

高粱可溶性糖含量与 SS、SPS 酶活性的相关性研究

薛薇¹, 崔江慧¹, 孙爱芹², 常金华¹

(1. 河北农业大学农学院, 河北省种质资源重点实验室, 河北保定 071000;
2. 廊坊职业技术学院, 河北廊坊 065001)

摘要:以 5 个高粱品系和 1 个杂交种为试材, 研究了不同生长发育时期高粱可溶性糖含量与 SS、SPS 酶活性的变化规律及相关性。结果表明, SS 与可溶性糖含量在生长后期呈负相关, SPS 与可溶性糖含量呈正相关。茎秆可溶性糖含量一直呈上升趋势, 在完熟期达到最大值, 此时正是高粱的最佳收获时期。

关键词:高粱; 蔗糖合成酶(SS); 蔗糖磷酸合成酶(SPS); 酶活性; 可溶性糖含量; 相关性分析

中图分类号:S514 **文献标识码:**A **文章编号:**1008-0864(2009)02-0124-05

Research of Soluble Sugar Content and Activities of Sucrose Synthase and Sucrose Phosphate Synthase on Sorghum

XUE Wei¹, CUI Jiang-hui¹, SUN Ai-qing², CHANG Jin-hua¹

(1. Key Laboratory of Crop Germplasm Resources, Hebei Province; College of Agronomy, Hebei Agricultural University, Hebei Baoding 071000; 2. Langfang Polytechnic Institute, Hebei Langfang 065001, China)

Abstract: Five sorghum lines and one hybrid were used to study the changing law of sugar contents and activities of sucrose synthase (SS) and sucrose phosphate synthase (SPS), the correlation between soluble sugar contents and activities of SS and SPS on different phases. The results showed that there are mainly negative correlation between soluble sugar content and SS enzyme activities in the later growing stage, and mostly positive correlation between soluble sugar content and SPS enzyme activities. The soluble sugar content in stems was rising during the whole growing period. It reached the maximum when sorghum was fully matured. Full-ripe stage is the best phase for harvest.

Key words: sorghum; sucrose synthase(SS); sucrose phosphate synthase(SPS); enzyme activity; soluble sugar content; correlation analysis

高粱 (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) 具有抗旱、耐瘠、耐盐碱的特性, 可作为饲料和用于酿酒。甜高粱以其生长快、茎秆产量高、茎汁液丰富、含糖量高等特点被欧共体列为未来有待开发的再生性能源植物^[1,2]。研究甜高粱茎秆中可溶性糖含量及其相关酶活性的变化对高粱的改良、有效利用和开发具有重要意义。

蔗糖合成酶 (sucrose synthase, SS) 和蔗糖磷酸合成酶 (sucrose phosphate synthase, SPS) 是高等植物中与糖代谢密切相关的酶。SS 既可催化蔗糖合成又可催化蔗糖分解, SS 催化的反应为: 果糖 + UDPG \rightleftharpoons 蔗糖 + UDP。因为上述反应是可逆的, 所以植物可以通过 SS 的作用, 利用可逆反

应进行自身调节。当 SS 分解活性大于其合成活性时, 蔗糖被分解, 形成大量同化器官建成需要的基础物质 (UDPG 与果糖); 而当 SS 合成活性大于其分解活性时, 则有利于蔗糖的形成。所以在植物的生长发育过程中, SS 酶活性的调节在蔗糖代谢分配上非常重要。SPS 催化的反应为: UDPG + 6-磷酸果糖 \rightarrow 6-磷酸葡萄糖 + UDP。产生的 6-磷酸葡萄糖通常由磷酸蔗糖磷酸脂酶 (sucrose phosphate phosphatase, SPP) 迅速降解为蔗糖。由于 SPS 和 SPP 是以复合体的形式存在于植物体内, SPS 催化蔗糖生成在事实上是不可逆的^[3]。

国内外对 SPS 的研究报道很多。Huber 等^[4]曾指出 SPS 活力越高, 蔗糖积累得越多。在甘蔗

收稿日期: 2009-01-05; 修回日期: 2009-01-16

基金项目: 河北省自然科学基金项目 (2005000254) 资助。

作者简介: 薛薇, 硕士研究生, 主要从事高粱遗传方面研究。E-mail: xuewei0792@126.com。通讯作者: 常金华, 教授, 博士生导师, 研究方向为作物遗传育种。Tel: 0312-7528128; E-mail: jhchang2006@126.com

中,茎中蔗糖的含量依赖于 SPS 的活力^[5]。有关高粱茎秆含糖量的研究已多有报道^[6,7],但有关糖含量与相关酶类的研究还未见报道。因此,研究高粱 SS、SPS 酶活性与可溶性糖含量之间的关系,可为进一步研究高粱 SS、SPS 表达调控机理、改良高粱茎秆甜度这一品质提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 材 料

试验材料取自 2006 年种植于河北农业大学农场的 Tx623A、Tx623B、高粱蔗(农家种)、四丽美(河北农业大学选育的甜高粱品系)、能饲一号、F1(Tx623A × 高粱蔗)。常规水肥管理。

1.2 取 样

试验材料分别取拔节期、孕穗期、抽穗期、乳熟期和完熟期的茎和叶。茎秆取自地上第三茎节,叶片取自旗叶下第一片叶片。随机选取 3 株高粱,对应着取茎、叶,每单株的茎、叶测定时做 3 个重复。

1.3 测 定 方 法

采用蒽酮比色法测可溶性糖含量。采用间苯二酚比色法^[8]测定 SS 和 SPS 的酶活性,方法略加改动。测定前不使用纱布过滤,而在 4℃、10 000 rpm 离心 10 min,取上清液直接用于酶活性测定。

1.4 数 据 处 理

运用 DPS 软件进行数据的统计分析。

2 结 果 与 分 析

2.1 不同品种不同时期 SS、SPS 酶活性变化

由图 1 可以看出,除 Tx623A 整个生育期酶活性值表现为先降低后上升外,其余各高粱品种叶片的 SS 酶活性均表现为先升高后降低的趋势。高粱蔗的 SS 酶活性值于抽穗期达到峰值。而 Tx623A × 高粱蔗、Tx623B、能饲一号、四丽美的 SS 酶活性于乳熟期达到峰值。

由图 2 可以看出,高粱蔗, Tx623A × 高粱蔗及 Tx623B 的 SPS 酶活性表现为先升高后降低的趋势。Tx623A、能饲一号和四丽美的 SPS 酶活性在乳熟期到完熟期没有显著变化。整个生长发育

时期高粱蔗的叶片 SS、SPS 酶活性都远远高于其他品种,其次为 Tx623A × 高粱蔗。Tx623A、Tx623B 的 SS、SPS 酶活力值总体上都低于其他品种。

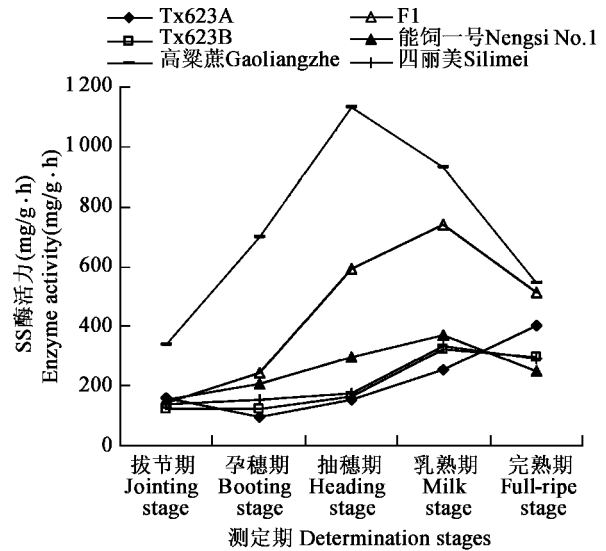


图 1 不同品种不同生育时期叶片 SS 酶活性的变化

Fig. 1 The changes of the SS activity in the different stages and different sorghums' leaves.

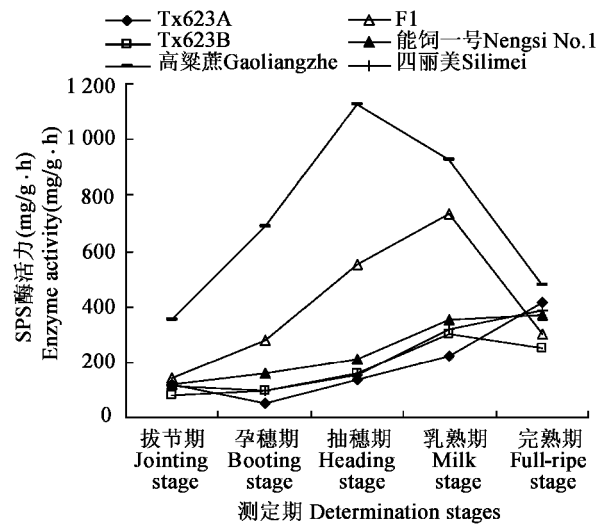


图 2 不同品种不同时期叶片 SPS 酶活性的变化

Fig. 2 The changes of the SPS activity in the different stages and different sorghums' leaves.

2.2 不同品种不同时期茎秆可溶性糖含量的变化

由图 3 可以看出茎秆的可溶性糖含量随着植株的生长不断增加。其前期增长缓慢,抽穗期后有大幅增长趋势,到完熟期仍有增长趋势,但增长

幅度已有所下降,此时期其茎秆可溶性糖含量达到最大值。完熟期高粱茎秆可溶性糖含量表现为:高粱蔗 > 四丽美 > Tx623A × 高粱蔗 > 能饲 1 号 > Tx623A > Tx623B,高粱蔗和四丽美之间差异不显著(见表 1)。

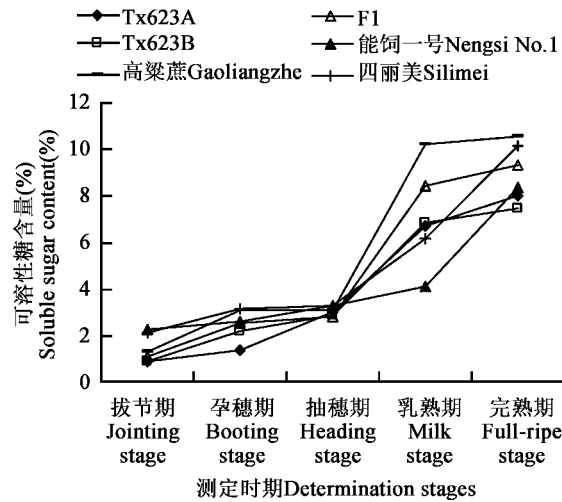


图 3 不同品种不同时期可溶性糖含量的变化

Fig. 3 The changes of the soluble sugar content in the different stages and different sorghums' stalks.

2.3 不同品种可溶性糖含量与酶活性相关性分析

不同品种可溶性糖含量与 SS、SPS 酶活性变化趋势大致相同(图 4 和图 5)。变化趋势可用二次方程 $y = a + bx + cx^2$ 较好的描述,其中 y 为可溶性糖含量, x 为不同时期的 SS、SPS 酶活性, a, b, c 为参数。

对所有品种可溶性糖含量和 SS 酶活性进行相关性分析,得到相关系数。总体上看,各品种均

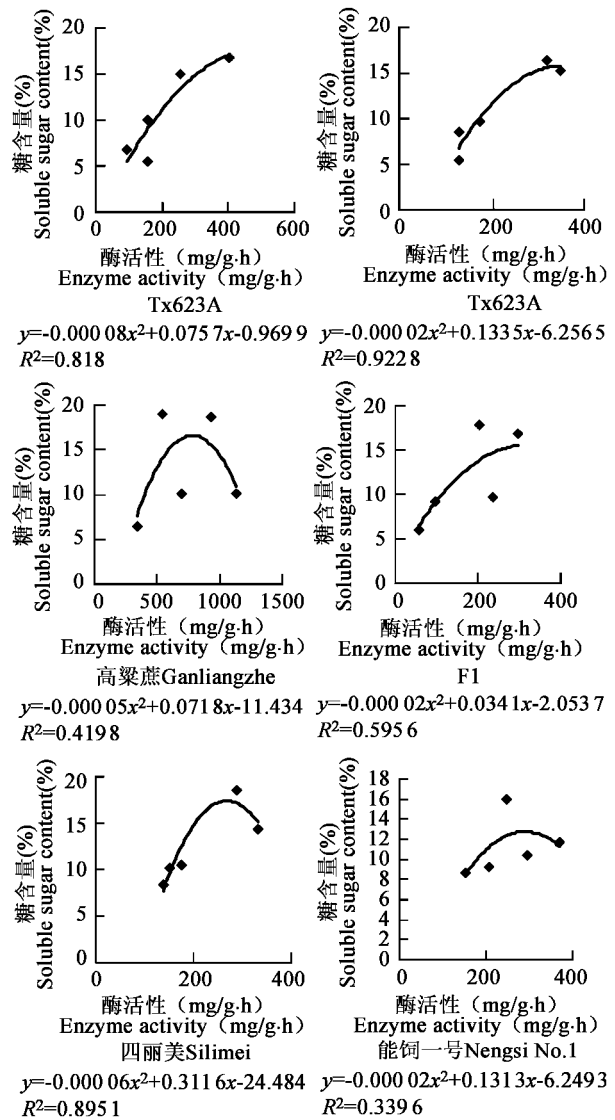


图 4 不同品种可溶性糖含量与 SS 酶活性相关性分析

Fig. 4 The correlation analysis of the soluble sugar content and SS activities in the different sorghums.

表 1 高粱不同品种各时期茎秆可溶性糖含量的 duncans 分析

Table 1 The duncans analysis of soluble sugar content in the different stages and different sorghums' stalks.

品种 Variety	完熟期 Full ripe stage	乳熟期 Milk stage	抽穗期 Heading stage	孕穗期 Booting stage	拔节期 Jointing stage
高粱蔗 Gaoliangzhe	10.540 1a	10.197 6a	3.108 7a	3.114 1a	1.281 7b
四丽美 Silimei	10.177 7ab	6.141 2c	3.313 8a	3.133 8a	2.098 1a
F1	9.303 7bc	8.443 7b	2.816 6a	2.547 8b	1.122 1b
能饲 1 号 Nengsi No.1	8.345 6cd	6.113 1c	3.296 5a	2.588 0b	2.710 0a
Tx623A	8.010 8d	6.686 3c	3.049 5a	1.398 0d	0.895 4c
Tx623B	7.497 1d	6.873 2c	2.858 1a	2.200 4c	0.915 3c

注:同列中不同小写字母代表差异显著($P < 0.05$)。

Note: Data with different lowercase letters in each column are significantly different at $P < 0.05$.

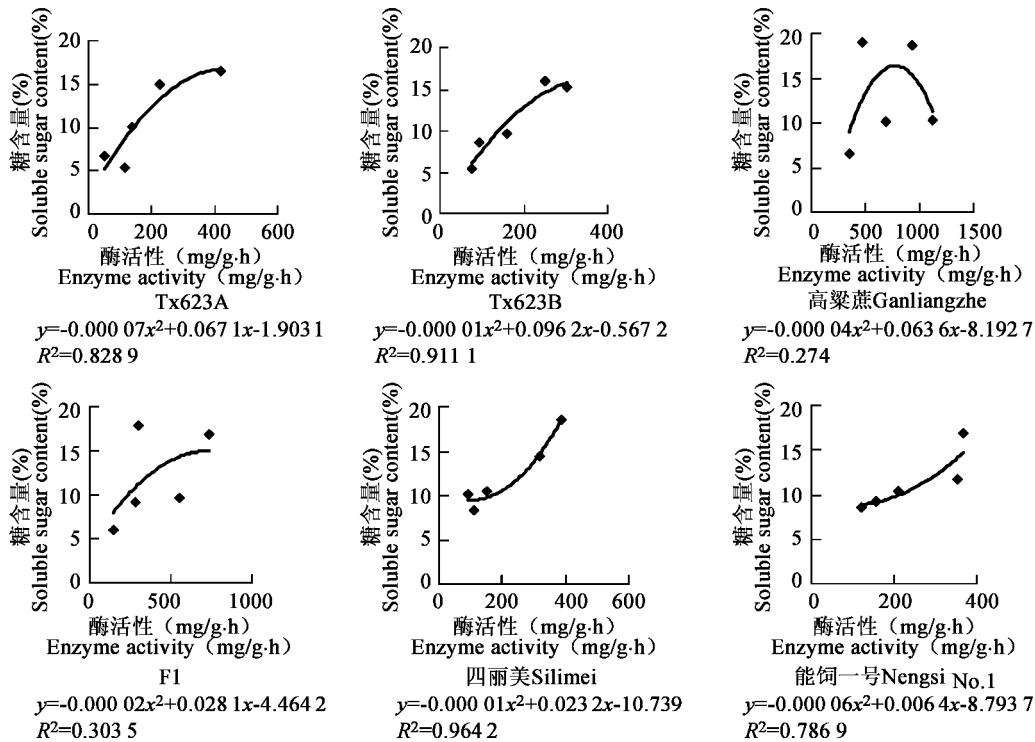


图5 不同品种茎秆可溶性糖含量与 SPS 酶活性相关性分析

Fig. 5 The correlation analysis of the soluble sugar content and SPS activities in the different sorghums.

在前几个生育时期表现为曲线正相关趋势,在后期的不同时期开始有负相关走向。高粱蔗、四丽美、能饲一号的变化趋势明显(见图4)。从相关系数上看:Tx623A ($R^2 = 0.818^{**}$)、Tx623B ($R^2 = 0.9228^{**}$)、四丽美($R^2 = 0.8951^{**}$)的可溶性糖含量与SS酶活性呈极显著相关,F1($R^2 = 0.5956$)、高粱蔗($R^2 = 0.4198$)、能饲一号($R^2 = 0.3396$)的可溶性糖含量与SS酶活性相关不显著。

对所有品种可溶性糖含量和SPS酶活性进行相关性分析表明(见图5),除高粱蔗($R^2 = 0.274$)后期呈明显的负相关外,其余各高粱品系在整个生育期内其可溶性糖含量均随SPS酶活性的增加呈曲线上升趋势。四丽美和能饲一号一直呈正相关上升趋势。Tx623B($R^2 = 0.9111^{**}$)、四丽美($R^2 = 0.9642^{**}$)的可溶性糖含量与SPS酶活性呈极显著相关。Tx623A($R^2 = 0.8289^*$)、能前期表现为增长趋势,是因为蔗糖需被分解以形成大量同化器官建成需要的基础物质(UDPG与果糖)。当大量同化器官已经建成,植株需要的果糖和UDPG就会减少,SS酶活性就表现为下降的趋势。

对于SPS酶活性,高粱蔗,Tx623A与高粱蔗

饲一号($R^2 = 0.7869^*$)的可溶性糖含量与SPS酶活性呈显著相关。高粱蔗($R^2 = 0.274$)、F1($R^2 = 0.3035$)的可溶性糖含量与SPS酶活性的相关性不显著。

对于营养生长期,不同品种间可溶性糖含量高低与对应的酶活性之间相关性不显著。但在乳熟期糖含量越高的材料,对应的SS、SPS酶活性越高($r = 0.8179^*$, $r = 0.8234^*$)。

3 讨论

研究表明,除Tx623A整个生育期SS酶活性值表现为先降低后上升趋势外,其余各高粱品种叶片的SS酶活性均表现为先升高后降低的趋势。对于Tx623A的不同,可能与其是不育系材料有关。其余品种SS酶活性在高粱生长发育的F1及Tx623B表现为先升高后降低的趋势,Tx623A、能饲一号和四丽美在后期变化不明显。SPS作为合成蔗糖的主要酶,在高粱生长前期要提供大量的蔗糖供植株生长发育,随着植株的生长发育SPS酶活性表现为逐渐增强。而随着乳熟期的结束,灌浆基本完成,对蔗糖的需求量相对于

生长期有一定程度的减少,因此此时 SPS 酶活性增长缓慢或开始下降。而 Tx623A 作为不育材料,可能有其特殊性。此外,非甜高粱品种 Tx623A、Tx623B 的 SS、SPS 酶活力值总体上都低于其他甜高粱,这说明糖分的积累与 SPS 酶活性有关^[4,5]。

高粱蔗的 SS 酶活性、SPS 酶活性明显高于其他品种,这应该与高粱蔗的基因有关。高粱蔗是河北本地常年种植的农家甜高粱品种,经过了长期的自然选择和人工驯化,遗传基础比较复杂,与外来引进品种遗传基础相差较大。在一定程度上,造成了上述现象。Tx623A × 高粱蔗秉承了高粱蔗的性状特征。在 SS 酶活性、SPS 酶活性性状上 Tx623A × 高粱蔗具有中亲优势,造成了高粱蔗和 Tx623A × 高粱蔗的 SS 酶活性、SPS 酶活性明显高于其他品种。

茎秆的可溶性糖含量随着植株的生长不断增加,到完熟期达最大值。无论是甜高粱还是普通高粱,在完熟期既是它收获籽粒的最佳时期也是收获茎秆的最佳时期,也就是其生产上利用的最佳时期。所以,此时收获高粱,籽粒可用于粗粮食用与酿酒,茎秆可用于饲料及酿酒工业,达到了双赢的目的。

对可溶性糖含量和 SS 酶活性的相关性分析可以看出,各品种均在前几个生育时期表现为曲线正相关趋势,在后期的不同时期开始有负相关走向。这恰恰是因为 SS 的主要作用是分解蔗糖^[9]。在高粱生长发育的后期,各形态器官已经建成,无需再分解大量蔗糖,此时 SS 酶活性下降,茎秆中糖分积累增加。可溶性糖含量和 SPS 酶活性的相关性分析表明,除高粱蔗外,其余各高粱整个生育时期内可溶性糖含量均随 SPS 酶活性的增加呈曲线上升趋势。四丽美和能饲一号一直呈正相关上升趋势。而高粱蔗后期可溶性糖含量和 SPS 酶活性的相关曲线呈明显的负走向,其原因

可能是高粱蔗是早熟品种,乳熟期到完熟期历经时间较短,虽完熟期时叶片的 SPS 酶活性有了显著下降,但前期糖含量的积累及整个持绿期内茎叶依然青绿,光合作用的产物仍然向茎秆中运转和贮存,而又不需向籽粒供给,所以糖含量仍呈较大上升趋势。

F1 的 SS、SPS 酶活力及含糖量均介于亲本高粱蔗和 Tx623A 之间,在一定程度上可以说明高粱可溶性糖含量是数量性状由多基因控制。

甜高粱既可用于作饲料和酿酒又是有待开发的再生性能源^[1,2]。研究甜高粱茎秆中可溶性糖含量及其相关酶活性的变化,可为进一步研究高粱 SS、SPS 表达调控机理,提高高粱茎秆的含糖量,培育品质优异的甜高粱品种提供参考。对高粱的改良、有效利用和开发具有重要意义。

参 考 文 献

- [1] 马鸿图. 甜高粱——欧共体未来能源所在[J]. 世界农业, 1994, 8: 13 - 16.
- [2] 曹文伯. 发展甜高粱生产开拓利用能源新途径[J]. 中国种业, 2002, 1: 28 - 29.
- [3] Huber S C, Huber J L. Role and regulation sucrose phosphate synthase in higher plants [J], *Annu. Rev. Plant Physical. Plant Mol. Biol.*, 1996, 47: 431 - 445.
- [4] Huber S C. Role of sucrose phosphate synthase in partitioning of carbon in leaves [J], *Plant Physical.*, 1983, 71: 881 - 821.
- [5] Zhu Y J, Komor E, Moore P H. Sucrose accumulation in the sugarcane stem is regulated by the difference between the activities of soluble acid invertase and sucrose phosphate synthase [J], *Plant Physiol.*, 1997, 115: 609 - 616.
- [6] 杜瑞恒, 侯升林, 王新玉, 等. 甜高粱茎秆含糖量研究 [J]. 华北农学报, 2006, 21 (增刊): 81 - 83.
- [7] 卞云龙, 邓德祥, 徐向阳, 等. 高粱茎秆中糖分含量的变化 [J], *杂粮作物*, 2004, 24 (5): 282 - 283.
- [8] 薛应龙. 植物生理学实验手册 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1985, 148 - 150.
- [9] McCollum T G, Huber D J, Cantliffe D J. Soluble sugar accumulation and activity of related enzymes during musk melon fruit development [J]. *J. Am. Soc. Hort. Sci.*, 1988, 113: 399 - 403.