

缺失不同 Wx 蛋白对小麦籽粒直链淀粉合成及淀粉特性的影响

谭彩霞^{1,2}, 封超年¹, 郭文善¹, 朱新开¹, 李春燕¹, 彭永欣¹

(1. 扬州大学江苏省作物遗传生理重点实验室, 江苏扬州 225009; 2. 金陵科技学院, 江苏南京 211169)

摘要: 为探索糯小麦籽粒直链淀粉合成的生理机制, 以缺失不同 Wx 蛋白的小麦品种为试验材料, 研究缺失不同 Wx 蛋白对小麦籽粒直链淀粉合成及淀粉特性的影响。结果表明, 缺失不同 Wx 蛋白对小麦籽粒直链淀粉含量、积累量和积累速率、束缚态淀粉合成酶基因(*GBSSI*)相对表达量以及束缚态淀粉合成酶(*GBSS*)活性的影响顺序均表现为: ABD 型(缺失 *Wx-A1*、*Wx-B1*、*Wx-D1*) > AB 型(缺失 *Wx-A1* 和 *Wx-B1*) > B 型(缺失 *Wx-B1*) > D 型(缺失 *Wx-D1*) > A 型(缺失 *Wx-A1*) > 正常型; 对淀粉最终黏度、反弹值以及糊化温度影响的表现顺序与其一致; 对淀粉峰值黏度、低谷黏度、稀懈值以及膨胀势影响的表现顺序与此相反。

关键词: 小麦; Wx 蛋白; 直链淀粉; *GBSSI*; *GBSS*

中图分类号: S512.1; S311

文献标识码: A

文章编号: 1009-1041(2010)05-0920-06

Effect of Missing Different Wx Protein on Amylose Synthesis and Starch Properties in Wheat Grains

TAN Cai-xia^{1,2}, FENG Chao-nian¹, GUO Wen-shan¹,
ZHU Xin-kai¹, LI Chun-yan¹, PENG Yong-Xin¹

(1. Key Lab of Crop Genetics and Physiology of Jiangsu Province, Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu 225009, China;

2. Jinling Institute of Technology, Nanjing, Jiangsu 211169, China)

Abstract: The purposes of the present study with wheat missing different Wx proteins as tested materials were to investigate the effect of missing different Wx proteins on amylose synthesis and starch properties in wheat grains. The results showed that: the effects of missing different Wx protein on amylose content, expression level of *GBSSI* and *GBSS* activity were recorded in the following order: waxy type > double null alleles of *Wx-A1* and *Wx-B1* > single null alleles of *Wx-B1* > single null alleles of *Wx-D1* > single null alleles of *Wx-A1* > normal type. Similar trends were observed in final viscosity, rebound value, and gelatinization temperature, while opposite trends were measured in peak viscosity, trough viscosity, breakdown and expansion.

Key words: Wheat; Wx protein; Amylose; Granule-bound starch synthase gene; Granule-bound starch synthase

普通六倍体小麦 (*Triticum aestivum* L.) 含有 3 种 Wx 蛋白, 即 *Wx-A1*、*Wx-B1* 和 *Wx-D1*。在六倍体小麦已发现的缺失类型中, *Wx-B1* 缺失型最常见, 其次是 *Wx-A1* 缺失型, 而 *Wx-D1* 缺

失型非常罕见, 双缺失型中以 *Wx-A1* 和 *Wx-B1* 同时缺失较常见, 其余双缺失型及三缺失型(糯小麦)在自然界尚未发现。通过人工杂交现已培育出 3 种 Wx 蛋白全部缺失的六倍体小麦, 其胚乳

* 收稿日期: 2010-02-22 修回日期: 2010-04-27

基金项目: 江苏省“六大人才高峰”项目(07-G-008); 国家自然科学基金项目(31071340, 30370829); 扬州大学自然科学基金项目(2007cxj015)。

作者简介: 谭彩霞(1978-), 女, 博士, 讲师, 主要从事作物栽培与生理研究。E-mail: tancaixia0802@sina.com

通讯作者: 封超年(1957-), 男, 博士, 教授, 主要从事作物生理和优质高产、高效栽培技术研究。E-mail: fengcn@yzu.edu.cn

中直链淀粉含量几乎为 0, 表现为糯性^[1]。Wx 蛋白缺失会导致籽粒束缚态淀粉合成酶(GBSS)活性下降, 直链淀粉含量降低, 从而改变小麦的淀粉特性^[2]。Miura 等^[3-4]利用相同遗传背景的小麦为材料的研究表明, Wx-B1 缺失型直链淀粉的含量从约 25.5% 下降到 22.5%, 当 Wx-A1 或 Wx-D1 缺失时, 直链淀粉的含量也有所下降, 但其减少的幅度只有 Wx-B1 缺失型的一半, 说明 Wx-B1 对直链淀粉的合成贡献最大。并且缺失 Wx 蛋白小麦面粉峰值黏度、膨胀势、糊化黏度以及稀懈值高, 具有良好的面条品质^[5-8]。Baik B K 等^[10]和刘建军等^[11]研究表明, 部分糯质小麦淀粉具有较高的糊化黏度、稀懈值和膨胀势, 适宜用于制做日本白盐面条和中国干面条。综上所述, 前人关于缺失不同 Wx 蛋白对小麦籽粒直链淀粉含量以及淀粉品质影响方面的研究较多。但关于缺失不同 Wx 蛋白对小麦籽粒直链淀粉合成过程的影响及其生理机制(如 GBSSI 的表达、GBSS 的活性)报道较少。本试验选用缺失不同 Wx 蛋白的小麦为研究材料, 探讨缺失不同 Wx 蛋白对小麦籽粒直链淀粉积累、GBSSI 表达、GBSS 活性以及淀粉特性的影响, 以期为部分糯质小麦和糯小麦的品质育种及深加工利用提供理论和实践依据。

1 材料与方 法

供试品种为: 正常型小麦品种扬麦 17(对照); A 型小麦品种(即缺失 Wx-A1 的品种)ZH/A、Sturdy; B 型小麦品种(即缺失 Wx-B1 的品种)B、ZH/B、扬麦 9 号; D 型小麦品种(即缺失 Wx-D1 的品种)ZH/D、白火麦; AB 型小麦品种(即缺失 Wx-A1 和 Wx-B1 的品种)IKE、关东 107; ABD 型小麦品种(即缺失 Wx-A1、Wx-B1 和 Wx-D1 的品种)Wx11、Wx13。

试验于 2006—2008 年在扬州大学农学院江苏省作物遗传生理重点实验室试验场进行, 试验田前茬为水稻, 土质为轻壤土。2006 年秋播时 0~20 cm 土层土壤肥力水平为: 水解氮 69.67 mg·kg⁻¹, 速效磷 42.65 mg·kg⁻¹, 速效钾 98.53 mg·kg⁻¹, 土壤有机质含量 16.3 g·kg⁻¹。2007 年秋播时 0~20 cm 土层土壤肥力水平为: 水解氮 72.23 mg·kg⁻¹, 速效磷 44.85 mg·kg⁻¹, 速效钾 104.87 mg·kg⁻¹, 土壤有机质含量 19.48 g·kg⁻¹。

1.1 试验设计

10 月 27 日播种。基本苗为 180 万·hm⁻², 施氮总量为 210 kg·hm⁻²。氮肥运筹比例设基肥: 壮蘖肥: 拔节肥为 5:1:4。基肥于播种前施用, 壮蘖肥于越冬期施用, 拔节肥于叶龄余数 1.5 时施用, 磷(P₂O₅)、钾(K₂O)肥施用量各 90 kg·hm⁻², 磷、钾肥运筹为基肥和拔节肥各占 50%。人工条播, 行距为 30 cm, 小区面积为 3 m×4 m=12 m², 重复 3 次, 随机区组排列。

1.2 直链淀粉含量测定

开花期标记同一天开花一致的小麦穗, 花后每 5 d 取 5 个麦穗, 剥取籽粒并计数, 测定各处理籽粒的鲜重和干重后, 采用双波长法测定直链淀粉含量^[12]。糯小麦采用蒽酮比色法测定总淀粉含量^[13]。

1.3 小麦籽粒 GBSSI 基因表达量的测定

1.3.1 籽粒胚乳总 RNA 提取

小麦开花期用记号笔标记同一天开花的麦穗中上部颖花, 花后每 5 d 每个小区取 10 个麦穗, 剥取籽粒, 在液氮中速冻 30 min 后, 迅速转移到 -70 °C 超低温冰箱中。采用冷酚法提取小麦籽粒胚乳总 RNA^[14]。

1.3.2 籽粒胚乳总 RNA 的定量、变性检测及纯化

1) 定量: 测 260、280 nm 处的吸光值, 计算 A260/A280 的值, 估算总 RNA 的纯度, 通过 A260 的值分别对不同品种及不同生育期的总 RNA 进行定量。2) RNA 完整性检测: 采用甲醛变性凝胶电泳对所提取的总 RNA 完整性进行分析, 出现明显的 18S 和 28S 两条带, 且无拖尾现象, 表明所提取的总 RNA 完整(图 1)。3) RNA 纯化: 用 DNA 酶去除 RNA 中的 DNA 分子, 以防止 DNA 污染。

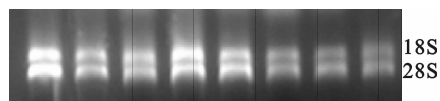


图 1 总 RNA 完整性检测

Fig. 1 Testing integrity of the total RNA

1.3.3 反转录合成 cDNA 第一链

取各样本 RNA 2 μg, 按 PrimeScript™ RT Reagent Kit 试剂盒(TaKaRa 公司 日本)上标明的方法操作: 在一个经 DEPC 处理过的离心管中加入总 RNA 2 μL、Mix×I 1 μL、oligdT 1 μL、Random 6 mers 1 μL, 加 DEPC 处理的灭菌水至 20 μL。混合后 37 °C 反转录反应 20 min, 85 °C

10 s 消除转录酶的活性,反转录后的 cDNA 贮存于-70 ℃冰箱备用。

1.3.4 定量 PCR 引物设计

利用 primer 5.0 引物设计软件,根据美国国立生物技术信息中心 (NCBI) 公布的 GBSSI (GenBank Accession No. AF286320) mRNA 基因序列设计引物,GBSSI 上游引物: 5'-ATCGT-CAACGGCATGGATGT-3'; 下游引物: 5'-CCCTCACCTTGCTCGGGAAT-3',引物由上海生物工程有限公司合成。

1.3.5 反转录产物的 PCR 扩增

各 cDNA 样品分别以目标基因 18S 引物进行定量 PCR 反应,反应采用 TaKaRa 公司 SYBR Premix Ex TaqTM (Perfect Real Time) 试剂盒。反应体系为 25 μL: SYBR Premix Ex TaqTM (2 ×) 12.5 μL; 上游引物 0.5 μL, 下游引物 0.5 μL; RT 反应液 2 μL; Rox Reference Dye II (50 ×) 0.5 μL; 灭菌 ddH₂O 9 μL。配制混合物充分混匀后平均分配至 96 孔 PCR 板中。反应于 ABI7000PCR 仪上 PCR 扩增进行,每个样品做 4 次平行反应,采用两步法 PCR 扩增标准程序。反应条件如下: 95 ℃下预变性 10 s, 95 ℃下 5 s, 60 ℃下 40 s, 循环 40 次。结束后做 50~95 ℃的熔解曲线分析,荧光波长为 490 nm。

1.3.6 荧光定量 PCR 数据分析方法

PCR 完成后,用相对定量研究方法分析试验结果。以 18S 为对照基因,校正 PCR 模板的拷贝数。相对量采用 $2^{-\Delta Ct}$ 方法计算,即 ΔCt (目标基因) = Ct (目标基因) - Ct (同一样本 18S); 而相对倍数 (Relative quantification) = $2^{-\Delta Ct}$ 。

1.4 GBSS 活性测定

主要参照程方民^[15]的方法进行测定。

1.5 淀粉黏度测定

利用 Newport 快速黏度仪 (RVA, 澳大利亚新港公司), 测定模式选用说明书上的标准方法 1 和标准分析方法 1。

1.6 膨胀势测定

称取过 100 目筛的干面粉 0.25 g, 置入 10 mL 离心管中, 加入 5 mL 蒸馏水, 颠倒 20 次, 混匀, 70 ℃ 晃动水浴 4 min, 取出摇动, 混匀, 70 ℃ 水浴 6 min, 移至 100 ℃ 下水浴 10 min, 取出, 置入冷水中 5 min, 离心 (1 700 × g, 4 min) 轻轻吸去上清液, 连离心管一起称毛重。

膨胀势计算公式: 膨胀势 = 净膨胀重 (g) / 干面粉重 (g) = [毛重 (g) - 离心管重 (g)] / 干面粉重 (g)

1.7 数据分析

数据用 Excel、DPS 等软件进行分析和绘图。

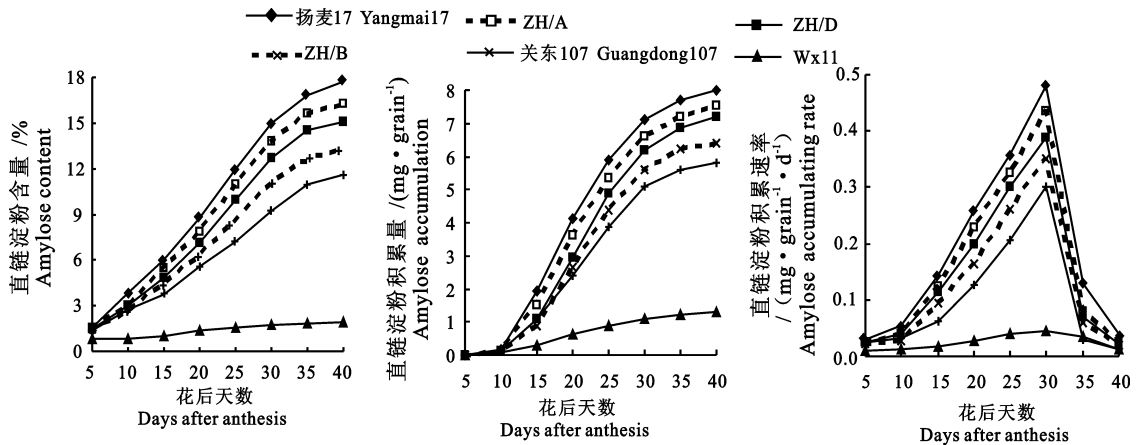


图2 缺失不同 Wx 蛋白对小麦籽粒直链淀粉含量、积累量、积累速率的影响

Fig. 2 Changes of the content, accumulation and accumulating rate of amylose in wheat grains missing different Wx protein

2 结果与分析

2.1 缺失不同 Wx 蛋白对小麦籽粒直链淀粉积累的影响

由图 2 可知: 缺失不同 Wx 蛋白对小麦籽粒直链淀粉含量、积累量和积累速率的影响, 在整个

灌浆期均表现为: Wx11 (ABD 型) > 关东 107 (AB 型) > ZH/B (B 型) > ZH/D (D 型) > ZH/A (A 型) > 扬麦 17 (正常型)。说明 3 种 Wx 蛋白对直链淀粉含量的作用能力表现为: Wx-B1 > Wx-D1 > Wx-A1。当 3 种 Wx 蛋白都缺失时, 对小麦籽粒直链淀粉含量、积累量和积累速率的影响最大,

其值几乎为零,显著低于其他类型的小麦。

2.2 缺失不同 Wx 蛋白对小麦籽粒 GBSSI 基因表达的影响

由图 3 可以看出,缺失不同 Wx 蛋白的小麦籽粒中 GBSSI 表达变化趋势一致,均呈单峰曲线变化,花后 5 d 左右开始表达,15 d 达最大值,之后急剧下降,到成熟期表达量达最低值。缺失不同 Wx 蛋白对籽粒 GBSSI 相对表达量的影响大小表现为:Wx11(ABD 型) > 关东 107(AB 型) > ZH/B(B 型) > ZH/D(D 型) > ZH/A(A 型) > 扬麦 17(正常型),ABD 型糯小麦 Wx11 籽粒中

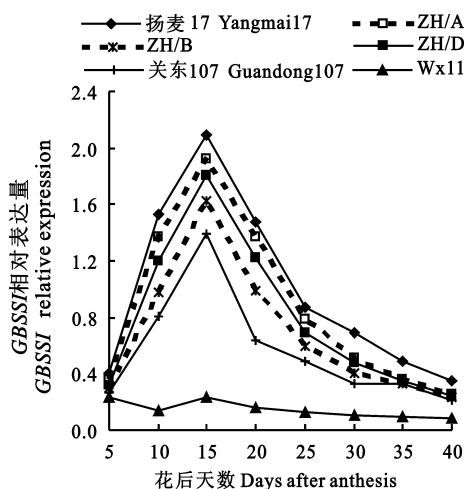


图 3 缺失不同 Wx 蛋白的小麦籽粒 GBSSI 表达情况

Fig. 3 Changes of GBSSI expression in wheat grains missing different Wx protein

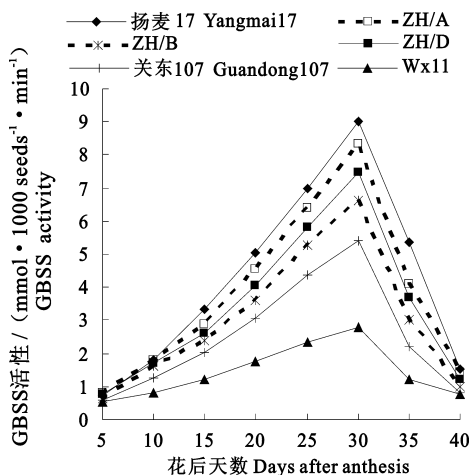


图 4 缺失不同 Wx 蛋白小麦籽粒 GBSS 活性变化情况

Fig. 4 Changes of GBSS activity in wheat grains missing different Wx protein

GBSSI 相对表达量最低,显著低于其他 3 种缺失不同 Wx 蛋白的小麦。

2.3 缺失不同 Wx 蛋白对小麦籽粒 GBSS 活性的影响

由图 4 可以看出,缺失不同 Wx 蛋白的小麦籽粒中 GBSS 活性均呈单峰曲线变化,花后 5~10 d 酶活性上升比较缓慢,10~30 d 迅速上升,至花后 30 d 达最大值,之后急剧下降。缺失不同 Wx 蛋白对籽粒 GBSS 活性的影响大小表现为:Wx11(ABD 型) > 关东 107(AB 型) > ZH/B(型) > ZH/D(D 型) > ZH/A(A 型) > 扬麦 17(正常型),ABD 型糯小麦 Wx11 籽粒中 GBSS 活性显著低于其他 3 种缺失不同 Wx 蛋白的小麦。

表 1 缺失不同 Wx 蛋白小麦籽粒成熟期直链淀粉含量与膨胀势

Table 1 Amylose contents and swelling power of wheat grains missing different Wx protein

品种类型 Types	品种 Variety	直链淀粉含量/% Amylose content	膨胀势 Swelling power
正常型 Normal types	扬麦 17 Yangmai 17	17.690	11.548
A 型 A types	ZH/A	16.286	11.380
	Sturdy	16.693	12.026
	平均 Average	16.489	11.703
D 型 D types	ZH/D	15.068	11.730
	白火麦 Baihuomai	14.589	11.701
	平均 Average	14.828	11.716
B 型 B types	B	13.646	12.261
	ZH/B	13.267	11.976
	扬麦 9 号 Yangmai 9	12.497	11.458
	平均 Average	13.137	11.898
AB 型 AB types	IKE	11.458	13.344
	关东 107 Guandong 107	11.580	12.440
	平均 Average	11.519	12.892
ABD 型 ABD types	Wx11	1.960	—
	Wx13	1.335	—
	平均 Average	1.648	—

A 型:缺失 Wx-A1;D 型:缺失 Wx-D1;B 型:缺失 Wx-B1;AB 型:缺失 Wx-A1 和 Wx-B1;ABD 型:缺失 Wx-A1、Wx-B1 和 Wx-D1。下同。

A type:single null alleles of Wx-A1;D type:single null alleles of Wx-D1;B type:single null alleles of Wx-B1;AB type:double null alleles of Wx-A1 and Wx-B1;ABD type:three null alleles of Wx-A1,Wx-B1 and Wx-D1. The same are as in table 2.

2.4 缺失不同 Wx 蛋白对小麦籽粒成熟期直链淀粉含量和膨胀势的影响

缺失不同 Wx 蛋白对成熟期籽粒直链淀粉含量的影响大小表现为:ABD 型 > AB 型 > B 型 > D 型 > A 型 > 正常型(表 1)。由表 1 可知,不同

Wx 蛋白缺失型小麦品种之间,淀粉膨胀势的大小表现为:AB 型>B 型>D 型>A 型>ABD 型(ABD 型中未能测出膨胀势),此结果与缺失不同 Wx 蛋白籽粒中直链淀粉含量大小顺序相反。由此说明,缺失单个 Wx 蛋白类型中,B 型具有较高的淀粉膨胀势,原因可能是除了直链淀粉含量降低外,淀粉结构有可能也发生了变化,促使面粉膨胀势增加,面条品质改良;另外一种原因可能是在面粉吸水膨胀作用中,直链淀粉的贡献小于支链淀粉。

2.5 缺失不同 Wx 蛋白对小麦籽粒淀粉黏度特性的影响

由表 2 可知,不同 Wx 蛋白缺失型小麦品种之间,淀粉峰值黏度、低谷黏度、稀懈值均表现为:AB 型>B 型>D 型>A 型>正常型>ABD 型;

表 2 缺失不同 Wx 蛋白小麦籽粒淀粉黏度特性

Table 2 Variation of pasting parameters in wheat grains missing different Wx protein

品种类型 Types	品种 Variety	峰值黏度 PV /cP	低谷黏度 TV /cP	稀懈值 BD /cP	最终黏度 FV /cP	反弹值 SB /cP	峰值时间 PT /min	糊化温度 GT /C
正常型 Normal types	扬麦 17 Yangmai 17	2810	1990	820	3524	1134	6	80
A 型 A types	Sturdy	2812	1759	1053	3403	1057	6	68
	ZH/A	2847	2255	592	3418	1081	7	88
	平均值 Average	2830	2007	823	3411	1069	7	78
D 型 D types	ZH/D	2825	2155	670	3351	1072	7	88
	白火麦 Baihuomai	3312	2274	1038	3348	958	7	68
	平均值 Average	3069	2214	855	3349	1015	7	78
B 型 B types	B	3298	2379	919	3326	971	7	67
	ZH/B	3257	2380	877	3305	1131	7	81
	扬麦 9 号 Yangmai 9	3356	2230	1126	3289	899	7	75
	平均值 Average	3304	2329	975	3307	1000	7	74
AB 型 AB types	关东 107 Guandong107	3593	2708	885	3206	895	7	70
	IKE	3454	2268	1186	3236	950	7	70
	平均值 Average	3524	2488	1036	3221	923	7	70
ABD 型 ABD types	Wx11	2192	1000	1192	1379	379	4	69
	Wx13	1825	629	1196	810	181	4	69
	平均值 Average	2009	1372	637	1095	280	4	69

PV: Peak viscosity; TV: Trough viscosity; BD: Break down; FV: Final viscosity; SB: Setback; PT: Peak time; GT: Pasting temperature.

3 讨论

3.1 缺失不同 Wx 蛋白对小麦籽粒 GBSSI 基因表达和 GBSS 活性的影响

小麦 Waxy 蛋白缺失的可能原因是 GBSSI 基因缺失或发生了突变。单一的基础突变导致剪接位点改变,一个糯水稻突变体中发现 GBSSI 基因的 mRNA 和 GBSS 活性降低^[16]。Sprague 等^[17]发现玉米突变体 Waxy 中 GBSS 活性和直链淀粉含量几乎为零。另外,Nakamura 等^[18]利用 Southern 和 PCR 方法分析,发现水稻籽粒中 GBSSI 基因并不缺失,但 Wx-A1 和 Wx-B1 位点

淀粉最终黏度、反弹值、糊化温度表现为:正常型>A 型>D 型>B 型>AB 型>ABD 型。以上说明 Wx 蛋白缺失使得 RVA 特征值中的峰值黏度、低谷黏度、稀懈值增大,到达淀粉高峰黏度的时间推后;而使得淀粉最终黏度、反弹值及糊化温度降低,并随着缺失亚基数目的增多,淀粉峰值黏度、低谷黏度、稀懈值增加的幅度也增大;淀粉低谷黏度、反弹值及糊化温度降低的幅度也随之增大。对于只缺失一个亚基的材料来说,缺失 Wx-B1 亚基材料的淀粉峰值黏度最大,稀懈值最高,糊化温度最低。直链淀粉含量非常低的糯小麦由于其淀粉颗粒的特殊性,而表现出很多特质:如淀粉峰值黏度、低谷黏度、最终黏度、反弹值以及峰值时间和糊化温度均表现为最低。

的结构基因分别有一中间缺失段(30~50 bp)和一个插入段(20 bp),在 Wx-D1 位点的结构基因中,未发现缺失或插入段。因此,Nakamura 认为 Wx 蛋白的缺失可能是由于遗传障碍致使基因不能表达而造成的。本试验结果表明,ABD 型的糯小麦中 GBSSI 基因基本不表达,GBSS 活性几乎为零,与上述研究结果一致。

3.2 缺失不同 Wx 蛋白对小麦籽粒直链淀粉合成的影响

根据小麦籽粒中是否存在 Wx-A1、Wx-B1 和 Wx-D1 3 种蛋白,可将小麦划分为 8 种类型。Mira 等^[6]应用中国春染色体代换系获得了全部 8

种 Waxy 类型,并将它们与不缺失 W_x 蛋白的中国春进行了比较,结果表明,8 种 W_x 类型的直链淀粉含量降低的幅度为:3 个 W_x 蛋白均缺失的类型 > W_x-B1 和 W_x-D1 均缺失的类型 > W_x-A1 和 W_x-B1 均缺失的类型 > W_x-A1 和 W_x-D1 均缺失的类型 > W_x-B1 缺失的类型 > W_x-D1 缺失的类型 > W_x-A1 缺失的类型 > 正常型。本试验结果表明,缺失不同 W_x 蛋白对成熟期籽粒直链淀粉含量的影响大小表现为:ABD 型 > AB 型 > B 型 > D 型 > A 型 > 正常型。说明 W_x 蛋白缺失能降低小麦籽粒中直链淀粉的含量,并且 W_x 蛋白亚基缺失的数目越多,直链淀粉含量降低的幅度越大。3 种 W_x 蛋白对直链淀粉合成的作用大小表现为:W_x-B1 > W_x-D1 > W_x-A1。

3.3 缺失不同 W_x 蛋白对小麦籽粒淀粉特性的影响

宋健民等^[19]发现,大多数 W_x-B1 缺失类型品种具有较高的淀粉峰值黏度。师风华等^[2]研究表明:糯性淀粉(主要是支链淀粉)起始糊化温度和淀粉最终黏度低,膨胀势、高峰黏度以及崩解值高,峰值时间延长,回生慢。本研究结果表明,不同 W_x 蛋白缺失型小麦品种之间淀粉峰值黏度、低谷黏度、稀懈值以及膨胀势均表现为:AB 型 > B 型 > D 型 > A 型 > 正常型 > ABD 型;淀粉最终黏度、反弹值、糊化温度表现为:正常型 > A 型 > D 型 > B 型 > AB 型 > ABD 型。由此说明:1) W_x 蛋白缺失使得 RVA 特征值中的峰值黏度、低谷黏度、稀懈值增高以及到达高峰黏度的时间推后,使得淀粉最终黏度、反弹值及糊化温度降低;2) 随着 W_x 蛋白缺失数目的增多,淀粉膨胀势、峰值黏度、低谷黏度、稀懈值上升的幅度增大以及到达高峰黏度的时间推后;淀粉低谷黏度、反弹值及糊化温度降低的幅度也随之增大;3) 对于只缺失一个亚基的材料来说,缺失 W_x-B1 材料的膨胀势最高,峰值黏度最大,稀懈值最高,糊化温度最低。

参考文献:

[1] Graybosch R A. Waxy wheats: Origin, properties, and prospects[J]. Trends in Food Science and Technology, 1998, 10 (8): 135-142.

[2] 师风华,徐杰,尤明山,等. 小麦胚乳 W_x 蛋白缺失对淀粉含量和淀粉特性的影响[J]. 麦类作物学报, 2006, 26 (5): 54-59.

[3] Miura H, Tani S, Nakamura T, *et al.* Genetic control of amyl-

ase content in wheat endosperm starch and differential effects of three W_x genes[J]. Theoretical and Applied Genetics, 2000, 100 (1): 32-38.

- [4] Miura H, Araki E, Tarui S. Amylose synthesis capacity of the three W_x gene of wheat Chinese Spring[J]. Euphytica, 1999, 108 (2): 91-95.
- [5] Yamamori M, Endo T R. Variation of starch granule proteins and chromosome mapping of their coding genes in common wheat[J]. Theoretical and Applied Genetics, 1996, 93: 275-281.
- [6] Miura H, Sugawara A. Dosage effects of the three W_x genes on amylose synthesis in wheat endosperm[J]. Theoretical and Applied Genetics, 1996, 93: 1066-1070.
- [7] Crosbie G B. The relationship between starch swelling properties, paste viscosity and boiled noodle quality in wheat flours[J]. Journal Cereal Science, 1991, 131: 145-150.
- [8] Yun S H, Quail K. Physicochemical properties of Australian wheat flours for white salted noodles[J]. Journal Cereal Science, 1996, 23: 181-189.
- [9] 师风华,徐杰,李保云,等. 小麦胚乳 W_x 蛋白缺失对籽粒淀粉含量的影响[J]. 中国农业大学学报, 2006, 11(6): 41-44.
- [10] Baik B K, Lee M R. Effects of starch amylose content of wheat on textural properties of white salted noodles[J]. Cereal Chemistry, 2003, 80(3): 304-309.
- [11] 刘建军,何中虎,杨金,等. 小麦品种淀粉特性变异及其与面条品质关系的研究[J]. 中国农业科学, 2003, 36(1): 7-12.
- [12] 何照范. 粮油籽粒品质及其分析技术[M]. 北京:北京农业出版社, 1995.
- [13] 何照范,张迪青. 保健食品化学及其检测技术[M]. 北京:北京轻工业出版社, 1998.
- [14] 郑霁琴,王宗阳,高继平. 水稻籽粒胚乳总 RNA 的提取[J]. 植物生理学通讯, 1993, 29(6): 438-440.
- [15] 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[J]. 作物学报, 2001, 27(2): 201-206.
- [16] Cal X L, Wang Z Y, Xing Y Y, *et al.* Aberrant splicing of intron1 leads to the heterogeneous 5'UTR and decreased expression of waxy gene in rice cultivars of intermediate amylose content[J]. The Plant Journal, 1991, 14(4): 459-465.
- [17] Sprague G F, Bringhall B, Hixon R M. Some effect of the waxy gene in corn on properties of the endosperm starch[J]. Jam Society Agronomy, 1943, 35: 817.
- [18] Nakamura Y, Umemoto T, Takahata Y, *et al.* Changes in structure of starch and enzyme activities affected by sugary mutations in developing rice endosperm. Possible role of starch debranching enzyme (R-enzyme) in amylopectin biosynthesis[J]. Plant Physiology, 1996b, 97: 491-498.
- [19] 宋健民,戴双,李豪圣,等. W_x 蛋白缺失对淀粉理化特性和面条品质的影响[J]. 中国农业科学, 2007, 40(12): 2888-2894.