

嫁接砧木对西瓜果实糖分积累及蔗糖代谢相关酶活性的影响

孟文慧, 张 显, 罗 婷

(西北农林科技大学 园艺学院, 陕西 杨凌 712100)

【摘 要】 【目的】研究在果实发育过程中嫁接西瓜糖分积累及蔗糖代谢相关酶活性的变化, 探讨不同砧木影响果实品质的机理。【方法】采用优质中小型西瓜早佳为接穗和对照, 丝瓜、南瓜(铁木真)、葫芦(昌砧力士 F₁)、野生西瓜 1 号、野生西瓜 2 号为砧木, 测定嫁接和对照西瓜果实在发育过程中果糖、葡萄糖、蔗糖的含量以及与蔗糖积累相关酶的活性。【结果】与对照相比, 野生西瓜 2 号/早佳组合的果实糖积累显著增高, 而其他嫁接组合的糖积累均降低, 丝瓜/早佳组合的果实糖含量最低; 自根和嫁接西瓜果实发育过程中蔗糖转化酶(Inv)活性降低, 蔗糖磷酸合酶(SPS)活性升高, 蔗糖合酶(SS)在西瓜果实发育后期主要起合成作用, 促进果实蔗糖积累, 蔗糖代谢相关酶净活性值增大。在整个果实发育过程中, Inv、SPS、SS 共同作用于嫁接西瓜和自根西瓜果实的糖分积累及构成; 嫁接和对照西瓜果实以己糖积累为主, 蔗糖积累为辅。【结论】砧木不同, 西瓜果实的糖分积累量也不同, 其中野生西瓜 2 号对早佳西瓜品质影响最小, 可以作为优良的嫁接砧木在生产实践中应用。

【关键词】 砧木; 西瓜; 糖分积累; 蔗糖转化酶; 蔗糖磷酸合酶; 蔗糖合酶

【中图分类号】 S651.01

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2009)03-0127-06

Influences of rootstocks on the sugar accumulation and activities of sucrose metabolism related enzymes in *Citrullus lanatus* by grafting

MENG Wen-hui, ZHANG Xian, LUO Ting

(College of Horticulture, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: 【Objective】 The sugar accumulation, changes of activities of sucrose-metabolism related enzymes and the mechanism of the effects on fruit quality by grafting were all studied in this research. 【Method】 Zaojia was taken on the CK, and wild watermelon 1 and 2, pumpkin (Tiemuzhen), calabash (Chang-zhanlishi F₁) and loofah were used as five different rootstocks. Then, fructose, glucose, sucrose and the activities of sucrose-metabolism related enzymes were all determined. 【Result】 Compared with the ck, the sugar accumulation increased extremely significant by grafting with the wild watermelon 2, but that of the other treatments all decreased and the sugar accumulation of loofah/Zaojia was the lowest. The sucrose invertase activity decreased; the activities of sucrose phosphate synthase and net for sucrose-metabolism enzymes all increased during the development of own-rooted and grafted watermelons. During the whole fruit development including own-rooted and grafted watermelon fruits, the invertase, sucrose phosphate synthase and sucrose synthase together acted on sugar accumulation and constitution, and accumulation of hexose sugar was more than sucrose accumulation in grafted and owned-rooted watermelons. 【Conclusion】 Differ-

* [收稿日期] 2008-04-11

[基金项目] 国家“十一五”科技支撑计划项目(2006BAD01A7-6-07)

[作者简介] 孟文慧(1983—), 女, 内蒙古和林格尔人, 硕士, 主要从事蔬菜育种与生物技术研究。

E-mail: mengwenhui2005@126.com

[通信作者] 张 显(1961—), 男, 陕西扶风人, 教授, 博士, 主要从事蔬菜育种与生物技术研究。E-mail: zhangxian@nwsuaf.edu.cn

ent rootstocks had different sugar contents in watermelons, the wild watermelon 2 made the smallest effects on fruit quality, and the sucrose synthase played the important role in promoting sugar accumulation in the latter part of the developing fruits. So it can be used as a good rootstock in the field.

Key words: rootstock; watermelon; sugar accumulation; invertase; sucrose phosphate synthase; sucrose synthase

西瓜嫁接栽培是克服西瓜重茬障碍、预防西瓜枯萎病、提高产量的一项有效措施,而适宜的嫁接砧木是提高嫁接成活率、保证西瓜品质和产量的关键因素^[1]。目前,关于嫁接西瓜的生长特性及耐冷、耐盐、抗病性的研究较多,但是关于嫁接影响西瓜果实品质生理机制的研究较少。本研究以西瓜品种早佳自根苗为对照,对嫁接西瓜果实发育过程中的糖积累进行了系统分析,并在此基础上,从生理学的角度,探讨了蔗糖代谢相关酶对西瓜果实中糖积累的作用,以期对嫁接影响果实品质的机理研究奠定基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

接穗为优质小型西瓜早佳,由新疆农科院蔬菜研究所提供。

砧木为丝瓜(*Luffa cylindrica* (L.))、南瓜(*Cucurbita moschata*) (铁木真)、葫芦(*Lagenaria siceraria* var. *hispida*) (昌砧力士 F₁)、野生西瓜 1 号、野生西瓜 2 号。丝瓜由山东省宁阳市鲁阳蔬菜种子有限公司提供,为当地菜农广泛使用的栽培品种,其与西瓜嫁接亲和性强^[2]。铁木真和昌砧力士 F₁,均由山东省昌邑市砧木研究所提供。野生西瓜 1 号(美国食用西瓜与引进非洲野生西瓜 [*C. lanatus*ssp. *lanatus*var. *caffer* (Schrad) Mansf.]杂交一代种子)和野生西瓜 2 号(美国食用西瓜与陕西榆林野生西瓜(var. *citroides*)杂交一代种子),均由西北农林科技大学西瓜甜瓜课题组提供。

1.2 方法

试验在陕西杨凌新天地设施大棚和西北农林科技大学园艺学院试验田中进行。试验设 5 个嫁接组合,以早佳实生苗为对照。在设施大棚中穴盘基质育苗并进行嫁接。2007-03-12 将丝瓜、葫芦、野生西瓜 1 号和野生西瓜 2 号砧木浸种催芽,03-22 将南瓜砧木和早佳接穗浸种催芽。嫁接方法采用单叶切接法。于 04-09 嫁接,在嫁接前 5 d 摘心(去除砧木的真叶),促进下胚轴增粗,有利于嫁接成活。04-27 在西北农林科技大学园艺学院试验田中定植。采用随

机区组设计,6 个处理,重复 3 次,小区面积 20 m²,每小区 25 株。定植时嫁接口要求高出地面 1~2 cm,以避免接穗发生不定根而影响嫁接效果,并随时摘除砧木上的侧芽和接穗上的不定根。

待植株开始开花时,于授粉当天选择开花日期相同、子房大小相近、坐果节位较一致的植株进行挂牌标记。分别于花后 10,16,22,28,33 d,取果实心部果肉组织测定果糖、葡萄糖、蔗糖含量及蔗糖酸性转化酶(AI)、蔗糖碱性转化酶(NI)、蔗糖磷酸合酶(SPS)、蔗糖合酶(SS)活性。每处理选 3 个西瓜分别取样,试验重复 3 次。

1.3 测定方法

1.3.1 糖含量的测定 参照高俊凤^[3]的方法,并加以改进。取 5 g 样品,用 5 mL 体积分数 80%乙醇研碎,于 80 ℃下浸提 30 min,4 000 r/min 离心,收集上清液,再用 5 mL 体积分数 80%乙醇清洗果渣,同样浸提、离心,取上清液,合并 2 次提取液,摇匀后取 2 mL 蒸干,残渣用 1 mL 重蒸水溶解过滤后供色谱上机用。

果糖、葡萄糖和蔗糖含量均采用高效液相色谱法(HPLC)测定。采用日本岛津液相色谱仪,色谱柱为岛津 CLC-NH₂ 柱,工作条件:柱温 40 ℃,流速 1.0 mL/min,检测器为 RID-10A 示差折光检测器,流动相为 V(乙腈):V(水)=70:30,每次进样体积为 6 μL,Class-vp 数据处理系统。根据样品峰高和各种糖的标准曲线计算糖含量。

1.3.2 酶活性的测定 酶的提取参照 Lingle 等^[4]、Hubbard 等^[5]和赵智中等^[6]的方法,在 0~4 ℃条件下进行;酶活性测定采用赵智中等^[6]的方法。

2 结果与分析

2.1 自根和嫁接西瓜果实发育过程中糖分积累的变化

从表 1 可见,对照西瓜和嫁接西瓜果肉组织中的糖含量及其构成,均随着果实的发育而变化。蔗糖含量在各嫁接处理和整个果实发育过程中一直处于上升状态,在果实发育早期(开花至授粉后 10 d),对照和嫁接西瓜果肉组织中蔗糖积累缓慢;在果实

发育的中后期(授粉后 16~33 d),各嫁接组合和对照西瓜的蔗糖含量进入快速积累期,各处理间差异极显著。

在整个果实发育过程中,各嫁接组合和对照西瓜果实中果糖和葡萄糖含量差异极显著,且变化趋势相似。丝瓜/早佳、南瓜/早佳、野生西瓜 1 号/早佳和自根西瓜于授粉后 22 d,果糖和葡萄糖含量达到峰值,授粉后 28 d 又呈上升趋势;野生西瓜 2 号/早佳组合的果糖和葡萄糖含量一直处于上升阶段,直到授粉后 33 d 达到峰值;葫芦/早佳组合的果糖含量,在授粉后 22 d 呈下降趋势直到果实成熟,而葡萄糖含量在 28 d 达到峰值后呈下降趋势。可见,

从开花到授粉后 22 d,主要是果糖和葡萄糖的积累期,此期间果糖和葡萄糖含量显著高于蔗糖含量;从授粉后 28~33 d,是野生西瓜、南瓜、丝瓜嫁接组合果实中果糖、葡萄糖和蔗糖的共同积累期,而葫芦/早佳组合果实的果糖和葡萄糖含量降低。

总体来看,在整个西瓜果实发育过程中,是以己糖积累为主,蔗糖积累为辅。在果实发育后期,对照和嫁接西瓜果肉组织中蔗糖积累仅占总糖含量 9.6%~40.7%。可溶性糖含量的积累因砧木的不同而不同,野生西瓜 2 号/早佳组合果肉组织中的糖分积累极显著高于自根西瓜,而其他嫁接组合明显低于自根西瓜。

表 1 嫁接西瓜和自根西瓜果实发育过程中糖分积累的变化

Table 1 Changes of suar accumulation in developing own-rooted and grafted watermelon fruits		mg/g				
嫁接组合 Grafting treatment	可溶性糖 Sluble sugar	授粉后时间/d Days after anthesis				
		10	16	22	28	33
丝瓜/早佳 Loofah/Zaojia	果糖 Fructose	10.37 Ff	15.75 Ff	25.79 Ff	18.98 Ff	24.30 Ee
	葡萄糖 Glucose	9.05 Ff	15.39 Ff	24.81 Ff	11.75 Ff	19.74 Ff
	蔗糖 Sucrose	0.26 Ee	0.89 Ff	2.66 Ff	5.26 Ff	6.28 Ff
	总糖 Total sugar	19.69 Ff	32.03 Ff	53.26 Ff	35.98 Ff	50.32 Ff
南瓜/早佳 Pumpkin/Zaojia	果糖 Fructose	11.90 Ee	18.57 Ee	30.03 Dd	20.68 Dd	29.15 Ff
	葡萄糖 Glucose	11.94 Ee	18.35 Ee	25.85 Ee	13.96 Ee	23.01 Dd
	蔗糖 Sucrose	0.66 Cc	1.76 Cc	4.65 Bb	6.37 Aa	7.65 Cc
	总糖 Total sugar	24.49 Ee	38.67 Ee	60.54 Ee	41.00 Dd	59.80 Ee
葫芦/早佳 Calabash/Zaojia	果糖 Fructose	13.42 Cc	21.20 Cc	37.19 Bb	36.68 Bb	32.87 Cc
	葡萄糖 Glucose	12.74 Dd	20.14 Cc	34.46 Bb	37.71 Aa	32.51 Bb
	蔗糖 Sucrose	0.66 Cc	1.80 Bb	3.46 Ee	6.16 Cc	6.94 Dd
	总糖 Total sugar	26.82 Cc	43.14 Cc	75.12 Bb	80.55 Bb	72.32 Cc
野生西瓜 1 号/早佳 Wild watermelon 1/Zaojia	果糖 Fructose	13.47 Bb	25.37 Bb	40.79 Aa	23.85 Cc	31.64 Dd
	葡萄糖 Glucose	17.53 Aa	24.71 Aa	43.17 Aa	21.12 Cc	22.74 Ee
	蔗糖 Sucrose	1.98 Aa	3.99 Aa	4.35 Cc	5.89 Dd	6.77 Ee
	总糖 Total sugar	32.98 Bb	54.07 Aa	88.31 Aa	50.86 Cc	61.15 Dd
野生西瓜 2 号/早佳 Wild watermelon 2/Zaojia	果糖 Fructose	16.61 Aa	22.22 Aa	29.13 Ee	41.58 Aa	41.63 Aa
	葡萄糖 Glucose	16.98 Bb	23.61 Bb	28.50 Dd	37.63 Bb	39.44 Aa
	蔗糖 Sucrose	0.89 Bb	1.65 Dd	5.43 Aa	6.30 Bb	12.70 Aa
	总糖 Total sugar	34.48 Aa	47.48 Bb	63.05 Dd	85.52 Aa	93.77 Aa
早佳自根苗(对照) Own-rooted seedling(CK)	果糖 Fructose	12.77 Dd	20.83 Dd	36.42 Cc	19.88 Ee	35.92 Bb
	葡萄糖 Glucose	13.07 Cc	19.47 Dd	34.13 Cc	14.68 Dd	29.17 Cc
	蔗糖 Sucrose	0.65 Dd	1.05 Ee	4.13 Dd	5.79 Ee	10.09 Bb
	总糖 Total sugar	26.49 Dd	41.35 Dd	74.68 Cc	40.34 Ee	75.18 Bb

注:同列数据标大写字母表示差异极显著,标小写字母表示差异显著。下表同。

Note: Capital letters indicated extremely significant difference and lowercase letters indicated significant difference in the same line. The same with below.

2.2 自根和嫁接西瓜果实发育过程中蔗糖代谢相关酶活性的变化

2.2.1 蔗糖转化酶活性的变化 由表 2 和表 3 可以看出,5 种嫁接组合和对照西瓜果实果肉组织中,蔗糖酸性转化酶(AI)和蔗糖碱性转化酶(NI)活性变化趋势一致,均呈下降趋势,且 AI 活性高于同期果实中的 NI 活性。各处理间 AI 和 NI 活性差异均

极显著,并与蔗糖含量变化趋势相反。在果实发育早期(开花至授粉后 16 d),对照西瓜 AI 和 NI 活性最高,到果实发育后期(授粉后 33 d),除对照和野生西瓜 1 号/早佳组合西瓜果肉组织中的 AI 活性略有升高外,其他组合的 AI 和 NI 活性均降低,其中野生西瓜 2 号/早佳组合 NI 活性最低。

表 2 嫁接西瓜和自根西瓜果实发育过程中蔗糖酸性转化酶的活性

Table 2 AI during fruit development of grafted and own-rooted watermelons $\mu\text{mol}/(\text{h} \cdot \text{g})$

嫁接组合 Grafting treatment	授粉后时间/d Days after anthesis				
	10	16	22	28	33
丝瓜/早佳 Loofah/Zaojia	24.56 Ff	22.78 Ff	17.36 Ee	6.39 Ff	5.37 Ff
南瓜/早佳 Pumpink/Zaojia	27.47 Ee	26.58 Cc	19.04 Cc	8.21 Cc	7.02 Dd
葫芦/早佳 Calabash /Zaojia	28.32 Dd	25.16 Dd	16.42 Ff	9.23 Aa	7.19 Cc
野生西瓜 1 号/早佳 Wild watermelon 1/Zaojia	30.24 Bb	29.40 Bb	19.23 Bb	8.43 Bb	10.02 Aa
野生西瓜 2 号/早佳 Wild watermelon 2/Zaojia	28.33 Cc	24.37 Ee	18.31 Dd	7.3 Dd	5.65 Ee
早佳自根苗(对照) Own-rooted seedling(CK)	32.26 Aa	30.36 Aa	20.63 Aa	7.13 Ee	9.43 Bb

表 3 嫁接西瓜和自根西瓜果实发育过程中蔗糖碱性转化酶的活性

Table 3 NI during fruit development of grafted and own-rooted watermelons $\mu\text{mol}/(\text{h} \cdot \text{g})$

嫁接组合 Grafting treatment	授粉后时间/d Days after anthesis				
	10	16	22	28	33
丝瓜/早佳 Loofah/Zaojia	21.8 Cc	13.01 Ee	10.39 Ee	7.12 Aa	6.45 Aa
南瓜/早佳 Pumpink/Zaojia	21.02 Dd	18.28 Cc	14.14 Cc	3.46 Ff	3.35 Ee
葫芦/早佳 Calabash /Zaojia	19.35 Ff	12.07 Ff	9.13 Ff	6.38 Bb	4.21 Dd
野生西瓜 1 号/早佳 Wild watermelon 1/Zaojia	22.36 Bb	18.37 Bb	15.23 Bb	5.58 Dd	5.42 Bb
野生西瓜 2 号/早佳 Wild watermelon 2/Zaojia	20.29 Ee	15.33 Dd	11.22 Dd	6.03 Cc	2.9 Ff
早佳自根苗(对照) Own-rooted seedling (CK)	23.17 Aa	20.22 Aa	16.38 Aa	5.07 Ee	5.04 Cc

2.2.2 蔗糖磷酸合酶活性的变化 由表 4 可以看出,在幼果期蔗糖磷酸合酶(SPS)活性较低,之后活性增加,直至授粉后 33 d 均呈上升趋势。SPS 活性变化与蔗糖积累趋势基本一致。其中,野生西瓜 2 号/早佳组合 SPS 活性上升最快,丝瓜/早佳组合最慢,这与野生西瓜 2 号/早佳组合果实中糖含量最高,丝瓜嫁接组合果实中糖含量最低相一致。

2.2.3 蔗糖合酶活性的变化 蔗糖合酶(SS)既可催

化蔗糖合成也可催化蔗糖分解,一般 SS 活性是 SS 合成活性与 SS 分解活性的差值。从表 5 可以看出,授粉后 22~28 d 是一个临界范围,在这个范围之前 SS 分解活性大于合成活性,SS 主要起分解作用;在这个范围之后 SS 分解活性小于合成活性,因此 SS 在西瓜果实发育后期主要起合成作用,促进果实蔗糖积累。在果实发育后期,早佳对照和野生西瓜 1 号/早佳组合的 SS 活性较高,南瓜/早佳组合的 SS 活性最低。

表 4 嫁接西瓜和自根西瓜果实发育过程中蔗糖磷酸合酶的活性

Table 4 SPS activity during fruit development of grafted and own-rooted watermelons $\mu\text{mol}/(\text{h} \cdot \text{g})$

嫁接组合 Grafting treatment	授粉后时间/d Days after anthesis				
	10	16	22	28	33
丝瓜/早佳 Loofah/Zaojia	1.828 Ee	3.110 Ff	6.014 Ff	7.808 Ee	9.356 Ff
南瓜/早佳 Pumpink/Zaojia	2.155 Dd	4.322 Cc	6.991 Bb	8.155 Dd	10.817 Cc
葫芦/早佳 Calabash /Zaojia	2.155 Dd	3.828 Ee	6.580 Dd	8.828 Bb	10.318 Ee
野生西瓜 1 号/早佳 Wild watermelon 1/Zaojia	3.297 Aa	5.437 Aa	6.318 Ee	8.155 Dd	10.502 Dd
野生西瓜 2 号/早佳 Wild watermelon 2/Zaojia	2.808 Bb	4.045 Dd	7.396 Aa	9.318 Aa	14.805 Aa
早佳自根苗(对照) Own-rooted seedling(CK)	2.318 Cc	4.621 Bb	6.971 Cc	8.297 Cc	13.296 Bb

表 5 嫁接西瓜和自根西瓜果实发育过程中蔗糖合酶的活性

Table 5 SS activity during fruit development of grafted and own-rooted watermelons $\mu\text{mol}/(\text{h} \cdot \text{g})$

嫁接组合 Grafting treatment	授粉后时间/d Days after anthesis				
	10	16	22	28	33
丝瓜/早佳 Loofah/Zaojia	-6.696 Aa	-4.634 Bb	-1.956 Bb	0.746 Dd	0.505 Ee
南瓜/早佳 Pumpink/Zaojia	-7.727 Ee	-4.726 Cc	-2.042 Dd	0.927 Cc	0.430 Ff
葫芦/早佳 Calabash /Zaojia	-7.626 Dd	-5.574 Dd	-2.979 Ff	-0.046 Ff	0.603 Dd
野生西瓜 1 号/早佳 Wild watermelon 1/Zaojia	-7.607 Cc	-4.602 Aa	-2.454 Ee	1.575 Aa	1.319 Bb
野生西瓜 2 号/早佳 Wild watermelon 2/Zaojia	-7.441 Bb	-5.712 Ff	-1.979 Cc	0.405 Ee	0.809 Cc
早佳自根苗(对照) Own-rooted seedling(CK)	-8.325 Ff	-5.585 Ee	-1.310 Aa	1.377 Bb	1.438 Aa

2.3 自根和嫁接西瓜果实中蔗糖代谢酶净活性的变化

由表 6 可以看出,在果实发育过程中,5 种嫁接

组合和对照西瓜糖含量与蔗糖代谢酶净活性呈较好的相关关系,说明蔗糖转化酶、蔗糖磷酸合酶和蔗糖合酶共同参与了果实发育过程中的蔗糖代谢途径。

在整个西瓜果实发育过程中,蔗糖合成酶类(包括 SPS 和 SS(合成方向))的活性与蔗糖分解酶类(包括 AI、NI 和 SS(分解方向))的活性差值,除野生西瓜 2 号/早佳组合在授粉后 33 d 出现正值外,其余净活性均为负值。野生西瓜 2 号/早佳组合果实发育过程中,蔗糖代谢酶的净活性一直处于领先状态,即蔗糖合成酶类活性是最高的,这与其蔗糖积累在 6 个处理中最高相一致。

表 6 嫁接西瓜和自根西瓜果实发育过程中蔗糖代谢酶净活性的变化

Table 6 Changes of net activity for sucrose-metabolism enzymes during fruit development of own-rooted and grafted watermelons

嫁接组合 Grafting treatment	蔗糖代谢酶净活性/($\mu\text{mol} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$) Activity of sucrosemetabolism enzymes					R_1	R_2
	10 d	16 d	22 d	28 d	33 d		
丝瓜/早佳 Loofah/Zaojia	−39.38	−29.59	−21.33	−7.992	−4.504	0.875	0.404
南瓜/早佳 Pumpink/Zaojia	−40.17	−37.36	−25.70	−5.985	−1.503	0.953	0.361
葫芦/早佳 Calabash/Zaojia	−39.44	−29.37	−17.54	−8.292	−3.222	0.970	0.856
野生西瓜 1 号/早佳 Wild watermelon 1/Zaojia	−43.24	−39.29	−27.24	−8.975	−7.798	0.885	0.083
野生西瓜 2 号/早佳 Wild watermelon 2/Zaojia	−39.92	−31.48	−21.70	−5.962	+3.905	0.893	0.992
早佳自根苗(对照) Own-rooted seeding(CK)	−46.34	−41.92	−30.28	−6.823	−4.154	0.867	0.256

注:蔗糖代谢酶净活性=蔗糖合成方向酶类活性−蔗糖分解方向酶类活性,蔗糖合成酶类活性=SPS+SS(合成方向),蔗糖分解酶类活性=AI+NI+SS(分解方向); R_1 :酶的净活性与蔗糖含量的相关系数; R_2 :酶的净活性与总糖含量的相关系数。

Note:Net of activity for sucrose-metabolism enzymes=activity of enzymes on sucrose synthetic direction−activity of enzymes on sucrose cleavage direction,activity of enzymes on sucrose synthesis=SPS+SS(synthetic direction),activity of enzymes on sucrose cleavage=AI+NI+SS (cleavage direction); R_1 . Correlation coefficient between the net of enzyme activity and sucrose content; R_2 . Correlation coefficient between the net of enzyme activity and total sugar content.

3 讨 论

本研究结果表明,嫁接西瓜和自根西瓜果实发育过程中,蔗糖积累及相关酶活性变化趋势是一致的,均表现为伴随着果实成熟的蔗糖积累,蔗糖转化酶(Inv)活性降低,SPS 活性升高,SS 活性也有不同程度的上升;从蔗糖代谢酶的净活性与蔗糖含量的相关系数可以看出,Inv、SPS 和 SS 共同参与了果实中的蔗糖代谢。以上结果与刘慧英等^[7]的研究结果基本相同,但 SPS 活性授粉后 28~33 d 呈上升趋势,这与其研究结果相反。这可能是由于试验当年 5~6 月份持续的阴雨低温天气,导致光照不足,果实生长发育缓慢,进而影响到果实中蔗糖代谢酶活性变化所致。

控制糖分积累的关键不是叶片的光合作用和光合产物输出的能力,而是光合产物在果实中从韧皮部卸出、卸出后的运输以及跨膜进入储藏细胞等的能力^[8-9]。葫芦科作物光合产物是以棉子糖(raffinose)和水苏糖(stachyose)的形式运输,但最终进入果实的糖分仍是蔗糖^[10]。水苏糖(蔗糖占一定比例)是甜瓜由源到库的主要运输形式^[11],之后在蔗糖代谢相关酶的作用下转变为蔗糖、果糖和葡萄糖,作为组织的构件和能量的主要来源。嫁接西瓜和自根西瓜果实中的糖分积累,是以己糖积累为主(在授

粉后 33 d 己糖占总糖的比例为 87.78%),蔗糖占总糖的比例还不到 20%。这可能与 AI 和 NI 的活性较强有关,转化酶参与韧皮部的卸出后,将蔗糖分解成果糖和葡萄糖,促进了植物生长^[12-13];Inv 也可能直接参与己糖的积累等过程^[14],致使己糖含量在嫁接果实发育后期(授粉后 28 d)有一个迅速上升的趋势;或者是 SPS 活性增加幅度较小。已有研究表明,甜瓜中随着蔗糖的积累,AI 的活性急剧下降^[15]。在蔗糖积累型果实和己糖积累型果实间惟一明显的区别是,前者缺少酸性转化酶活性,在整个蔗糖积累型果实发育期间检测不到酸性转化酶 mRNA^[16]。另外,糖代谢相关酶活性的改变也将影响果实中的糖积累及其构成。

西瓜嫁接苗是一个复合体,有别于自根苗。本研究 5 种嫁接组合中,野生西瓜 2 号/早佳组合的果实糖含量高于自根苗西瓜,其他嫁接组合果实糖含量明显降低。这可能与砧木和接穗的亲合力以及嫁接后植株的长势有关;野生西瓜 2 号嫁接亲和力和长势强于其他嫁接砧木^[2],更好地改进了植物原有的“源”与“库”的关系及一系列生理生化变化,进而表现出嫁接西瓜果实中,糖分积累高于其他嫁接西瓜和自根西瓜。

综上所述,3 种酶类均与蔗糖代谢有关,所以蔗糖代谢相关酶的综合作用对西瓜果实中蔗糖代谢和

糖分积累的影响,远较一种酶的作用更为重要。目前,关于蔗糖代谢相关酶类在嫁接西瓜果实糖代谢与积累中的作用研究还较少,并且果实糖分积累是一个非常复杂的过程,蔗糖代谢酶的调控仅是其中的一个方面。另外,蔗糖还作为细胞代谢的调节因子发挥着营养之外的作用^[17];而转化酶被认为参与了植物的生长及韧皮部卸出等过程;除此之外,水分胁迫造成的活跃渗透^[18]、矿质元素含量^[19]以及 ABA^[20]都可以调节果实中的糖积累;适当的延迟某些果实的采收期也可以改变果实中糖含量^[21]。而嫁接西瓜是否因为与接穗的亲性和根系的改变而导致一系列生理生化变化,进而影响光合产物在果实韧皮部的卸出、卸出后的运输以及糖跨膜进入储藏细胞的能力,还有待更进一步深入的研究。此外,砧木品种的不同以及植株成长过程的逆境(如持续低温、阴雨天气等),对嫁接西瓜果实中糖分积累和糖构成比例的影响机理,也有待进一步研究。

〔参考文献〕

- [1] 吉加兵. 日本西瓜嫁接栽培技术的发展及研究概况[J]. 中国蔬菜, 1993(2): 56-58.
Ji J B. The development of cultural technology and a survey of study on Japanese grafted watermelon [J]. Chinese Vegetable, 1993(2): 56-58. (in Chinese)
- [2] 孟文慧. 不同砧木对西瓜若干重要性状的影响[D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2008.
Meng W H. Effects of different rootstocks on several important characters in citrulls lanatus [D]. Yangling, Shaanxi: North-west A&F University, 2008. (in Chinese)
- [3] 高俊凤. 植物生理学实验技术 [M]. 西安: 世界图书出版公司, 2000.
Gao J F. The experimental technique in plant physiology [M]. Xi'an: World Book Publishing House Company, 2000. (in Chinese)
- [4] Lingle S E, Dunlap J R. Sucrose metabolism in netted muskmelon fruit during development [J]. Plant Physiol, 1987, 84: 386-389.
- [5] Hubbard N L, Pharr M P, Huber S C. 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.
- [6] 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. Effects on the sugar accumulation and related enzyme activities in citrus fruit [J]. Acta Horticulturae Sinica, 2001, 28(2): 112-118. (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 on 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] Koch K E, Lowell C A, Avigne W T. Assimilate transfer through citrus juice vesicle stalks: A nonvascular portion of the transport path [J]. Plant biology, 1986(45): 247-258.
- [9] 朱祝军, 刘慧英. 转化酶在高等植物蔗糖代谢中的作用研究进展 [J]. 植物学通报, 2002(6): 102-104.
Zhu Z J, Liu H Y. Advances on the studies of invertase on sucrose metabolism in higher plant [J]. Chinese Bulletin of Botany, 2002(6): 102-104. (in Chinese)
- [10] Cross K C, Pharr D M. A potential pathway for galactose metabolism in *Cucumis sativus* L. a stachyose transporting species [J]. Plant Physiology, 1982, 69: 117-121.
- [11] 薛林宝, 曹砾生, 缪旻珉, 等. 摘除雌花对甜瓜成熟叶片中糖及相关酶活性的影响 [J]. 植物生理学通讯, 2003, 39(2): 131-133.
Xue L B, Cao B S, Miao M M, et al. Effect of pistillate flower removing on sugar content and relative enzyme activities in mature leaves of cucumis melo [J]. Plant Physiology Communications, 2003, 39(2): 131-133. (in Chinese)
- [12] Morris D A, Arthur E D. An association between acid invertase and cell growth during leaf expansion in phaseolus [J]. J Exp Bot, 1984, 35: 1369-1379.
- [13] Roitsch T, Tanner W. Cell wall invertase: bridging the gap [J]. Bot Acta, 1996, 109: 93-96.
- [14] Klann E W, Chetelat R T, Bennett A B. Expression of acid invertase gene control sugar composition in tomato (*Lycopersicon*) fruit [J]. Plant Physiol, 1993, 103: 863-870.
- [15] Schaffer A A, Aloni B, Fogelman E. Sucrose metabolism and accumulation in developing fruit of cucumis [J]. Phytochem, 1987, 26: 1883-1887.
- [16] Klann E W, Chetelat R T, Bennett A B. Expression of acid invertase gene control sugar composition in tomato (*Lycopersicon*) fruit [J]. Plant Physiol, 1993, 103: 863-870.
- [17] Jang J C, Sheen J. Sugar sensing in higher plants [J]. Plant Cell, 1994, 6: 1665-1679.
- [18] Yakushiji H, Nonami H, Fukuyama T, et al. Sugar accumulation enhanced by osmoregulation in satsuma mandarin fruit [J]. Journal Amer Soc Hort Sci, 1996, 121: 466-472.
- [19] 华南农业大学. 果树栽培学各论 [M]. 2 版. 北京: 农业出版社, 1991: 74.
South China Agricultural University. Various expositions on pomiculture [M]. 2nd ed. Beijing: Agricultural Publishing House, 1991: 74. (in Chinese)
- [20] Ackerson P C. Invertase activity and abscisic acid in relation to carbohydrate status in developing soybean reproductive structure [J]. Crop Sci, 1985, 25: 615-618.
- [21] Takebayashi T, Kataoka T, Yukinaga H. Classification of 98 different citrus species and cultivars by fruit quality and disorders as related to delayed harvest [J]. J Japan Soc Hort Sci, 1993, 62: 305-316.