

## 不同穗型冬小麦品种蔗糖和淀粉合成中关键性酶的活性变化

王文静\* 王惠杰 乔卿梅

郑州牧业工程高等专科学校生物系, 郑州 450008

**提要** 灌浆期间的豫麦66和豫麦49旗叶中蔗糖磷酸合成酶(SPS)和籽粒中蔗糖合成酶(SS)活性均呈单峰曲线变化, 峰值分别出现在花后20和15 d, 整个灌浆期内豫麦66 SPS与SS活性均高于豫麦49; 豫麦66籽粒中腺苷二磷酸葡萄糖焦磷酸化酶(AGPP)和淀粉分支酶(SBE)活性均呈单峰曲线变化, 峰值出现在花后20 d, 而可溶性淀粉合成酶(SSS)活性则呈双峰曲线变化, 峰值分别出现在花后10和20 d, 且第二个峰值显著高于第一个。

**关键词** 冬小麦; 穗型; 蔗糖; 淀粉; 合成酶

## Changes in Activities of Key Enzymes Involved in Sucrose and Starch Synthesis in Winter Wheat Cultivars with Different Spike Types

WANG Wen-Jing\*, WANG Hui-Jie, QIAO Qing-Mei

Department of Biology, Zhengzhou Animal Husbandry Engineering Higher Technical College, Zhengzhou 450008

**Abstract** Two winter wheat (*Triticum aestivum*) cultivars with large-spike type Yumai 66 and small-spike type Yumai 49 were used to study their activities of key enzymes associated with sucrose and starch synthesis in kernel during grain filling stage. The main results indicated that changes in SPS activity in the flag leaf and SS activity in the kernel all came to be a single-peak curve, the peak appeared in 20 d and 15 d after anthesis, respectively. The SPS and SS activities of Yumai 66 were higher than that of Yumai 49 during the whole grain filling. Changes in AGPP and SBE activities in the kernel of Yumai 66 all had a single-peak curve, the peak all appeared in 20 d after anthesis, but SSS activity showed a double-peak curve, its peaks appeared in 10 d and 20 d after anthesis, and the second peak was much higher than that of the first.

**Key words** winter wheat; spike type; sucrose; starch; synthesis enzyme

蔗糖和淀粉是光合作用的主要终产物。胚乳中的淀粉是源器官制造的光合同化物以蔗糖形式输入库器官(籽粒), 在籽粒中经过一系列酶的催化作用后由蔗糖转化而来<sup>[1,2]</sup>。控制叶片中蔗糖合成的酶是蔗糖磷酸合成酶(sucrose phosphate synthase, SPS), 而催化籽粒中蔗糖降解的酶是蔗糖合成酶(sucrose synthase, SS)。Schaffer和Petreikov<sup>[3]</sup>认为, 腺苷二磷酸葡萄糖焦磷酸化酶(ADP-glucose pyrophosphorylase, AGPP)、可溶性淀粉合成酶(soluble starch synthase, SSS)和淀粉分支酶(starch branching enzyme, SBE)是控制淀粉合成的3个关键酶。潘晓华等<sup>[4]</sup>指出, SS、AGPP、SSS和SBE是控制水稻胚乳淀粉积累的关键性酶。王月福等<sup>[5]</sup>和姜东等<sup>[6]</sup>指出SS、AGPP、SSS和淀粉粒结合淀粉合成酶(granule-bound starch synthase, GBSS)是影响小麦淀粉合成的关键酶。但是, 已有研究用的品种或仅有1种<sup>[6]</sup>, 或穗部性状差异不大<sup>[5]</sup>, 至于不同穗型品种冬小麦蔗糖代谢与淀粉

合成关键酶活性变化的报道至今未见。为此, 本文在与大田高产条件相似的水泥池栽条件下, 以河南省推广面积较大的具有代表性的豫麦66(大穗型品种)和豫麦49(多穗型品种)为材料, 对其籽粒灌浆过程中几个蔗糖代谢和淀粉合成关键酶活性变化进行了检测, 旨在探讨不同穗型冬小麦品种籽粒灌浆过程中淀粉积累的控制机制, 以期小麦高产栽培提供参考。

### 材料与方 法

试验于2001~2002年在河南省农业学校试验田水泥池中进行。水泥池的面积为4 m<sup>2</sup>(2 m×2 m), 池深1 m(不封底)。水泥池共8个, 填入壤土。基础肥力为有机质0.981%、全氮0.88 g·kg<sup>-1</sup>、碱解氮83.75 mg·kg<sup>-1</sup>、速效磷13.92 mg·kg<sup>-1</sup>、速效钾

收稿 2003-11-04 修定 2004-03-29

\* E-mail:wwj70@126.com, Tel:0371-5644351

135.08 mg·kg<sup>-1</sup>。基肥按每hm<sup>2</sup>施优质鸡粪25 000 kg、纯N 180 kg、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 150 kg、K<sub>2</sub>O 150 kg, 于整地前施入(其中氮肥底施50%, 剩余的50%于拔节期施入)。试验材料为小麦(*Triticum aestivum*)品种

豫麦66(大穗型)和豫麦49(多穗型), 两品种的性状差异见表1。10月22日播种, 每m<sup>2</sup>留苗200株, 随机排列, 重复4次, 田间管理同一般高产田。

表1 不同穗型小麦品种性状差异

Table 1 The characteristic differences of wheat cultivars with different spike types

品种	穗长/ cm	每穗小穗 数/个	穗粒 数/粒	成穗数/ 10 <sup>4</sup> ·hm <sup>2</sup>	千粒 重/g	产量/ kg·hm <sup>2</sup>	蛋白质 含量/%	湿面筋 含量/%
豫麦66(大穗型)	16.5	26.5	66.1	376.5	41.6	7 875	17.41	31.50
豫麦49(多穗型)	9.2	21.1	37.4	634.5	39.5	8 115	14.32	27.86

小麦开花期挂牌标记同一日开花的麦穗, 分别于开花后的5、10、15、20、25、30、35 d 取样。每个穗子豫麦49取第4~13, 豫麦66取第8~17小穗基部的2个籽粒, 每个小区每次取50粒, 用液氮速冻30 min后放入-70℃的超低温冰柜中保存。

SPS酶液提取参照文献1和7的方法, 活性测定参考文献8和9的方法。SS酶液提取参考文献8的方法, 略作改动, 活性测定参照文献1和7的方法。AGPP、SSS和SBE酶液提取参考文献10的方法, 略作改动; AGPP酶活性测定参考文献1的方法, SSS和SBE酶活性测定参考文献11的方法。

## 实验结果

### 1 不同穗型冬小麦品种蔗糖合成关键酶的活性变化

图1表明, 两种穗型品种灌浆期旗叶中的SPS活性均呈单峰曲线变化。灌浆初期两品种的SPS活性增加较快, 豫麦49在花后15 d达到高峰, 之后开始迅速下降; 豫麦66花后20 d达到高峰, 以

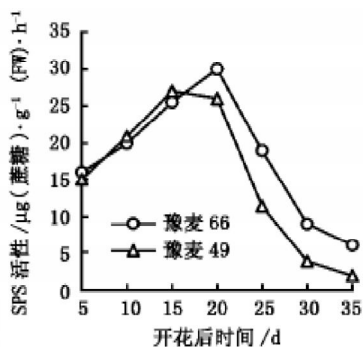


图1 旗叶中SPS的活性变化

Fig. 1 Changes in SPS activity in flag leaves

后下降, 但下降速率略低于豫麦49, 在灌浆中后期仍保持较高的酶活性, 这有利于蔗糖的供应。

在小麦籽粒中, SS的作用主要是催化籽粒中的蔗糖降解为尿苷二磷酸葡萄糖(UDPG)和果糖, 然后才用来合成淀粉<sup>[2]</sup>。因此, 籽粒中SS活性的高低反映了籽粒降解利用蔗糖的能力, 其活性高, 合成淀粉的底物就充足。由图2可知, 籽粒灌浆过程中, 两种穗型冬小麦品种籽粒中SS活性呈单峰曲线变化。豫麦66峰值出现在花后20 d, 而豫麦49峰值出现在花后15 d。整个灌浆期内, SS活性高于豫麦49, 尤其在达到峰值后下降较为缓慢, 且花后35 d酶活性仍显著高于豫麦49。可见, 大穗型品种籽粒中蔗糖降解代谢旺盛, 这有利于淀粉的合成。

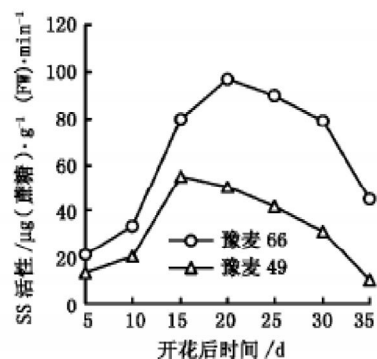


图2 籽粒中SS的活性变化

Fig. 2 Changes in SS activity in the kernels

### 2 不同穗型冬小麦品种淀粉合成关键酶的活性变化

AGPP催化葡萄糖-1-磷酸(G1P)与ATP反应, 生成淀粉合成的最前体腺苷二磷酸葡萄糖(ADPG); 而SSS以游离形态存在于小麦籽粒的胚乳

细胞中, 与SBE一起催化支链淀粉的合成。

图3表明, 两种穗型冬小麦品种灌浆期籽粒中AGPP活性呈单峰曲线变化, 峰值均出现在花后20 d, 且豫麦66峰值高于豫麦49。在灌浆初期, 豫麦66酶活性略低于豫麦49, 但花后10 d之后酶活性均高于豫麦49。

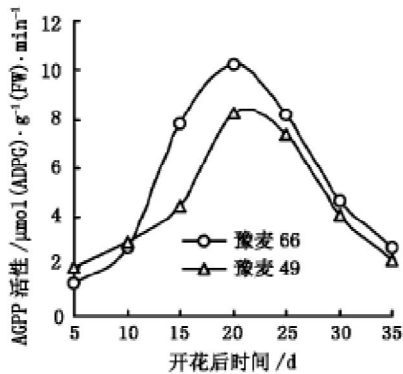


图3 籽粒中AGPP的活性变化

Fig. 3 Changes in AGPP activity in the kernels

籽粒中SSS活性呈双峰曲线变化, 峰值分别出现在花后10和20 d, 第二个峰值高于第一个。两品种酶活性变化趋势基本相同, 且峰值差异较小(图4)。

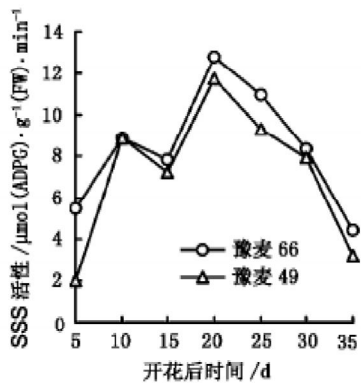


图4 籽粒中SSS的活性变化

Fig. 4 Changes in SSS activity in the kernels

两品种籽粒中SBE活性也呈单峰曲线变化, 花后20 d达到峰值, 而且峰值差异较小。在峰值出现以前, 豫麦66酶活性略低于豫麦49, 而达到峰值以后则略高于豫麦49(图5)。表明豫麦66在灌浆中后期具有较强的支链淀粉合成能力。

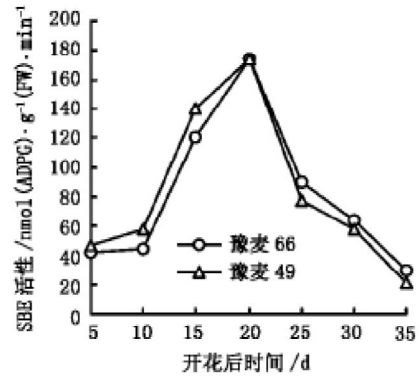


图5 籽粒中SBE的活性变化

Fig. 5 Changes in SBE activity in the kernels

## 讨论

近几年, 许多有关淀粉的研究主要集中于淀粉合成的几个关键酶的特性及其基因的克隆上<sup>[12]</sup>, 从而加深了对淀粉代谢的认识。小麦的淀粉合成在籽粒发育过程中受一些酶的调节或催化, 这已多有报道。Stone和Nicolas<sup>[13]</sup>指出, 在淀粉合成过程中, 各种酶的活性一般呈现为单峰曲线变化, 但酶活性的高低及其变化方式在基因型间有明显差异。本文结果表明, 两种穗型品种冬小麦籽粒中SS、AGPP、SBE活性均呈单峰曲线变化, 而SSS活性则呈双峰曲线变化。豫麦66在灌浆期间上述几个酶活性变化的峰值均高于豫麦49, 而且有的酶在灌浆中后期仍维持较高活性。可见, 大穗型品种比多穗型品种具有较强的淀粉合成能力, 这可能是两品种粒重存在差异的内在原因。相关分析表明, 不同穗型小麦品种SPS、SS、AGPP、SSS和SBE酶活性与淀粉积累速率均呈显著或极显著的正相关。豫麦66的SPS、SS、AGPP、SSS和SBE酶活性与淀粉积累速率之间的 $r$ 值分别为0.7357、0.7881、0.7975、0.8024和0.8182, 豫麦49则分别为0.5653、0.7373、0.7384、0.7948和0.8075, 差异均达显著水平。可见, SPS、SS、AGPP、SSS和SBE均是影响小麦淀粉合成的关键酶。

本文结果还表明, 豫麦66除了产量略低于豫麦49外, 其它指标均明显优于豫麦49。这可能是由于播种量偏小( $120 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )的原因, 致使豫麦66成穗数偏少, 产量略低。豫麦49属于多穗型品种, 单株生产力低, 但分蘖力强, 成穗数多, 以分蘖成穗占明显优势为特点<sup>[14]</sup>。而豫麦66属于大

穗型品种, 单株生产力高, 具有较强的库活性<sup>[15]</sup>, 因此, 产量潜力较高, 分蘖力较强, 但成穗数不及豫麦49, 以主茎成穗为主<sup>[16]</sup>。因此, 生产中应根据实际情况选择品种。对于豫麦66而言, 要实现超高产的目标, 应选择肥水条件较好的地区, 播种时要均匀, 而且播种量要适当加大。

### 参考文献

- 1 Douglas CD, Tsung MK, Frederick CF. Enzymes of sucrose and hexose metabolism in developing kernels of two inbreds of maize. *Plant Physiol*, 1988, 86: 1013~1019
- 2 Keeling PL, Wood JR, Tyson RH et al. Starch biosynthesis in developing wheat grain. *Plant Physiol*, 1988, 87: 311~319
- 3 Schaffer AA, Petreikov M. Sucrose-to-starch metabolism in tomato fruit undergoing transient starch accumulation. *Plant Physiol*, 1997, 113: 739~746
- 4 潘晓华, 李木英, 曹黎明等. 水稻发育胚乳中淀粉的积累及淀粉合成的酶活性变化. *江西农业大学学报*, 1999, 21(4): 456~462
- 5 王月福, 于振文, 李尚霞等. 小麦籽粒灌浆过程中有关淀粉合成酶的活性及其效应. *作物学报*, 2003, 29(1): 75~81
- 6 姜东, 于振文, 李永庚等. 施氮水平对鲁麦22籽粒淀粉合成的影响. *作物学报*, 2003, 29(5): 462~467
- 7 Tsai-Mei, Ou-Lee, Setter TL. Effect of increased temperature in apical regions of maize ears on starch-synthesis enzymes and accumulation of sugars and starch. *Plant Physiol*, 1985, 79: 852~855
- 8 於新建. 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, 1985. 148~149
- 9 Wardlaw IF, Willenbrink J. Carbohydrate storage and mobilization by the culm of wheat between heading and grain maturity: the relation to sucrose synthase and sucrose-phosphate synthase. *Aust J Plant Physiol*, 1994, 21: 255~271
- 10 程方民, 蒋德安, 吴平等. 早籼稻籽粒灌浆过程中淀粉合成酶的变化及温度效应特征. *作物学报*, 2001, 27(2): 201~206
- 11 Nakamura Y, Yuki K, Park SY. Carbohydrate metabolism in the developing endosperm of rice grains. *Plant Cell Physiol*, 1989, 56: 833~839
- 12 Preiss J, Sivak M. Starch synthesis in sinks and sources. In: Zamski E, Schaffer AA (eds). *Photoassimilate Distribution in Plants and Crops*. New York: Dekker, 1996. 63~69
- 13 Stone DJ, Nicolas ME. Varietal difference in natural protein composition of wheat. *Aust J Plant Physiol*, 1996, 23: 727~737
- 14 王永华, 刘万代, 夏国军等. 豫麦49号新品种的生育特点及其超高产栽培技术. *麦类作物学报*, 1999, 19(2): 18~20
- 15 高松洁, 王文静, 郭天财等. 不同穗型冬小麦品种灌浆期旗叶碳氮代谢特点及籽粒淀粉积累动态. *作物学报*, 2003, 29(3): 427~431
- 16 赵会杰, 任琴, 郭天财等. 大穗型小麦兰考906分蘖发育的生理特征及其调控. *麦类作物学报*, 2001, 21(4): 67~71