

## 甘蔗节间蔗糖含量与和蔗糖代谢相关的4种酶活性之间的关系剖析

潘有强<sup>1,\*</sup>, 罗海玲<sup>2</sup>, 李杨瑞<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>广西作物遗传改良生物技术重点开放实验室, 南宁 530007; <sup>2</sup>广西农业科学院蔬菜研究中心, 南宁 530007

**摘要:**测定和分析2个品种甘蔗节间蔗糖含量与和蔗糖代谢相关的4种酶活性之间关系的结果表明:节间蔗糖含量与酸性转化酶活性成极显著负相关,与蔗糖磷酸合成酶活性呈显著正相关。从途径分析结果可知,4种关键酶中可溶性酸性转化酶和蔗糖磷酸合成酶是对蔗糖含量贡献程度最大的2个酶。

**关键词:**甘蔗;蔗糖含量;酶活性;多元回归

## Correlating Analysis between Sucrose Content and the Activities of Four Enzymes Related to Sucrose Metabolism in Sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) Internodes

PAN You-Qiang<sup>1,\*</sup>, LUO Hai-Ling<sup>2</sup>, LI Yang-Rui<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Guangxi Crop Genetic Improvement and Biotechnology Laboratory, Nanning 530007, China; <sup>2</sup>Vegetable Research Center, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning 530007, China

**Abstract:** Sucrose content and the activities of sucrose phosphate synthase (SPS), sucrose synthase (SS), soluble acid invertase (SAI) and neutral invertase (NI) from different internodes of two sugarcane (*Saccharum officinarum*) cultivars were assayed. The results of multiple regression and multiple correlation showed that sucrose content was negatively and significantly correlated with the activity of SAI, and positively and significantly correlated with the activity of SPS. The results of path analysis revealed that the contributing rates of SAI and SPS in four enzymes to sucrose content were dominant.

**Key words:** sugarcane (*Saccharum officinarum*); sucrose content; activity of enzymes; multiple regression analysis

甘蔗是茎内积累蔗糖浓度最高的作物。甘蔗的蔗糖积累涉及蔗糖的合成、分解和运输等生理生化过程,不同酶对蔗糖积累的作用不同(黄东杰等2006)。有关蔗糖代谢相关酶如可溶性酸性转化酶(soluble acid invertase, SAI)、中性转化酶(neutral invertase, NI)、蔗糖磷酸合成酶(sucrose phosphate synthase, SPS)和蔗糖合成酶(sucrose synthase, SS)与甘蔗茎生长发育和蔗糖积累之间关系的研究报告(Hatch和Glasziou 1963; Hatch等1963; Gayler和Glasziou 1972; Lingle 1999; Zhu等1997)已不少。一般认为SAI和SPS对甘蔗节间的蔗糖积累起关键作用(Zhu等1997; Lingle 1999),但不同的酶活性对节间蔗糖积累影响的结论不完全一致。至于甘蔗节间蔗糖代谢相关酶活性与甘蔗节间蔗糖积累过程的关系的研究报告尚少见。为此,本文对甘蔗节间蔗糖积累过程中4种与蔗糖代谢相关的酶活性与蔗糖含量变化的检

测结果进行了相关性、多元回归和途径分析,探讨甘蔗节间蔗糖含量与其相关酶活性之间的关系。

### 材料与amp;方法

甘蔗(*Saccharum officinarum* L.)品种‘新台糖20号’(‘ROC20’)和巴西甘蔗品种‘RB72-454’由广西甘蔗研究所提供。种茎于2004年2月25日在广西甘蔗研究所的甘蔗试验地下种植。试验采用随机区组设计,重复2次。新植蔗和宿根蔗均按生产田常规管理。本文材料于2006年1月1日从第一年宿根蔗中进行抽样,每

收稿 2007-07-30 修定 2007-09-09

资助 广西自然科学基金(桂科自0447017)和广西农业科学院科技发展基金(2003009和2006005-Z)。

\* 通讯作者(E-mail: panyq@gxaas.net, liyr@gxaas.net; Tel: 0771-3279431, 0771-3247689)。

个品种随机抽取代表性蔗茎6条,去叶后切取第2节间(甘蔗植株上最高和可见到肥厚带的叶片所在节间为第1节间,位于第1节间下面的节间为第2节间,依此类推)至第15节间,切取节间中段,相同品种的相同序号节间合并为一份,用液氮速冻后置于-30℃冰箱中保存。测定时重复3次。

蔗糖含量用比色法(Roe 1934;中国科学院上海植物生理研究所和上海市植物生理学会1999)测定。蛋白质含量用Bradford (1976)方法测定,以牛血清白蛋白作标准蛋白。酶的提取以及SPS、SS、SAI和NI活性的测定参照Zhu等(1997)文中的方法。试验数据以DPS软件V8.01(唐启义和冯

明光 2007)进行统计分析,图用Microsoft Excel 2003制作。

## 实验结果

### 1 蔗糖和蛋白质含量

由图1可以看出,‘ROC20’的蔗糖含量在第2~10节间都大于‘RB72-454’的,两者相差较大,在第11~15节间则相差较小。‘ROC20’的较嫩节间中蔗糖积累速度比‘RB72-454’的快,成熟节间的蔗糖含量也比‘RB72-454’的略高。‘ROC20’各节间的可溶性蛋白质含量比‘RB72-454’的小,第2~6节间下降较快,第6~15节间的变化幅度较小。

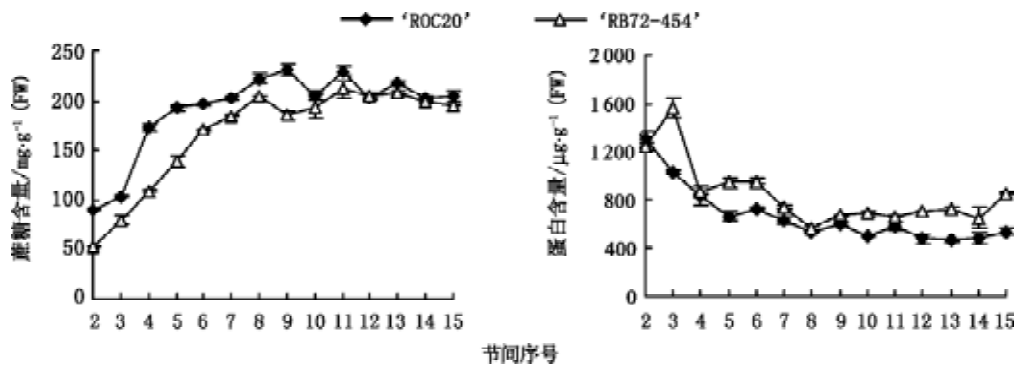


图1 甘蔗节间的蔗糖和蛋白质含量

Fig.1 The sucrose and soluble protein contents in different internodes of sugarcane

### 2 酶活性

从图2可以看出,‘ROC20’的各节间中SAI活性普遍比‘RB72-454’的低;NI活性均比‘RB72-454’的低得多;第5节间以后SPS活性比‘RB72-454’的高;第2~8节间中SS活性都高于‘RB72-454’的,第8节以后2个品种各有高低。2个品种第5节间以后的SAI活性表现为明显下降,而SPS活性则呈现为逐步增加的趋势。

### 3 蔗糖含量与4种酶活性之间的关系

由表1可以看出,甘蔗品种‘ROC20’的节间蔗糖含量与SAI活性呈极显著负相关,与SPS活性呈显著正相关,SS和NI也呈显著负相关。‘RB72-454’的节间蔗糖含量与SAI呈极显著负相关,与SPS呈极显著正相关,而与SS和NI相关性不显著。从线性回归方程偏回归系数的显著

水平和直接途径系数中可知,2个甘蔗品种都是以SAI对蔗糖含量的作用最大,其次是SPS,SAI和SPS对蔗糖含量的贡献占大部分。从最优组合回归方程对偏相关系数 $T$ 检验的显著水平中可知,SS和NI因 $T$ 检验均未达到显著水平而未引入变量,最终仅引入SAI和SPS 2个变量。‘ROC20’的蔗糖含量与SAI达到显著水平,与SPS接近达到显著水平,而‘RB72-454’的蔗糖含量与SAI达到极显著水平,与SPS达到显著水平。SPS通过SAI的间接途径系数都为正值,说明SPS通过SAI所起的间接效应为正值,而SS和NI通过SAI所起的间接作用为负值。

## 讨论

一般认为,蔗糖代谢过程中的各种酶对蔗糖积累起的作用不同。SAI和NI催化蔗糖分解为葡

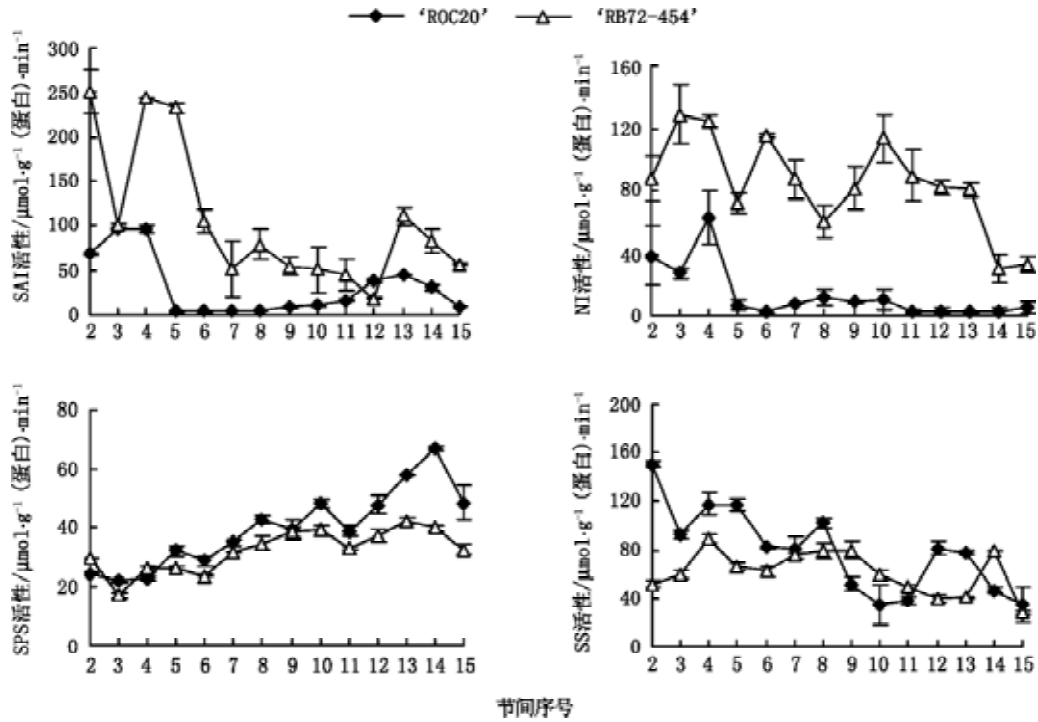


图2 甘蔗节间的SPS、SS、SAI和NI酶活性

Fig.2 Enzyme activities of SPS, SS, SAI and NI in different internodes of sugarcane

表1 甘蔗节间蔗糖含量与SAI、SPS、SS和NI酶活性的相关性和多元回归分析

Table 1 Analysis of multiple regression and correlation between sucrose content and the enzyme activitie of SAI, SPS, SS and NI

分析指标	'ROC20'				'RB72-454'			
	SAI 活性 ( $x_1$ )	SPS 活性 ( $x_2$ )	SS 活性 ( $x_3$ )	NI 活性 ( $x_4$ )	SAI 活性 ( $x_1$ )	SPS 活性 ( $x_2$ )	SS 活性 ( $x_3$ )	NI 活性 ( $x_4$ )
相关系数( $r$ )	-0.7308	0.5998	-0.6361	-0.6275	-0.7632	0.7117	-0.1507	-0.4650
相关性显著水平( $P$ )	0.0030	0.0234	0.0145	0.0163	0.0015	0.0043	0.6070	0.0939
多元线性回归偏相关系数 $T$ 检验 的显著水平( $P$ )	0.0588	0.2495	0.3447	0.4529	0.0196	0.1205	0.7019	0.4993
直接途径系数( $\rho$ )	-0.6983	0.3459	-0.2682	0.3011	-0.5737	0.3831	0.0708	-0.1438
通过SAI起作用的间接途径系数		0.2779	-0.3371	-0.5442		0.2616	-0.1473	-0.1315
引入2个变量的最优组合回归偏 相关系数的显著水平( $P$ )	0.0122	0.0866			0.0075	0.0204		

多元线性回归方程: 'ROC20',  $y=190.6845-0.8885x_1+1.1033x_2-0.3235x_3+0.7295x_4$ ,  $R=0.8363$ ,  $R^2=0.6994$ , 剩余途径系数为0.5482; 'RB72-454',  $y=126.1641-0.3795x_1+2.7848x_2+0.2017x_3-0.2457x_4$ ,  $R=0.8756$ ,  $R^2=0.7666$ , 剩余途径系数为0.4831。最优组合回归方程: 'ROC20',  $y=167.8839-0.7439x_1+1.1708x_2$ ,  $R=0.8047$ ,  $R^2=0.6475$ ; 'RB72-454',  $y=98.5073-0.3664x_1+3.3376x_2$ ,  $R=0.8657$ ,  $R^2=0.7494$ 。其中,  $y$  为蔗糖含量;  $R$  为复相关系数;  $R^2$  为决定系数。

葡萄糖和果糖; SPS催化尿苷二磷酸葡萄糖(UDPG)与6-磷酸果糖(F6P)形成磷酸蔗糖,对蔗糖合成有限速作用;而SS既可催化蔗糖合成又可催化蔗糖水解,其功能较为复杂,但主要是起分解作用(黄东杰等2006)。关于这几种酶对甘蔗蔗糖含量及蔗

糖积累的作用大小,目前还没有取得一致的结论。本文中2个甘蔗品种的含糖特性和蔗糖积累的快慢有较大差异,'ROC20'为特早熟特高糖品种,'RB72-454'为含糖量一般的早中熟品种(罗海玲等2006)。本文结果表明,这2个品种的

节间蔗糖含量与SAI活性都呈极显著负相关,这与Zhu等(1997)的报告相一致,而与Lingle (1999)的不一致。节间蔗糖含量与SPS活性呈显著正相关,这与Lingle (1999)的报告相一致,但与Zhu等(1997)的不一致。甘蔗品种‘ROC20’的节间蔗糖含量与SS、NI都呈显著负相关,而‘RB72-454’的节间蔗糖含量虽然也与SS和NI呈负相关,但未达到显著水平。这些结果与Zhu等(1997)和Lingle (1999)的报告都不完全相同。从通径分析的决定系数来看,SAI、SPS、SS和NI的酶活性对甘蔗节间蔗糖含量的贡献大,其中,SAI和SPS是主要影响因子。从2个品种的回归方程来看,由于品种间的差异,其回归方程的各回归系数也不同。从通径分析的决定系数和剩余通径系数的值来看,除这4种酶外,影响甘蔗蔗糖含量的因素还应包括其他尚未查明的生化因子,这说明甘蔗中蔗糖积累是一个十分复杂的生理生化过程。虽然不同实验所用的甘蔗材料各不同,但本文结果与Zhu等(1997)和Lingle (1999)的报告一致的是:SAI和SPS是调节节间蔗糖含量和蔗茎蔗糖积累的关键酶。至于能否将SAI和SPS活性作为有效选育甘蔗品种的指标,如何通过SAI和SPS酶活性的调控来提高甘蔗的蔗糖含量,都待进一步研究。

## 参考文献

- 黄东杰, 张树珍, 范海阔, 蔡文伟(2006). 甘蔗的蔗糖代谢. 植物生理学通讯, 42 (4): 755~760
- 罗海玲, 潘有强, 李杨瑞(2006). 不同甘蔗品种的含糖特性及成熟期分析. 广西农业科学, 37 (3): 245~248
- 唐启义, 冯明光(2007). DPS数据处理系统. 北京: 科学出版社, 625~676
- 中国科学院上海植物生理研究所, 上海市植物生理学会(1999). 现代植物生理学实验指南. 北京: 科学出版社, 127
- Bradford MM (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal Biochem*, 72: 248~254
- Gayler KR, Glasziou KT (1972). Physiological functions of acid and neutral invertases in growth and sugar storage in sugar cane. *Physiol Plant*, 27: 25~31
- Hatch MD, Glasziou KT (1963). Sugar accumulation cycle in sugar cane. II. Relationship of invertase activity to sugar content and growth rate in storage tissue of plants grown in controlled environments. *Plant Physiol*, 38: 344~348
- Hatch MD, Sacher JA, Glasziou KT (1963). Sugar accumulation cycle in sugar cane. I. Studies on enzymes of the cycle. *Plant Physiol*, 38: 338~343
- Lingle SE (1999). Sugar metabolism during growth and development in sugarcane internodes. *Crop Sci*, 39: 480~486
- Roe JH (1934). A colorimetric method for the determination of fructose in blood and urine. *J Biol Chem*, 107: 15~22
- Zhu YJ, Komor E, Moore PH (1997). Sucrose accumulation in the sugarcane stem is regulated by the difference between the activities of soluble acid invertase and sucrose phosphate synthase. *Plant Physiol*, 115: 609~616