

# 莲藕粉糊的流变特性实验研究

王清章, 邱承光, 彭光华, 严守雷

(华中农业大学)

**摘要:** 为了研究莲藕粉糊的流变特性参数, 以开发莲藕方便食品, 采用一套同心圆筒旋转粘度仪测绘了不同浓度、粒度、pH 值条件下莲藕粉糊的流变特性曲线, 并对浓度、粒度、pH 值和温度对莲藕粉糊流变学行为的影响进行了分析研究。结果表明, 浓度从 2% 增至 10% 时, 稠度系数从 0.434 增至 20.302。建立了表观粘度随浓度的变化规律的回归方程, 其相关系数高达 0.9931。

**关键词:** 莲藕; 莲藕粉糊; 流变特性; 表观粘度

**中图分类号:** S645.1; S377

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1002-26819(2002)04-0116-04

莲藕 (*Nelumbo nucifera*) 为睡莲科莲属多年生大型水生草本植物的根茎。原产于中国和印度, 是世界上稀有的水生蔬菜, 在我国有大面积的种植, 长江中下游及南方诸省为盛产区。以往, 莲藕一直以鲜销蔬菜为主, 近十多年来, 随着退耕还湖的实施, 莲藕产量迅速增加, 莲藕的加工成为重要的研究课题。物料的流变特性是影响加工过程和质量控制的重要因素, 最终产品的感观和质构也与其流变特性相关<sup>[1,2]</sup>。近年来, 国内外有关各种水果、蔬菜的流变学研究开展得十分活跃<sup>[3-10]</sup>, 但对莲藕粉的流变特性研究鲜见报道。本文用 HAAKE RV 12 粘度仪对莲藕粉糊的流变特性进行了系统的测试和研究, 以期为提高莲藕粉的加工质量、莲藕新型工程食品的开发, 加工工艺的设计及质量控制提供理论依据。

## 1 实验材料和方法

### 1.1 实验材料

莲藕: 大毛节品种 (*Nelumbo nucifera* cv. 'Damaojie'), 武汉市蔡甸莲花湖集团提供。

莲藕粉: 自制, 将莲藕洗净、去皮、切片, 置 0.1% NaHSO<sub>3</sub> 溶液中浸渍 10 min 进行护色处理, 捞出晾干后于热风干燥箱中干燥至恒重。经粉碎后再用标准振动筛进行筛分, 取 140 目至 220 目之间的 5 个筛下物分别记为 5 种粒度。

仪器: HAAKE RV 12 同心圆筒旋转粘度仪 (德国)。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 莲藕粉糊的制备

由于莲藕粉难溶于冷水, 故按照试验设计, 将调

配好的不同浓度, 不同 pH 值及不同粒度的莲藕粉加热, 使其淀粉糊化, 在设定温度下测量各样品的流变学特性。

#### 1.2.2 粘度仪传感系统的选取及数学模型的确定

莲藕粉主要由莲藕淀粉、糖及纤维素等所构成。淀粉加热糊化后, 纤维素经搅拌均匀地分散在糊中, 为了防止测量时的滑壁现象<sup>[11]</sup>。选用带有内外齿的 M1° PS 传感系统并在中低应变率范围内测取应力、应变参数, 以便消除滑壁所带来的误差。

水果蔬菜一类食品悬浮分散体系大多为非牛顿流体<sup>[2]</sup>, 经考查一个样品的应力—应变曲线, 可用幂律 (power law) 流体和数学模型表达莲藕粉糊的流变学行为, 即

$$S = K \left( \frac{du}{dz} \right)^n \quad (1)$$

式中  $K$  —— 稠度系数;  $n$  —— 流变指数;  $\frac{du}{dz}$  —— 剪切速率。

#### 1.2.3 浓度、pH 值、粒度和温度对流变特性的影响测定

固定 pH = 7, 粒度  $d_g = 200$  目, 温度  $T = 25$  , 分别测取 5 个不同浓度莲藕粉糊 (2%, 4%, 6%, 8%, 10%) 的流变曲线, 即切应力  $S$  与剪切速率  $D$  ( $D = \frac{du}{dz}$ ) 的关系曲线。

同理, 固定浓度  $C = 6%$ ,  $d_g = 200$  目,  $T = 25$  , 分别测取 pH 值为 3, 4, 5, 6, 7 下的莲藕粉糊  $S \sim D$  曲线。

固定  $C = 6%$ ,  $d_g = 200$  目, pH = 7, 分别测取  $T = 25, 35, 45, 55, 65$  下的莲藕粉糊  $S \sim D$  曲线。

固定  $C = 6%$ , pH = 7,  $T = 25$  , 分别测取  $d_g$  为 140, 160, 180, 200, 220 目下的莲藕粉糊  $S \sim D$  曲线。

收稿日期: 2002205221

基金项目: 武汉市重大农业项目 (2000211114)

作者简介: 王清章 (1953- ), 副教授, 从事农产品贮藏与加工科学研究与教学。武汉市华中农业大学食品科技系, 430070

对上述所有试样求出剪切速率  $D = 28.16 \text{ s}^{-1}$  下的表观粘度  $G_0$ 。

## 2 实验结果与讨论

### 2.1 莲藕粉糊的流体类型

由图 1、3、4、6 所描绘的  $S \sim D$  曲线均为下凹的曲线, 且当剪切速率  $D = 0$  时, 所有曲线均趋向原点, 表明莲藕粉糊为无屈服应力的假塑性流体 (pseudoplastic fluid)。对各曲线按幂律模型在计算机上进行非线性回归分析, 所得流变指数  $n = 0.29 \sim 0.47$ , 也表明莲藕粉糊的典型假塑性特征。

### 2.2 流变特性与浓度的关系

固定其它条件, 5 种不同浓度的  $S \sim D$  曲线如图 1 所示, 其中剪切速率的范围从  $D = 0.88 \text{ s}^{-1}$  至  $D = 112.64 \text{ s}^{-1}$  (下同)。结果表明, 在同一剪切速率下, 浓度愈高, 对应的切应力值愈大。在浓度取最小值  $C = 2\%$  时, 其流变指数  $n = 0.47$ , 是诸样本中最大者, 可视作低浓度的莲藕粉糊有趋近牛顿流体的趋势。按幂律模型作回归分析所得的稠度系数随浓度的变化最为显著, 浓度愈高, 稠度系数  $K$  显著增加。不同浓度莲藕粉糊的  $K$  和  $n$  值列入表 1 中。

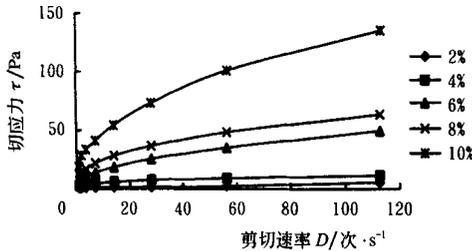


图 1 不同浓度莲藕粉糊  $S \sim D$  曲线

Fig 1  $S \sim D$  curves of lotus root powder paste with different concentrations

表 1 不同浓度下莲藕粉糊的  $K$  和  $n$  值

( $T = 25$ ,  $\text{pH} = 7$ ,  $d_g = 200$ )

Table 1  $K$  and  $n$  values of lotus root powder paste with different concentrations ( $T = 25$ ,  $\text{pH} = 7$ ,  $d_g = 200$ )

浓度 $C/\%$	$K$	$n$	$R^2$
2	0.434 2	0.469 8	0.927 9
4	2.506 8	0.320 8	0.991 1
6	6.258 6	0.427 4	0.997 5
8	11.888	0.342 0	0.986 9
10	20.302	0.392 8	0.991 6

在剪切速率  $D = 28.16 \text{ s}^{-1}$  下, 不同浓度对应的表观粘度  $G$  与浓度  $C$  的关系见图 2, 将其进行回归, 得曲线方程

$$G = 0.2287C^{2.5183}, R^2 = 0.9931 \quad (2)$$

### 2.3 流变特性与 pH 值的关系

由图 3 描绘的 5 个 pH 值下的  $S \sim D$  曲线可知,

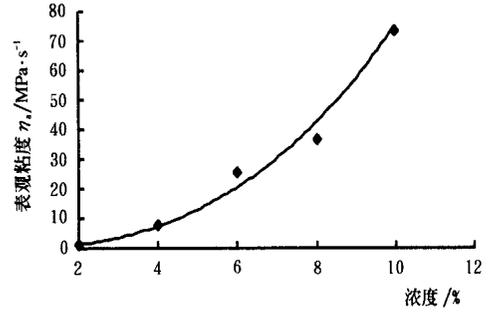


图 2 表观粘度与浓度的关系

Fig 2 Relationship between apparent viscosity and concentration

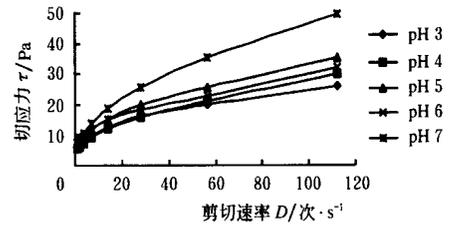


图 3 不同 pH 莲藕粉糊  $S \sim D$  曲线

Fig 3  $S \sim D$  curves of lotus root powder paste with different pH values

不同 pH 条件下莲藕粉糊的流变特性也有较明显的改变, 总的趋势是 pH 值愈低, 相应切应力愈小。但图中  $\text{pH} = 5$  和  $\text{pH} = 6$  时这种影响都很接近。不同 pH 值条件下求得的  $K$  和  $n$  值无明显的差异和规律, 其  $K, n$  值见表 2。

表 2 不同 pH 下莲藕粉糊的  $K$  和  $n$  值

( $T = 25$ ,  $C = 6\%$ ,  $d_g = 200$ )

Table 2  $K$  and  $n$  values of lotus root powder paste under different pH values ( $T = 25$ ,  $C = 6\%$ ,  $d_g = 200$ )

pH	$K$	$n$	$R^2$
3	5.624 9	0.312 0	0.985 2
4	5.092 3	0.351 3	0.980 0
5	6.056 6	0.360 8	0.995 7
6	7.260 3	0.289 8	0.976 8
7	6.258 6	0.427 4	0.997 5

其  $G \sim \text{pH}$  值回归方程的相关系数  $R^2$  仅为 0.691 4, 说明表观粘度受 pH 值的影响不显著。

### 2.4 流变特性与温度的关系

不同温度条件下, 莲藕粉糊的  $S \sim D$  曲线如图 4 所示。温度愈低, 同一剪切速率下的切应力值愈高, 这符合流体流变特性的一般规律。计算所得的  $K$  和  $n$  值见表 3, 温度改变对流变指数的影响很小。然而对稠度系数的影响却很明显。由此可见, 温度降低可提高表观粘度且主要是以  $K$  值的增大来实现的。

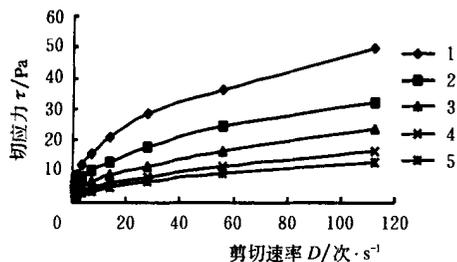


图 4 不同温度莲藕粉糊 S~ D 曲线

Fig 4 S~ D curves of lotus root powder paste at different temperatures

表 3 不同温度下莲藕粉糊的 K 和 n 值 (pH = 7, T = 25, C = 6%)

Table 3 K and n values of lotus root powder paste at different temperatures (pH = 7, T = 25, C = 6%)

温度/°C	K	n	R <sup>2</sup>
25	7.040 5	0.413 8	0.999 4
35	4.715 1	0.432 0	0.999 1
45	3.034 7	0.421 2	0.996 7
55	2.124 1	0.419 4	0.992 0
65	1.818 0	0.402 8	0.992 8

表观粘度 G 与温度 T 的关系曲线如图 5 所示, 其曲线的回归方程为

$$G = 4245.4T^{-1.5478}, R^2 = 0.9971 \quad (3)$$

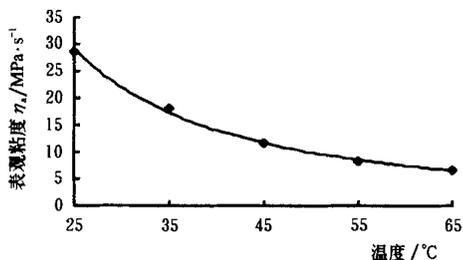


图 5 表观粘度与温度的关系

Fig 5 Relationship between apparent viscosity and temperature

### 2.5 流变特性与粒度的关系

由图 6 所描绘 S~ D 曲线显示, 粒度的改变对莲藕粉糊流变曲线影响较小。一般粒度较大时, 切应力增加。计算所得的稠度系数 K 值各自比较接近。不同粒度莲藕粉糊的 K 和 n 值列入表 4 中。

表 4 不同粒度下莲藕粉糊的 K 和 n 值 (T = 25, pH = 7, C = 6%)

Table 4 K and n values of lotus root powder paste with different particle sizes (T = 25, pH = 7, C = 6%)

粒度/目	K	n	R <sup>2</sup>
140	5.358 2	0.373 4	0.998 1
160	6.343 7	0.322 5	0.996 3
180	5.545 7	0.308 1	0.991 3
200	5.561 2	0.325 0	0.982 2
220	5.038 7	0.339 0	0.991 1

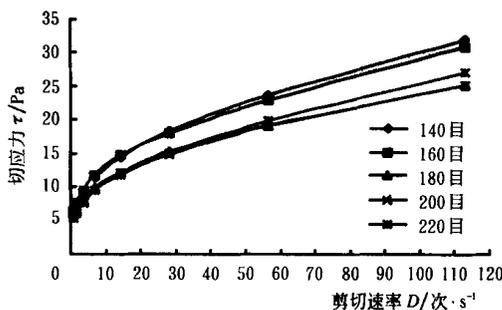


图 6 不同粒度莲藕粉糊 S~ D 曲线

Fig 6 S~ D curves of lotus root powder paste with different particle sizes

表观粘度 G 与粒度的关系曲线如图 7 所示, 其回归方程为

$$G = 281.82d_g^{-0.5509}, R^2 = 0.8402 \quad (4)$$

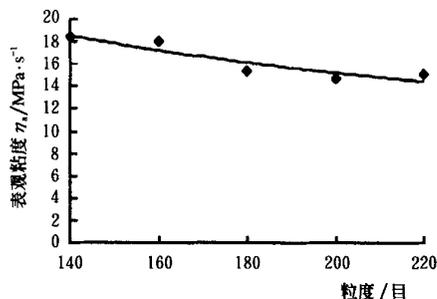


图 7 表观粘度与粒度的关系

Fig 7 Relationship between apparent viscosity and particle sizes

### 3 结论

1) 在所测浓度范围内, 莲藕粉糊均显示出假塑性流体的特征, 其流变指数值在 0.29~0.47, 且当浓度为测量范围内的最低值时 (C = 2%), 流变指数达最大值, 有向牛顿流体接近的趋势。

2) 在浓度 C、pH 值和粒度各因素中, 对莲藕粉糊流变特性影响最大的是浓度。特别是浓度从 2% 增至 10% 时, 其对应的稠度系数 K 值从 0.434 增至 20.302 (增加约 47 倍)。K 值的增加会显著降低物料的流动性。定温下, pH 值和粒度对流变学特性的影响不显著。表观粘度 G 受浓度 C 的影响非常显著, 其回归方程  $G = 0.2287C^{2.5183}$  的相关系数高达  $R^2 = 0.9931$ 。

3) 实验研究所获得的莲藕粉糊的流变特性参数可以为莲藕方便食品的加工、开发、质构改造和质量控制以及莲藕汁的生产提供理论数据, 对莲藕的深加工具有一定的参考价值。

## [参 考 文 献]

- [1] 陈克复. 食品流变学及其测量[M]. 北京: 轻工业出版社, 1989. 108~ 118
- [2] Rao M A, Qiu C G. Chapter 13 in Quality factors of fruits and vegetables [M]. American Chemical Society, 1989. 149~ 168
- [3] Qiu C G, Rao M A. Role of pulp content and particle size in yield stress of apple sauce[J]. Journal of Food Science, 1988, 53(4): 1165~ 1170
- [4] 张之佳, 张拥军, 徐 清. 超细南瓜粉流变学特性的研究[J]. 中国粮油学报, 1999, 14(2): 35~ 39
- [5] 李志西, 毛加银等板栗淀粉糊粘度特性的研究[J]. 中国粮油学报, 2001, 16(1): 28~ 31
- [6] 路福媛, 黄雪松. 浓缩梨汁的流变特性研究[J]. 山东农业大学学报, 1995, 127(1): 44~ 47.
- [7] 罗昌荣, 麻建国等. 番茄浆料的流变特性[J]. 无锡轻工大学学报, 2001, 20(5): 471~ 475
- [8] 杜先锋, 许时婴, 王 璋. 淀粉凝胶力学性能的研究[J]. 农业工程学报, 2001, 17(2): 16~ 19
- [9] 徐 泳, 黄文彬, 李红艳. 圆球颗粒间有幂率流体对挤压流动的法向粘性力[J]. 农业工程学报, 2002, 18(2): 1~ 4
- [10] 赵红霞, 张守勤, 吴 华等. 高压加工对蛋黄酱流变特性的影响(英)[J]. 农业工程学报, 2002, 18(2): 101~ 105
- [11] Qiu C G, Rao M A. Effect of dispersed phase on the slip coefficient of apple sauce in a concentric cylinder viscometer[J]. Journal of Texture Studies 20(1989) 57~ 71.

## Experimental Studies on Rheological Properties of Lotus Root Powder Paste

Wang Qingzhang, Qiu Chengguang, Peng Guanghua, Yan Shoulei

(Department of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

**Abstract:** Rheological behaviors of lotus root powder paste with different concentration, pH values, particle sizes and temperatures were measured by a concentric cylinder viscometer. The effects of concentration, particle sizes, pH values and temperatures on the rheological behaviors were studied. The results indicated that the consistency index increased sharply from 0.434 to 20.302 when the concentration increased from 2% to 10%. The relationship between apparent viscosity ( $G$ ) and concentration could be demonstrated by a regression equation ( $G = 0.2287C^{2.5138}$ ,  $R = 0.9931$ ).

**Key words:** lotus root; lotus root powder paste; rheological property; apparent viscosity