帝”SPS活性分别比对照下降了18.7%和20.5%;透光率26%条件下,“银帝”的SPS活性降幅(32.7%)显著大于“玉金香”(26.2%);“黄河蜜”在2个光强水平下SPS活性降幅(30.5%和36.7%)均显著大于“银帝”和“玉金香”。【结论】蔗糖合成酶活性降低是遮阴条件下甜瓜果实蔗糖积累量减少的主要原因,SPS是甜瓜果实蔗糖积累的关键酶;遮阴条件下蔗糖积累量和代谢酶活性降低具有果型依赖性;大果型品种(“黄河蜜”) > 中果型品种(“银帝”) > 小果型品种(“玉金香”)。

【关键词】 甜瓜;光照强度;蔗糖积累;蔗糖代谢酶

【中图分类号】 S652.01

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2011)09-0167-07

Effects of light intensity on sucrose accumulation and sucrose-metabolizing enzyme activities of melon fruits

AN Cui-xiang^{1,2}, ZHANG Yu-xin^{2,3}, YANG Shi-mei², CHEN Nian-lai²

(1 Office of Logistics and State-owned Assets Administration, College of Northwest Normal University, Lanzhou, Gansu 730070, China; 2 Agricultural College, College of Gansu Agricultural University,

Gansu Provincial Key Laboratory of Aridland Crop Science, Lanzhou, Gansu 730070, China;

3 Vegetable Science Institute, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: 【Objective】The study analyzed the sucrose accumulation and the activities of sucrose-metabolizing enzymes of melon fruit under different light intensities for better understanding of the physiological mechanism of sugar accumulation in melon fruit. 【Method】Three cultivars of *Cucumis melo* L. with different fruit sizes (Yujinxiang, Yindi and Huanghemi) were employed to study the effects on sucrose accumulation and the changes of sucrose-metabolizing enzymes activities of melon fruit under three levels of

* [收稿日期] 2010-12-01

[基金项目] 甘肃省干旱生境作物学重点实验室开放基金资助项目(2010-006)

[作者简介] 安翠香(1982—),女,山西寿阳人,硕士,主要从事蔬菜栽培生理研究。E-mail:ancuixiang11@163.com

[通信作者] 陈年来(1962—),男,甘肃民勤人,教授,博士生导师,主要从事蔬菜栽培生理和植物生态学研究。

E-mail:chenlnl@gsau.edu.cn

light intensities (26%, 52% and 100% of natural light respectively). 【Result】 The results showed that the activities of sucrose decomposing enzyme increased at early stages of fruit development, but sugar didn't accumulate much. With the development of fruits, the activities of sucrose decomposing enzymes rapidly decreased, the activities of sucrose syntheses gradually increased; While sucrose rapid accumulation took place at later stage, the activities of sucrose decomposing enzyme were at a minimum. Shading reduced the sucrose content. Under 52% light intensity, the sucrose content decrease percentage of Huanghemi (21.6%) was remarkably higher than that of Yindi (10.1%) and Yujinxiang (11.5%); under 26% light intensity, the sucrose content decrease percentage of Huanghemi (30.7%) was slightly higher than that of Yindi (25.8%), and they were both significantly higher than that of Yujinxiang (16.7%). Shading decreased the activities of melon sucrose metabolism enzymes, especially sucrose phosphate synthases, while the activities of invertase were affected rarely. Under 52% light intensity, the activities of sucrose phosphate synthases of Yujinxiang and Yindi decreased by 18.7% and 20.5% respectively compared to that of CK; under 26% light intensity, the decrease of sucrose phosphate synthase activity of Yindi (32.7%) was remarkably higher than that of Yujinxiang (26.2%); Under the two shading levels, the activities of sucrose phosphate synthase in Huanghemi decreased by 30.5% and 36.7% respectively compared to that of CK, and the decrease rates were significantly greater than that of Yindi and Yujinxiang. 【Conclusion】 Sucrose phosphate synthase was the key enzyme of sucrose accumulation in melon fruit and the decrease of sucrose synthase activity was the main reason of sucrose accumulation reduction under shading condition. The decrease percentage of sucrose accumulation and the sucrose-metabolizing enzyme activities positively depended on melon fruits size.

Key words: *Cucumis melo* L.; light intensity; sucrose accumulation; sucrose-metabolizing enzymes

随着人们生活水平的不断提高,市场对反季节果品的需求逐年增加,从而促进了瓜果蔬菜反季节栽培的发展^[1]。光照不仅影响植物的生长发育进程^[2]和光合产物积累^[3],还影响果实的品质^[4],因此,弱光成为限制甜瓜设施生产中产量和品质提高的主要因素之一。

甜瓜果实的品质主要取决于甜瓜果实的糖分含量,且诸多研究表明,与蔗糖代谢和积累密切相关的酶主要有酸性转化酶(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)^[5]。在高等植物中,转化酶催化蔗糖分解为单糖,SS既能催化蔗糖合成又能催化蔗糖分解,SPS则被认为是催化蔗糖合成的主要酶^[6]。有关这几种酶在柑橘、甜瓜、番茄、荔枝、苹果等多种果实糖代谢中作用的研究相对较多,不同作物、不同品种中糖代谢相关酶的活性也不尽相同^[7]。乔永旭等^[8]在甜瓜的研究中发现,AI和NI活性的变化对甜瓜果实中糖的积累和构成具有重要影响,而SS的作用较小,SPS活性升高与成熟期甜瓜果实中蔗糖的积累相一致。在猕猴桃果实成熟阶段,葡萄糖和果糖积累迅速,SPS活性增加,AI活性下降,蔗糖积累;至果实软化后期,SPS活性降低,蔗糖含

量下降^[9]。

目前,针对蔗糖代谢相关酶的活性与果实蔗糖积累之间的关系已有不少研究,然而有关遮阴条件下,甜瓜果实蔗糖积累与代谢酶活性的研究还鲜见报道。为此,本试验以果型大小不同的3个甜瓜品种为试材,探究不同光照强度下,果实发育过程中蔗糖含量、蔗糖代谢相关酶活性的变化及其相互关系,以期更好地理解甜瓜果实糖分积累的内在生理机制,为设施条件下反季节生产优质高产甜瓜提供科学的理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料与试验设计

试验于2007—2008年夏季在甘肃省民勤县进行,以“黄河蜜”、“银帝”、“玉金香”3个甘肃厚皮甜瓜主栽品种为试验材料。“黄河蜜”为大果型中晚熟品种,“银帝”是中果型中熟品种,“玉金香”是小果型早中熟品种^[10]。试验共设3个光照处理,每个处理重复3次,处理Ⅰ为自然光照(对照),透光率为100%;处理Ⅱ为一层黑色遮阳网遮阴,透光率为52%;处理Ⅲ在处理Ⅱ的基础上再加一层白色防虫网,透光率为26%;每个处理四周设有2 m宽的保护行。试验田的肥水管理、植株的整枝方式等与当

地商业性生产田相同。

遮阴处理在甜瓜开花前 1 周开始,遮阴网架设高度约 1 m,使网下空气湿度和温度与周边基本一致。植株开花期开始挂牌标记,选取植株生长整齐一致、子房发育正常的当日花挂牌。花后 1 周开始采样,以后每隔 1 周采样 1 次,直至果实成熟。取样时间为上午 10:00,选取同一天挂牌标记、大小一致的果实,分蒂果肉(靠近蒂部的中果肉)、中果肉(果实纵向中部的中果肉)、脐果肉(靠近果实脐部的中果肉)3 个部位,参照张明方等^[11]的取样方法,用打孔器从外向内打取果肉圆柱,切取圆柱中间果肉作为样品,每个重复采摘 5 个瓜,用纱布包裹后置于液氮罐中带回实验室,用于各项指标的测定。

1.2 测定指标及方法

1.2.1 糖提取 称取果肉组织 0.5 g,磨碎后倒入 25 mL 刻度离心管内,加入 4 mL 体积分数 80% 的酒精,置于 80 ℃ 水浴中搅拌 40 min,离心,收集上清液。重复提取 2 次,合并上清液。向上清液中加入 10 mg 活性炭,80 ℃ 脱色 30 min,定容至 10 mL,过滤后取滤液用于测定蔗糖含量^[12]。

1.2.2 蔗糖含量测定 按照 3,5-二硝基水杨酸法测定还原糖含量^[13]。取提取液 2 mL 置于 20 mL 试管中,加入 6 mol/L 盐酸溶液 2 mL 摇匀;在 55 ℃ 水浴中加热 10 min,冷却后加入酚酞指示剂 1 滴,以 100 g/L 氢氧化钠溶液中和至溶液呈微红色,加蒸馏水定容至 10 mL,按照还原糖的测定方法测得总还原糖含量,依下式计算蔗糖含量:

蔗糖含量/(mg · g⁻¹)=(总还原糖含量-水解前还原糖含量)×0.95。

式中,系数 0.95 是由于蔗糖水解时吸收了 1 分子水,转化前的蔗糖含量相当于水解以后总还原糖含量的 0.95 倍。

1.2.3 酶活性测定 AI、NI、SS、SPS 的提取和活性测定,参照 Lowell 等^[14]的方法。

2 结果与分析

2.1 遮阴对甜瓜果肉蔗糖积累量的影响

由图 1 可知,甜瓜果实中的蔗糖积累主要集中在果实成熟期。3 个供试品种果实生育期内蔗糖积累动态有一定差异,从对照处理来看,“玉金香”从花后 28 d 开始蔗糖积累明显加快,花后 28~42 d 为蔗糖快速积累期,日均增长量达到 4.09 mg/g;“银帝”果实蔗糖开始明显积累的时间比“玉金香”晚 7 d,蔗糖快速积累期为花后 35~49 d,期间日均蔗糖积累量为 3.66 mg/g,最终蔗糖积累量(88.89 mg/g)显著低于“玉金香”(99.47 mg/g);“黄河蜜”果实蔗糖明显积累开始于花后 42 d,较“银帝”又晚了 7 d,快速积累期(采前 7 d)蔗糖日均积累量为 4.19 mg/g,最终蔗糖含量(80.09 mg/g)低于“银帝”,显著低于“玉金香”。遮光处理后,3 个品种的蔗糖含量均有所降低,透光率 52% 条件下,“玉金香”和“银帝”果实蔗糖含量降幅相当,分别比对照降低了 11.5% 和 10.1%;而透光率 26% 条件下,“银帝”的蔗糖含量降低幅度(25.8%)明显大于“玉金香”(16.7%);“黄河蜜”果实在 2 个遮光处理下蔗糖含量的降低幅度(分别为 21.6 % 和 30.7 %)显著大于“玉金香”和“银帝”。

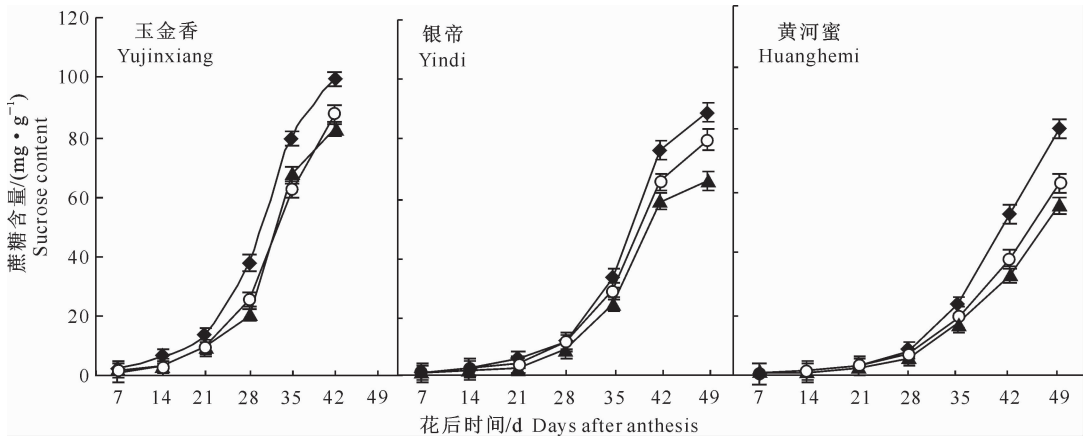


图 1 遮阴对甜瓜果实蔗糖含量的影响
—◆—对照;—○—透光率 52%;—▲—透光率 26%

Fig. 1 Effect of light intensity on sucrose content in mesocarpof melon fruit
—◆—Congtrast;—○—52% of natural sun light;—▲—26% of natural sun light

2.2 遮阴对甜瓜果实 AI 活性的影响

由图 2 可知,在果实整个发育期,3 个甜瓜品种果实 AI 活性的变化趋势基本一致:果实发育初期, AI 呈逐渐升高的趋势,于花后 14 或 21 d(“玉金香”在花后 14 d,“银帝”、“黄河蜜”在花后 21 d)酶活性达到最大值,之后开始逐渐下降,直至果实成熟。品种间比较来看,“玉金香”AI 的活性峰值(18.4

$\mu\text{mol}/(\text{g}\cdot\text{h})$)显著低于“银帝”(24.7 $\mu\text{mol}/(\text{g}\cdot\text{h})$)和“黄河蜜”(25.4 $\mu\text{mol}/(\text{g}\cdot\text{h})$),而“银帝”和“黄河蜜”间的差异不显著。遮光处理后,除透光率 52% 条件下“银帝”果实的 AI 活性显著高于对照外,其他遮光处理均未显著影响甜瓜果实中 AI 活性的变化,但相对推后了酶活性峰值出现的时间,比对照约晚 7 d。

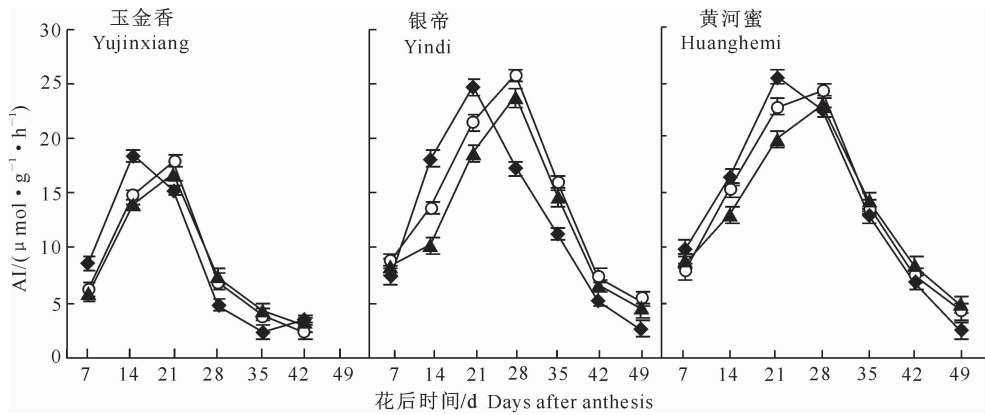


图 2 遮阴对甜瓜果实酸性转化酶(AI)活性的影响

—◆—对照;—○—透光率 52%;—▲—透光率 26%

Fig. 2 Effect of light intensity on AI activity of melon fruit

—◆—Congtrast;—○—52% of natural sun light;—▲—26% of natural sun light

2.3 遮阴对甜瓜果实 NI 活性的影响

由图 3 可知,甜瓜果实中 NI 活性的变化趋势与 AI 的基本相似,均先增高后降低,直至果实成熟,但果实定个前,NI 活性低于同期果实中 AI 活性。从品种间的比较来看,“银帝”和“黄河蜜” NI 活性峰值出现的时间比 AI 的晚 7 d,且“玉金香”、“银帝”、“黄河蜜”3 个甜瓜品种的 NI 活性峰值(分别为 14.2,15.1 和 14.9 $\mu\text{mol}/(\text{g}\cdot\text{h})$)差异不显著。遮

光处理推后了“玉金香”NI 活性峰值的出现,但对“银帝”和“黄河蜜”没有影响;另外,遮阴显著降低了“银帝”、“黄河蜜”甜瓜果实的 NI 活性峰值,在透光率 52% 和 26% 水平下,“银帝”和“黄河蜜”的 NI 活性峰值分别比对照下降了 16.6%,11.9% 和 12.8%,16.15%,降低幅度均显著大于“玉金香”的,而“玉金香”遮光处理后,NI 活性峰值与对照相比差异不显著。

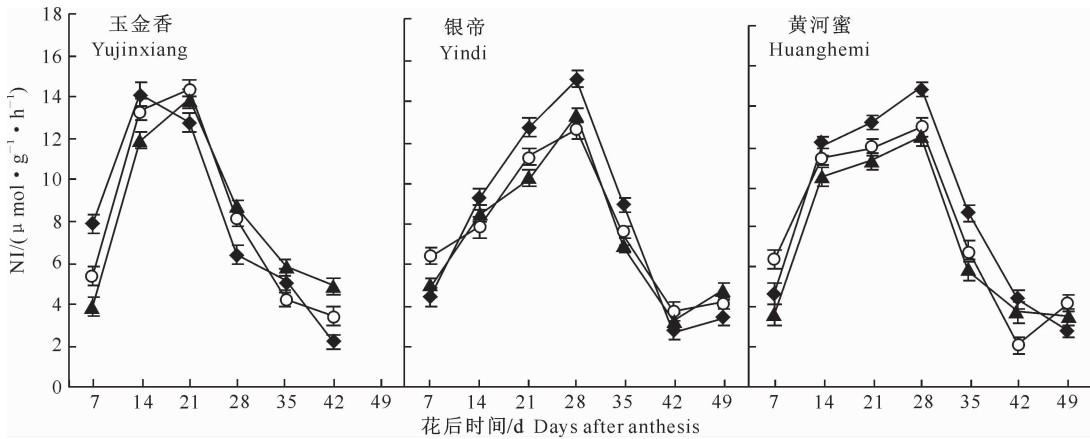


图 3 遮阴对甜瓜果实中性转化酶(NI)活性的影响

—◆—对照;—○—透光率 52%;—▲—透光率 26%

Fig. 3 Effect of light intensity on NI activity of melon fruit

—◆—Congtrast;—○—52% of natural sun light;—▲—26% of natural sun light

2.4 遮阴对甜瓜果实 SPS 活性的影响

从图 4 可以看出,在甜瓜果实整个发育期,3 个甜瓜品种的 SPS 活性变化趋势一致,即先降低后升高,直至果实成熟。“玉金香”SPS 活性在花后 14 d 降到最低,而“银帝”和“黄河蜜”在花后 21 d 降到最低,与 AI 活性峰值出现的时间点相同,SPS 活性的变化趋势与蔗糖含量的基本相一致。果实成熟时,“玉金香”、“银帝”和“黄河蜜”的 SPS 活性最大值分别为 29.4、27.8 和 26.7 $\mu\text{mol}/(\text{g}\cdot\text{h})$,品种间差异

不显著。遮阴条件下,3 个甜瓜品种的 SPS 活性均有所降低,透光率 52% 条件下,“玉金香”和“银帝”的 SPS 活性分别较对照下降了 18.7% 和 20.5%,品种间降低幅度的差异不显著;透光率 26% 条件下,“银帝”的降低幅度(32.7%)显著大于“玉金香”(26.2%);而“黄河蜜”的 SPS 活性在 2 个遮光水平下分别较对照下降了 30.5% 和 36.7%,降幅均显著大于“银帝”和“玉金香”。

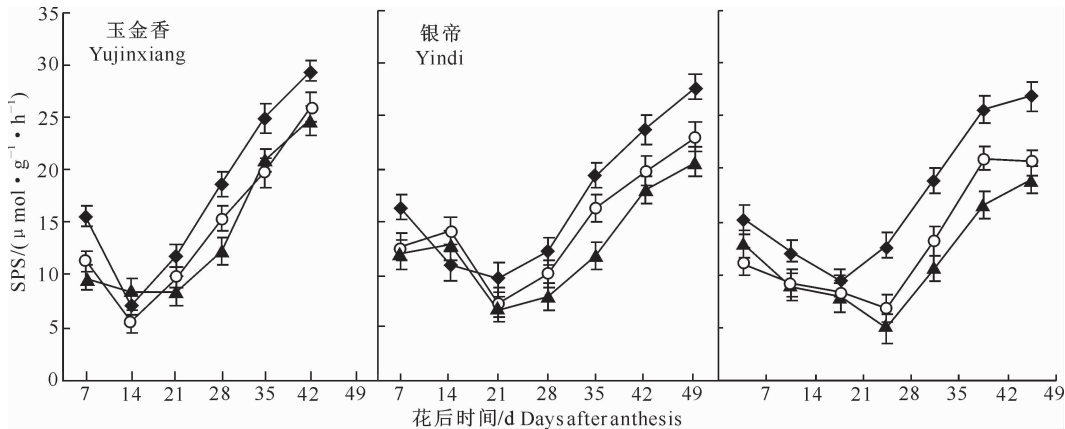


图 4 遮阴对甜瓜果实蔗糖磷酸合成酶(SPS)活性的影响
—◆—对照;—○—透光率 52%;—▲—透光率 26%

Fig. 4 Effect of light intensity on SPS activity of melon fruit

—◆—Contrast;—○—52% of natural sun light;—▲—26% of natural sun light

2.5 遮阴对甜瓜果实 SS 净合成活性的影响

SS 的作用分合成方向(SS-S)和分解方向(SS-C),本试验对其分别进行了测定,结果表明,果实发育前期 SS 的分解活性很高,随着果实的发育,分解活性逐渐降低,直到果实成熟;而合成活性在快速降到最低点后,缓慢升高。从品种间比较来看,“银帝”

和“黄河蜜”分解活性的下降趋势较“玉金香”平缓,而“玉金香”的合成活性降到最低点的时间比“银帝”和“黄河蜜”早 7 d,即“玉金香”的 SS 净合成活性(合成方向的 SS 减去分解方向 SS)比“银帝”和“黄河蜜”约早 7 d 出现(图 5)。

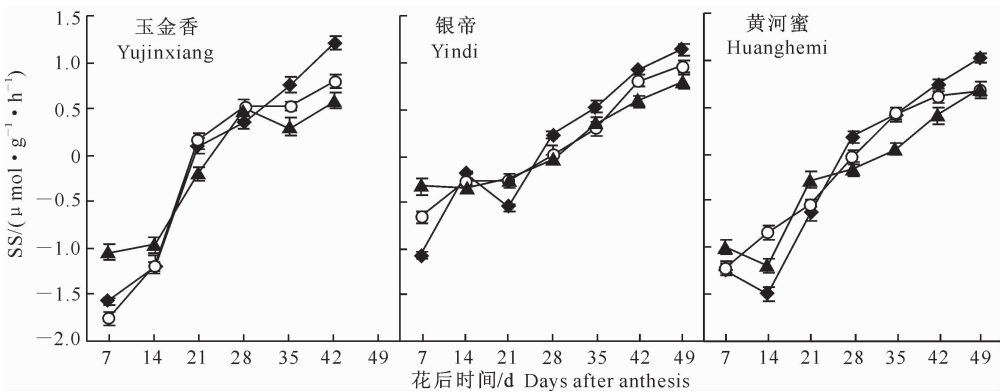


图 5 遮阴对甜瓜果实蔗糖合成酶(SS)净合成活性的影响
—◆—对照;—○—透光率 52%;—▲—透光率 26%

Fig. 5 Effect of light intensity on SS activity of melon fruit

—◆—Contrast;—○—52% of natural sun light;—▲—26% of natural sun light

由图 5 可知,在果实整个发育期,3 个甜瓜品种 SS 活性的变化趋势一致,即随着果实的成熟,SS 净合成活性增加,至果实成熟时,“玉金香”、“银帝”和“黄河蜜”的 SS 净合成活性值分别为 1.22、1.14 和 1.03 $\mu\text{mol}/(\text{g} \cdot \text{h})$,差异不显著。遮阴降低了 SS 的合成活性和分解活性,最终使 SS 的净合成活性降低。在透光率 52% 条件下,“玉金香”和“银帝”SS 的净合成活性分别较对照降低了 13.9% 和 15.8%,显著低于“黄河蜜”(24.3%) 的降低幅度;在透光率 26% 条件下,“银帝”和“黄河蜜”的降低幅度分别为 26.3% 和 28.2%,差异不显著,但均显著大于“玉金香”的降幅(20.5%)。

3 讨 论

含糖量是衡量甜瓜品质的主要指标之一,蔗糖的积累是甜瓜果实糖分提高的重要原因^[15],甜瓜果实中蔗糖积累的差异决定了果实中糖分积累量的高低,并由此决定果实的品质。蔗糖的积累除受环境条件影响外,还受自身蔗糖代谢酶活性的调节。

本试验中,在果实发育初期,各品种甜瓜果实中的转化酶活性较高,这与 Hayata 等^[16]的研究结论一致,品种间 NI 活性差异不显著,而“银帝”和“黄河蜜”果实中差异不显著的 AI 活性却显著高于“玉金香”,且在果实定个前,果实中细胞分裂旺盛,细胞数目迅速增加,果实体积快速膨大^[17],果实中的蔗糖积累量很少,合成的蔗糖被高活性的蔗糖分解酶(转化酶、蔗糖合成酶的分解方向)分解为单糖和尿苷二磷酸葡萄糖(UDPG),为细胞分裂、呼吸消耗以及植株旺盛生长提供了能量^[18]。遮阴处理后,除“银帝”的 AI 活性在适度遮光下有所升高外,其他各品种甜瓜果实处理间 AI 活性差异并不显著。可见,果实中 AI 活性的高低主要由遗传因素决定,受外界环境的影响相对较小。当果实发育进入蔗糖迅速积累期时,转化酶的活性降到较低水平,有人把蔗糖积累的转折点作为转化酶活性降至检测线之下的时间点,并认为转化酶活性的降低对甜瓜果实中蔗糖的积累具有重要影响,是蔗糖积累的前提^[8-9]。当果实中蔗糖开始积累时,蔗糖合成酶活性逐渐升高,蔗糖积累与 SPS 和 SS 合成方向的活性呈正相关^[19],本试验结果与前人结论一致。在蔗糖快速积累期,SS 活性相对较高,只是各甜瓜品种果实中的 SPS 和 SS 活性差异均不显著,且遮光处理显著降低了果实中合成酶的活性,只是各光照水平下降降低的幅度不尽相同,遮光使 SPS 活性的降低幅度尤为明

显,说明 SPS 是甜瓜果实中蔗糖积累量的关键酶,且甜瓜果实中糖分积累量的高低主要由源器官供给库器官光合产物的多少所决定。

由此可见,果实定个前,果实中高 AI 活性分解蔗糖为果实的膨大提供了所需的能量,且 AI 活性受外界环境影响较小,主要由遗传因素决定,即果实个大小的形成主要由自身库活性的大小所决定。当蔗糖开始大量积累时,转化酶活性快速降低,是蔗糖积累的前提,而果实中蔗糖的积累主要由 SPS 活性的高低所决定,但其活性的高低并非由遗传因素决定,而主要受环境的影响。因此,当源器官供应充足时,果实中糖分积累的高低由库器官的库容量所决定;而当源器官受限、有限的光合产物供库器官吸收利用时,库活性的高低才是决定果实中糖分积累的关键。

遮阴对 3 个甜瓜品种蔗糖代谢酶活性的影响程度并非完全一致,小果型“玉金香”较耐弱光;中果型“银帝”适应性强,能够在生长发育过程中逐步适应弱光条件;大果型“黄河蜜”喜光性较强,对遮光处理最为敏感。各甜瓜品种的需光特性决定了品种间蔗糖代谢酶活性的差异,说明影响蔗糖积累的蔗糖代谢酶活性主要由品种基因型决定。张明方等^[11]也发现,甜瓜果实蔗糖积累水平和蔗糖代谢相关酶活性变化存在明显的基因型间差异。但光照强度对不同基因型甜瓜果实蔗糖代谢酶活性的影响还有待从基因水平上进一步研究,以促进甜瓜果实蔗糖的积累,从分子水平上为甜瓜品种的改良奠定基础,为今后的反季节弱光栽培及优质甜瓜生产提供科学的理论依据。

[参考文献]

- [1] 宋仁平,毛永民,申莲英.果树设施栽培研究进展[J].河北农业大学学报,2003,26(增刊):79-82.
Song R P, Mao Y M, Shen L Y. Fruit trees facility cultivation research development [J]. Journal of Agricultural University of Hebei, 2003, 26 (Supplement): 79-82. (in Chinese)
- [2] 马光恕,廉 华,闫明伟.不同覆盖材料对大棚内番茄生长发育的影响[J].吉林农业科学,2002,27(4):41-43.
Ma G S, Lian H, Yan M W. Different mantle material to shed within the influence of tomato growth [J]. Journal of Jilin Agricultural Sciences, 2002, 27(4): 41-43. (in Chinese)
- [3] 刘立侠. 光质对人参叶绿体结构和光合生理性状的影响[J].植物学报,1993,25(8):588-592.
Liu L X. Light confrontation ginseng chloroplast structure and photosynthesis physiology character influence [J]. Plant Journal, 1993, 25(8): 588-592. (in Chinese)

- [4] Kasperbauer M J. Strawberry yield over red versus black plastic mulch [J]. *Crop Sci*, 2000, 40: 171-174.
- [5] 潘腾飞, 李永裕, 邱栋梁. 果实品质形成的分子机理研究进展 [J]. *亚热带植物科学*, 2006, 35(1): 81-84.
Pan T F, Li Y Y, Qiu D L. A review of molecular mechanism during the formation of fruit quality [J]. *Subtropical Plants Science*, 2006, 35(1): 81-84. (in Chinese)
- [6] 常尚连, 于贤昌, 于喜艳. 西瓜果实发育过程中糖分积累与相关酶活性的变化 [J]. *西北植物学报*, 2006, 15(3): 138-141.
Chang S L, Yu X C, Yu X Y. Change of sugar accumulation and related enzyme activity during fruit development of watermelon [J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2006, 15(3): 138-141. (in Chinese)
- [7] 刘慧英, 朱祝军, 钱琼秋, 等. 砧木对小型早熟西瓜果实糖代谢及相关酶活性的影响 [J]. *园艺学报*, 2004, 31(1): 47-52.
Liu H Y, Zhu Z J, Qian Q Q, et al. The effects of different rootstocks on the sugar metabolism and related enzyme activities in small and early-maturing watermelon during fruit development [J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2004, 31(1): 47-52. (in Chinese)
- [8] 乔永旭, 刘栓桃, 赵智中, 等. 甜瓜果实发育过程中糖积累与蔗糖代谢相关酶的关系 [J]. *果树学报*, 2004, 21(5): 447-450.
Qiao Y X, Liu S T, Zhao Z Z, et al. Study on the correlation of sugar accumulation and sucrose-metabolizing enzymes during the developing period of muskmelon [J]. *Journal of Fruit Science*, 2004, 21(5): 447-450. (in Chinese)
- [9] 张玉, 陈昆松, 张上隆. 猕猴桃果实采后成熟过程中糖代谢及其调节 [J]. *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. Sugar metabolism and its regulation in postharvest ripening kiwifruit [J]. *Journal of Plant Physiology and Molecular Biology*, 2004, 30(3): 317-324. (in Chinese)
- [10] 马克奇, 陈年来, 王 鸣. 甜瓜优质高产栽培的理论与实践 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2001: 7-8.
Ma K Q, Chen N L, Wang M. The theory and practice of high yield cultivation of melon fruit [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2001: 7-8. (in Chinese)
- [11] 张明方, 李志凌, 钱琼秋, 等. 网纹甜瓜发育果实糖分积累和蔗糖代谢参与酶的关系 [J]. *植物生理与分子生物学学报*, 2003, 29(5): 455-462.
Zhang M F, Li Z L, Qian Q Q, et al. The relationship between sugar accumulation and enzymes related to sucrose metabolism in developing fruits of muskmelon [J]. *Journal of Plant Physiology and Molecular Biology*, 2003, 29(5): 455-462. (in Chinese)
- [12] 汤章城. 现代植物生理学实验指南 [M]. 北京: 科学出版社, 1999: 126-127.
Tang Z C. The guide of modern plant physiology experiments [M]. Beijing: Science Press, 1999: 126-127. (in Chinese)
- [13] 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: 194-200.
Li H S. Plant physiology and biochemistry experiment principle and technology [M]. Beijing: Higher Education Press, 2000: 194-200. (in Chinese)
- [14] Lowell C A, Tomlinson P T, Koch K E. Sucrose-metabolizing enzymes in transport tissue and adjacent sink structures in developing citrus fruit [J]. *Plant Physiology*, 1989, 90: 1394-1402.
- [15] Lester G E, Dunlap J R. Physiological changes during development and ripening of 'Perlita' muskmelon fruits [J]. *Hortic Sci*, 1985, 26: 323-331.
- [16] Hayata Y, Li X X, Osajima Y. Sucrose accumulation and related metabolizing enzyme activities in seeded and induced parthenocarpic muskmelons [J]. *J Am Soc Hortic Sci*, 2001, 126: 676-680.
- [17] 安翠香, 冯建明, 王 锐, 等. 光照强度对不同品种甜瓜果实大小发育的影响 [J]. *甘肃农业大学学报*, 2008(6): 63-67, 80.
An C X, Feng J M, Wang R, et al. The effects of light intensity on the growth and fruit development size of muskmelon [J]. *Journal of Agricultural University of Gansu*, 2008(6): 63-67, 80. (in Chinese)
- [18] 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.
Zhao Z Z, Zhang S L, Xu C J, et al. Roles of sucrose-metabolizing enzymes in accumulation of sugars in Satsuma Mandarin fruit [J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2001, 28(2): 112-118. (in Chinese)
- [19] 徐传强, 李天来, 齐红岩. 嫁接对网纹甜瓜果实发育、糖含量及蔗糖代谢相关酶活性的影响 [J]. *园艺学报*, 2006, 33(4): 773-778.
Xu C Q, Li T L, Qi H Y. Effects of grafting on development, sugar content and sucrose-metabolizing enzymes of melon fruit [J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2006, 33(4): 773-778. (in Chinese)