

# 小麦淀粉中不同性状淀粉 对流变学性质的影响

李俊超<sup>1</sup>, 刘钟栋<sup>1,\*</sup>, 岑涛<sup>2</sup>, 孙鸿明<sup>2</sup>

(1.河南工业大学, 河南郑州 450052; 2.丹尼斯克(中国)有限公司, 江苏昆山 215300)

**摘要:**普通小麦淀粉与糯质小麦淀粉因直链淀粉的含量不同而表现出不同的凝胶特性,流变学测试表明:支链淀粉含量与淀粉糊化液体的假塑性负相关。

**关键词:**流变学, 支链淀粉, 直链淀粉

## Effect of different starch in wheat on the rheology properties of starch paste

LI Jun-chao<sup>1</sup>, LIU Zhong-dong<sup>1,\*</sup>, CEN Tao<sup>2</sup>, SUN Hong-ming<sup>2</sup>

(1.Henan University of Technology, Zhengzhou 450052, China;  
2.Danisco (China) Co., Ltd., Kunshan 215300, China)

**Abstract:** Regular wheat starch and waxy wheat starch have different gel properties because of the difference of amylose concentration in each starch, the results showed that pseudoplastic of paste was negative correlation to the amylopectin concentration in wheat starch.

**Key words:** rheology; amylopectin; amylose

中图分类号: TS201.7

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2008)07-0063-03

小麦淀粉分子中按单糖的连接方式不同可分为直链淀粉和支链淀粉两种。直链淀粉和支链淀粉由于有不同的单糖连接方式而表现出不同的流变学性质,本文选取非糯性普通小麦淀粉和全糯质小麦淀粉进行流变学分析,从而揭示二者之间的差异性,为利用这种差异性提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

普通小麦淀粉、糯质小麦淀粉 均为自制<sup>[1]</sup>。

RheoStress1 应力流变仪 德国 ThermoHaake 公司。

### 1.2 实验方法

1.2.1 小麦淀粉中直链淀粉含量的测量 参照文献[2]。

1.2.2 小麦淀粉糊状液的制备 由于普通小麦淀粉中的支链淀粉含量比较高,考虑到加入少量的支链淀粉可能对直链淀粉和支链淀粉的比例不构成很大

的影响,采取在普通小麦淀粉中加入支链淀粉来调节直链淀粉和支链淀粉的比例。普通小麦淀粉与糯小麦淀粉按 0/10、1/9、2/8、3/7、4/6、5/5 的比例混合,分别制成总淀粉含量为 6% (干基) 的混合淀粉糊状液。50℃ 下保温 2min,按升温速率 12.16℃/min 升温至 95℃ 并保持 2.5min,然后以 12.16℃/min 的速率降温至 50℃,并保持 2min。样品于 5℃ 下放置 12h,然后进行流变性测量。

1.2.3 混合淀粉糊状液流变学性质的测量 将适量的测试样品置于测试板上进行测定,转子规格为 C60/2Ti,转子与底板间距为 0.087mm,温控设备 DC3。操作条件为:控制应变型,线性变化,剪切速率变化区间为 0.10~10001/s,时间设定为 60.00s,数据采集数为 120 个,温度设定为 25.00℃。

## 2 结果与分析

### 2.1 小麦淀粉中的直链淀粉含量

普通小麦、糯质小麦淀粉中的直链淀粉含量分别为 28.63%、2.22%,则总淀粉含量为 6% (干基) 的混合淀粉糊中的直链、支链淀粉含量见表 1。

### 2.2 淀粉的流变学测量<sup>[3]</sup>

2.2.1 应力回归分析 各种比例的混合淀粉糊状液的应力-应变曲线见图 1。

收稿日期:2007-11-26 \* 通讯联系人

作者简介:李俊超(1979-),男,在读硕士生,研究方向:食品资源开发与利用。

基金项目:国家自然科学基金项目(20672029);国家 863 项目(2007AA100401)。

表1 各种比例的淀粉糊中的直链、支链淀粉含量

淀粉比例	直链淀粉(%)	支链淀粉(%)
0/10	0.1332	5.8668
1/9	0.2917	5.7083
2/8	0.4501	5.5499
3/7	0.6086	5.3914
4/6	0.7670	5.2330
5/5	0.9255	5.0745

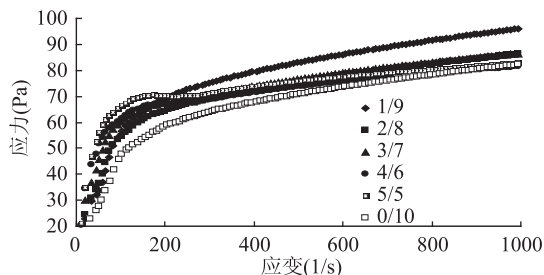


图1 淀粉糊的应力-应变曲线

选取应力回归曲线对流变学曲线进行回归,回归方程为幂函数回归: $\tau = K\gamma^n$

其中: $\tau$ —剪切应力, Pa;  $\gamma$ —剪切速率,  $s^{-1}$ ; K—稠度指数,  $Pa \cdot s^n$ ; n—流变行为指数, 无量纲, n=1时为牛顿流体, n值越小, 流体的假塑性越强。

稠度指数 K 和流变学行为指数 n 取决于淀粉的类型、浓度和温度<sup>[4,5]</sup>, 在固定的温度下, 通过调节不同类型(直链/支链)淀粉的浓度, 从而能够考察小麦直链/支链淀粉浓度对流变行为的影响。不同配粉比例淀粉糊状液的应力回归参数值见表2。

表2 不同配粉比例淀粉糊状液的应力回归参数值

淀粉比例	K	n	R
0/10	13.25	0.2774	0.9725
1/9	15.48	0.2687	0.9746
2/8	17.09	0.2381	0.9738
3/7	21.78	0.2025	0.9698
4/6	25.54	0.1711	0.9561
5/5	29.40	0.1531	0.9388

从表2可以看出, 回归方程的相关性系数均大于0.93, 具有较高的拟合性。运用 SPSS 分析软件对支链淀粉含量(X)和稠度指数(K)进行线性回归分析, 二者呈极其显著线性负相关( $p < 0.01$ ),  $R = -0.988$ , 线性回归方程为:  $K = -20.848X + 134.475$ ; 支链淀粉含量(X)与流变行为指数(n)的线性回归表明, 二者线性呈正相关( $p < 0.001$ ), 回归方程为:  $n = 0.171X - 0.719$ ,  $R = 0.990$ 。利用方差分析对回归方程检验表明回归方程有意义。

2.2.2 粘度回归分析 各种比例的混合淀粉糊状液的粘度-应变曲线见图2。

对粘度曲线进行 Herschel-Bulkley 回归, 回归方程为:  $\eta = \tau_0/\gamma + K\gamma^{n-1}$ , 各系数见表3。

表3结果显示, 回归方程的拟合程度较高(相关系数  $R > 0.97$ )。相关性分析表明, Herschel-Bulkley 方程参数(K)与支链淀粉含量(X)呈线性负相关( $p < 0.05$ ), 线性方程为  $K = -26.895X + 161.714$ ,  $R = -0.978$ ; 支链淀粉含量(X)与流变行为指数(n)呈线性正相关( $p < 0.001$ ),  $R = 0.994$ 。方差分析对回归方程检验表明, 回归方程有意义。

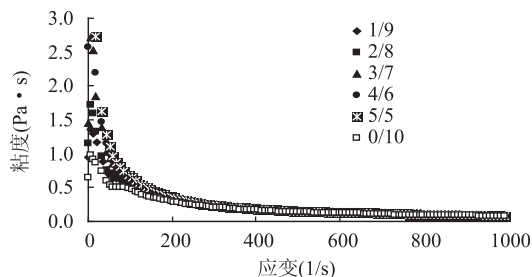


图2 淀粉糊的粘度-应变曲线

表3 不同配粉比例淀粉糊状液的 Herschel-Bulkley 粘度回归参数值

淀粉比例	K	n	R
0/10	5.655	0.4489	0.9710
1/9	8.095	0.4104	0.9793
2/8	11.4	0.3482	0.9862
3/7	14.1	0.3302	0.9813
4/6	21.04	0.2723	0.9892
5/5	27.18	0.2415	0.9953

选取 Carreau-Yasuda 回归方程对粘度进行回归, 回归方程为:  $\eta = \eta_\infty + (\eta_0 - \eta_\infty) / [1 + (\lambda\gamma)^a]^{(1-n)/a}$

式中:  $\eta_\infty = 0.000$ ;  $a = 2.000$ ; 各系数值见表4。

表4 不同配粉比例淀粉糊状液的 Carreau-Yasuda 粘度回归方程各参数值

淀粉比例	$\eta_0$	n	R
0/10	0.9124	0.3336	0.9835
1/9	1.205	0.2916	0.9861
2/8	1.508	0.2471	0.9865
3/7	2.252	0.1719	0.9740
4/6	3.447	0.1493	0.9828
5/5	4.780	0.1037	0.9762

表4结果表明, 零剪切粘度( $\eta_0$ )与直链淀粉含量(Y)呈正相关( $p < 0.05$ ), 线性回归方程为  $\eta_0 = 4.834Y - 0.208$ ,  $R = 0.957$ ; n与支链淀粉含量(X)呈极显著正相关( $p < 0.001$ ), 线性回归方程为  $n = 0.298X - 1.413$ ,  $R = 0.993$ 。方差分析对回归方程检验表明, 回归方程有意义。

### 2.3 结果分析

小麦淀粉中含有两种链状结构的淀粉, 两种淀粉的含量互为反比。应力回归分析表明: 随着淀粉糊状液中直链淀粉含量的增大, 稠度指数 K 变大, n 变小, 淀粉糊状液变稠, 淀粉糊易于形成凝胶, 这与丁文平等<sup>[6]</sup>、Zeng<sup>[7]</sup>等和 Kiribuchi<sup>[8]</sup>等的研究结果一致; 流变行为指数 n 随糊状液中支链淀粉的含量的增大而增大, 流体的假塑性增强。6% 的普通小麦淀粉糊化能形成不能流动的凝胶, 而相同浓度的糯质小麦淀粉可形成具有流动性的糊状液, 这是直链淀粉和支链淀粉对流体的假塑性贡献不同的结果。对于 6% 的淀粉糊粘弹性流体, 支链淀粉对流体的粘性贡献较大, 表现为支链淀粉的含量越高, 粘弹性流体的流变行为指数 n 越大, 粘弹性流体的假塑性越弱, 流体越易于流动。流变学测量过程中, 零剪切粘度( $\eta_0$ )与高分子聚合物的分子量呈正相关<sup>[3]</sup>, 流变学分析表明, 淀粉糊状液的零剪切粘度与直链淀粉的

(下转第 68 页)

为50~80℃时,植酸含量降低缓慢;90℃,30min时,豆乳中植酸含量下降76.17%;100℃加热,保温10~40min时,植酸含量降低缓慢;100℃,50min处理时,植酸含量降低程度达75.61%。可见,采用热处理方式降低豆乳中植酸的含量要以高温和长时间作为代价,发酵法和发芽法对于失活豆乳中的植酸来说更有优势。

### 3 结论

3.1 发芽能失活豆乳中的胰蛋白酶抑制剂,发芽12h后,加工的熟豆乳中胰蛋白酶抑制剂活性降低了83.2%。

3.2 乳酸菌和霉菌发酵都能失活豆乳中的胰蛋白酶抑制剂活性,*Lb*、米黑毛霉(*M. M*)和米根霉(*R. O*)失活效果最好。

3.3 乳酸菌能代谢豆乳中的 $\alpha$ -低聚半乳糖,KLDS 1.0205和KLDS 1.0201的代谢能力最强。

3.4 发酵、发芽和加热都能使豆乳中的植酸含量发生不同程度的下降。副干酪乳杆菌(KLDS 1.0201)和米黑毛霉(*M. M*)失活植酸的能力最强。热处理能使豆乳中的植酸发生分解,但要以高温、长时间作为代价。

#### 参考文献:

- [1] 石慧. 大豆中抗营养因子的研究进展[J]. 孝感学院学报,2006(5):18~21.  
 [2] 徐奇友. 大豆中营养因子和抗营养因子研究进展[J]. 中国油脂,2006,31(11):17~20.  
 [3] O J Stewart, G S V Raghavan. The effect of drying on unsaturated fatty acids and trypsin inhibitor activity in soybean [J]. Process Biochemistry,2003,39(4):483~489.

[4] M Egunley, O C Aworh. Effect of soaking, dehulling, cooking and fermentation with *Bhizopus oligosporus* on the oligosaccharides, trypsin inhibitor, phytic acid and tannins of soybean, cowpea and groundbean [J]. Journal of Food Engineering,2003,56(2):249~254.

[5] 李素芬,等. 黑龙江省主要大豆品种中胰蛋白酶抑制因子含量研究[J]. 中国饲料,2001(5):8~11.

[6] 周红蕾. 大豆中抗营养因子及其去除方法概述[J]. 饲料工业,2006,27(3):23~26.

[7] Vineet Kumar, Anita Rani. Changes in lipoxigenase isozymes and trypsin inhibitor activity in soybean during germination at different temperatures [J]. Food Chemistry, 2006, 99 (3): 563~568.

[8] Stale Refstie, Stefan Sahlstrom. Lactic acid fermentation eliminates indigestible carbohydrates and antinutritional factors in soybean meal for Atlantic salmon [J]. Aquaculture, 2005, 246 (1):331~345.

[9] G Tzortzis, A K Goulas, M L A Baillon, G R Gibson, R A Rastall. In vitro evaluation of the fermentation properties of galactooligosaccharides synthesised by a - galactosidase from *Lactobacillus reuteri* [J]. Appl Microbiol Biotechnol, 2004, 64: 106~111.

[10] Marisa S Garro, Graciela F de Valdez, Guillermo Oliver, Graciela S de Giori. Growth characteristics and fermentation products of *Streptococcus salivarius* subsp. thermophilus, *Lactobacillus casei* and *L. fermentum* in soymilk [J]. Z Lebensm Unters Forsch A,1998,206:72~75.

[11] 南昌希. 大麦内源酶去除大豆植酸的研究[J]. 食品研究与开发,2005,26(5):33~35.

(上接第64页)

含量呈正相关,而直链淀粉不如支链淀粉的分子量<sup>[9]</sup>,这可能是直链淀粉自身相互链接、缠绕,或者把支链淀粉分子链接起来形成大分子,这也证明了直链淀粉对淀粉分子的链接形成大分子或网络起着很大的作用。相关性分析还表明:支链淀粉含量与流变行为指数无论是应力回归还是粘度回归中都具有极其显著的正相关性。

### 3 结论

小麦淀粉中的直链淀粉和支链淀粉对糊化形成的淀粉糊状液的流变学特性有不同的贡献,其中直链淀粉对凝胶的形成起重大作用,而支链淀粉的含量与糊状液的假塑性强弱呈负相关。

#### 参考文献:

- [1] 袁超,等. 小麦淀粉分离方法研究[J]. 粮食加工,2005(2):48~50.  
 [2] GB 7648-87. 水稻、玉米、谷子籽粒直链淀粉测定法[S].  
 [3] Schramm G 著,李晓晖译. 适用流变测量学[M]. 北京:石油出版社,1998.

[4] T R Noel, S G Ring, M A Whittam. Physical properties of starch products: structure and function[A]. In: E Dickinson, P Walstra (Eds). Food Colloids and Polymers: Stability and Mechanical Properties. Royal Society of Chemistry, Cambridge, 1993. 126~137.

[5] Q Dzuy Nguyen, et al. Experimental and modelling studies of the flow properties of maize and waxy maize starch pastes [J]. Chemical Engineering Journal,1998, 70:165~171.

[6] 丁文平,徐广文. 表现直链淀粉含量对小麦淀粉凝胶流变特性影响的研究[C]. 2007年中国粮食行业协会小麦分会年会论文选编.

[7] Zeng M, Morris C F, Batey I L, et al., Sources of variation for starch gelatinization, pasting and gelation properties in wheat [J]. Cereal Chem, 1997, 74(1): 63~71.

[8] Kiribuchi-otobe C, Nagamune T, Yanagisawa T. Production of hexaploid wheats with waxy endosperm character [J]. Cereal Chem, 1997, 74: 72~74.

[9] A Buleon, P Colonna, V Planchot, S Ball. Starch granules: structure and biosynthesis[J]. Biological Macromolecules, 1998, 23: 85~112.