

# 鱼糜流变特性的研究<sup>\*,\*</sup>

赵杰文 柴春祥 张世芳 邱白晶  
(江苏理工大学)

**提 要** 研究了三种鱼糜(鲢鱼、鲤鱼、草鱼)的流变特性,建立了流变模型,提出了鱼糜表观粘度随掺水量变化而变化的关系方程,并分析了引起这种变化的原因。

**关键词** 鱼糜 流变特性

## Research on Rheological Behaviour for Minced Fish

Zhao Jie-wen Chai Chun-xiang Zhang Shi-fang Qiu Bai-jing  
(Jiangsu University of Science and Technology, Zhenjiang)

**Abstract** This paper presented the rheological behaviour for kinds of three minced fish, set up the rheological model. The relation between apparent viscosity of minced fish and added water was obtained, and the reason for variation of apparent viscosity with different added water was analyzed.

**Key words** Minced fish Rheological behaviour

### 1 引言

食品流变学的产生,推动了人们对各种食品流变特性的研究。但对鱼糜的流变特性国内外报道甚少。所以本文对三种鱼糜(鲢鱼、鲤鱼及草鱼)的流变特性进行了试验研究,考察了鱼糜中的掺水量对鱼糜粘度的影响。

### 2 试验装置

因现有粘度计不适宜测量象鱼糜这类固形物含量高、粒度大、粘度也高的物质的流变特性,我们针对鱼糜的特点,研制了适宜测量鱼糜流变特性的电测式双筒流变仪。

#### 2.1 测量原理<sup>[1]</sup>

图1为试验装置的测试原理简图,内筒的半径为 $R_1$ ,外筒的半径为 $R_2$ ,内筒浸入物料的高度为 $h$ 。假设:1)流体是不可压缩的;2)流体流动时呈层流;3)流体流动的流线是位于垂直于

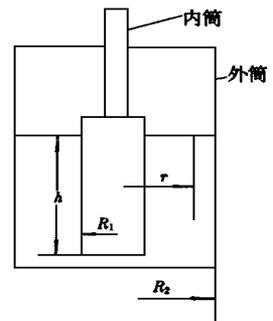


图1 试验装置测试原理简图

收稿日期: 1996-06-10

\* 江苏省自然科学基金资助项目

赵杰文, 博士, 教授, 江苏省镇江市 江苏理工大学农机工程学院, 212013

转动轴平面内的圆,即沿径向和轴向的流速等于零;4) 流体与圆筒直接接触,与圆筒曲面间没有相对运动,即无滑脱现象;5) 假设圆筒足够长,圆筒端面所产生的效应可忽略不计。根据以上五点假设,就可推导基本方程。

当外筒固定,内筒以角速度 $\Omega$ 旋转时,带动内、外筒之间的物料发生分层流动,由于物料的阻力作用,距转轴为 $r$ 处,物料层间的剪切应力为

$$\tau = \frac{M}{2\pi r^2 h} \quad (1)$$

式中  $M$  —— 内外圆筒间的流体作用于内筒上的力矩,  $N \cdot m$ 。

剪切变形的速率为

$$\dot{\gamma} = r \frac{d\omega}{dr} \quad (2)$$

从鱼糜流变特性的预备实验知鱼糜的流变符合幂律模型。

其特征方程为

$$\tau = K \dot{\gamma}^n \quad (3)$$

式中  $K$  —— 稠度系数,  $K$  值越高,表示流体愈稠,  $Pa \cdot s^n$ ;  $n$  —— 流变特性指数,是流体非牛顿程度的量度,  $n$  值离开 1 越远,其非牛顿行为的性质越明显。

把式(1)、式(2)代入式(3)得力距 $M$ 为

$$M = 2\pi r \cdot h \cdot \tau \cdot r = 2\pi h K r^2 \left[ r \frac{d\omega}{dr} \right]^n$$

由其边界条件  $r = R_1 \quad \omega = \Omega \quad r = R_2 \quad \omega = 0$

分离变量后积分可得幂律流体在两圆筒间的力矩公式为

$$M = 2\pi h \left[ \frac{2}{n} \left( \frac{1}{R_1^{2/n}} - \frac{1}{R_2^{2/n}} \right)^{-1} \right]^n \cdot K \Omega^n \quad (4)$$

对上式两边取对数有

$$\ln M = \ln \left\{ 2\pi h \left[ \frac{2}{n} \left( \frac{1}{R_1^{2/n}} - \frac{1}{R_2^{2/n}} \right)^{-1} \right]^n \cdot K \right\} + n \ln \Omega \quad (5)$$

从式(5)可看出,  $\ln M$  与  $\ln \Omega$  之间是线性关系,只要通过一组 ( $\ln M_i, \ln \Omega_i$ ) ( $i = 1, 2, 3 \dots$ ) 数据,即可确定  $\ln M$  与  $\ln \Omega$  的线性回归方程

$$\ln M = b_0 + b \ln \Omega \quad (6)$$

对照式(5)与式(6)可得

$$n = b \quad (7)$$

$$\ln \left\{ 2\pi h \left[ \frac{2}{n} \left( \frac{1}{R_1^{2/n}} - \frac{1}{R_2^{2/n}} \right)^{-1} \right]^n \cdot K \right\} = b_0 \quad (8)$$

从式(8)可算出稠度系数 $K$ 。

## 2.2 电测式双筒流变仪测试系统简介

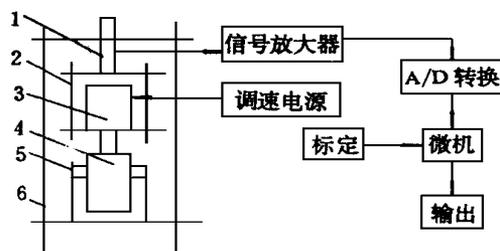
图2为电测式双筒流变仪测试系统简图。其工作过程为:内筒4由70TDY115—1低速同步电机(苏州电讯电机厂生产)带动旋转,用TDY变频调速电源(苏州电源厂生产)控制电机的转速,转速范围为60~150 r/min。物料作用在内筒上的阻力矩直接传递给电机转子,由同步电机的性质可知,转子对定子产生的作用力矩与定子对转子的作用力矩相等,由于电机定子紧固于电机外壳,外壳又固定在与传感器固连的电机框架上,这样作用于内筒上的力

矩通过同步电机改变方向后作用于传感器上, 传感器上输出的电压信号经信号放大器放大后通过 A/D 转换进入计算机, 由计算机对其进行处理。

用原西德产的哈克粘度计(无锡轻工大学)对自制的电测式双筒流变仪进行标定, 得标定方程如下

$$M = 0.013[-13.75 - 1.07n_1 + (3.98 + 0.01n_1)u]$$

式中  $n_1$ ——转速, r/min;  $u$ ——传感器上输出的电压信号, mV。



1. 传感器 2. 电机框架 3. 电机  
4. 内筒 5. 外筒 6. 支架

图2 电测式双筒流变仪测试系统简图

### 3 试验结果及分析

#### 3.1 材料的准备

三种市售淡水活鱼(鲢鱼、鲤鱼、草鱼)经过刮鳞、清除内脏、去头、去尾、去皮、剔刺后, 用家庭多用切碎机加工成粘稠状鱼糜。放入冰箱中冷藏备用。

因鱼糜中添加的水分对其制品的结构质量有很大的影响, 故确定了六种掺水量, 分别为 20%、30%、40%、50%、60%、70%。

#### 3.2 鱼糜的流变模型

把掺入水分后的鱼糜均匀混合, 装入外筒。启动电机, 待鱼糜流动稳定后采集数据。从最低转速开始, 逐步增加电机转速, 每改变一次转速, 都使内筒旋转 1 min 后采样。上述数据采集和数据处理的全过程是用计算机进行的。

表 1 三种鱼的鱼糜在不同掺水量下的稠度系数  $K$  与流变特性指数  $n$

掺水量 /%	鱼糜流变体的流变模型方程: $\tau = K \dot{\gamma}^n$					
	鲢鱼		鲤鱼		草鱼	
	稠度系数 $K$ /Pa · s <sup>n</sup>	流变特性 指数 $n$	稠度系数 $K$ /Pa · s <sup>n</sup>	流变特性 指数 $n$	稠度系数 $K$ /Pa · s <sup>n</sup>	流变特性 指数 $n$
20	324.56	0.42	237.80	0.43	348.57	0.46
30	258.94	0.46	211.76	0.45	242.01	0.45
40	104.26	0.50	106.02	0.47	139.43	0.46
50	46.24	0.52	47.98	0.49	74.90	0.51
60	45.12	0.54	29.15	0.48	56.17	0.51
70	36.53	0.53	9.36	0.51	17.79	0.54

由式(7)、式(8)可确定出鱼糜流变体的流变特性参数——稠度系数  $K$  与流变特性指数  $n$ (表 1)。

从表中看出, 流变特性指数  $n < 1$ , 所以鱼糜在测量范围内为假塑性流体。对方程进行相关系数法检验后表明, 拟合方程均在显著性水平  $\alpha = 0.01$  下显著。

从表中可看出, 随着鱼糜中掺水量的增加, 稠度系数下降, 鱼糜变得越稀; 流变特性指数

增加,表明鱼糜所表现出的流变特性向牛顿流体趋近。

### 3.3 表观粘度与掺水量的关系

牛顿流体的粘度为剪切应力与剪切速率之比,对于幂律流体也同样处理,则表观粘度

$$\eta_a = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} = K \dot{\gamma}^{(n-1)} \quad (9)$$

表 2 为不同掺水量时鱼糜的表观粘度  $\eta_a$ 。

表 2 不同掺水量时鱼糜的表观粘度  $\eta_a$

掺水量 /%		20	30	40	50	60	70
表观 粘度 $\eta_a/\text{Pa} \cdot \text{s}$	鲢鱼	39.8	36.71	17.08	8.14	8.54	6.64
	鲤鱼	30.24	28.95	15.58	7.58	4.44	1.59
	草鱼	49.41	33.09	19.76	12.72	9.54	3.49

注:表中的表观粘度是测量范围内平均剪切速率 37.26 (1/s) 时的值。

三种鱼糜的表观粘度与掺水量之间的关系用指数方程进行拟合,拟合结果见表 3。

表 3 三种鱼糜的表观粘度  $\eta_a$  与掺水量  $W$  (%) 之间的拟合方程

鱼糜的流变特性指数  $n$  与掺水量之间的关系方程:  $\eta_a = AW^B$

鲢鱼		鲤鱼		草鱼	
系数A / $\text{Pa} \cdot \text{s}$	指数B	系数A / $\text{Pa} \cdot \text{s}$	指数B	系数A / $\text{Pa} \cdot \text{s}$	指数B
3.6	-1.62	1.26	-2.29	2.81	-1.94

拟合方程进行相关系数法检验后表明,三个拟合方程均在显著性水平  $\alpha = 0.01$  下显著。

图 3 为不同掺水量下草鱼鱼糜的表观粘度。从图中可看出,鱼糜的表观粘度随掺水量的增加下降很快,掺水量对鱼糜的粘度影响很大。鱼糜的粘度是由鱼糜中的蛋白质分子间,蛋白质分子与水分子间及与其它分子间的内聚力和分子的扩散而产生的,阻滞其流动或变形的性质。由于组成鱼糜的主要物质为水分和蛋白质,因此,水分和蛋白质成为影响其粘度的主要因素。蛋白质分子表面分布着各种不同的极性基团,由于这些极性基团同水分子间的相互作用力,能使水溶液中的蛋白质分子成为高度水化的分子。随着掺水量的逐渐增加,水分子的作用使得彼此缠绕的蛋白质分子散解开。随着蛋白质分子高度水化,直接吸附在蛋白质分子表面的水分子同蛋白质结合

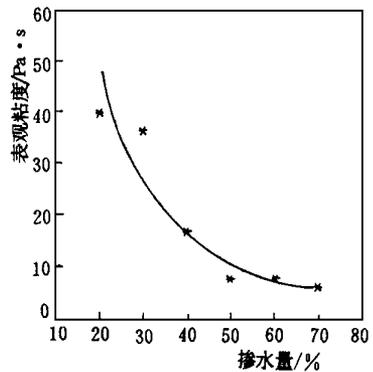


图 3 不同掺水量下草鱼鱼糜的表观粘度

得很牢固, 距离较远的水分子同蛋白质分子结合比较松散, 距离更远的水分子则完全自由, 这就使得蛋白质分子相互分离。而水分子与水分子间的相互作用力远小于蛋白质分子间的作用力和蛋白质与水分子间的作用力, 此时的表观粘度也就很小。

## 4 结 论

1) 三种鱼糜(鲢鱼、鲤鱼及草鱼) 在掺水量为 20% ~ 70% 时的流变模型为幂律模型。由于流变特性指数  $n$  小于 1, 所以鱼糜在该测量范围内为假塑性流体。

2) 对鱼糜的表观粘度  $\eta$  与掺水量  $w$  进行回归分析后, 得出表观粘度随掺水量变化的关系方程为  $\eta = A w^B$ 。鱼糜表观粘度  $\eta$  随掺水量  $w$  的增加而减少。

## 参 考 文 献

- 1 陈克复, 庐晓江, 金醇哲等编译. 食品流变学及其测量. 北京: 轻工业出版社, 1989. 17 ~ 147, 199 ~ 226

## 本刊从 1995 年起入录美国 EI 数据库, 为 EI 文献资源委员会正式成员单位

1995 年本刊编辑部即接到美国工程信息公司(Engineering Information Inc) 中国信息部通知, 告知本刊已被美国 EI 总部批准收录进入数据库。

EI 中国信息部为更好地开展工作, 成为 EI 公司与各编辑部之间工作沟通的桥梁, 决定今年成立 EI 文献资源委员会。今年 8 月本刊收到通知, 确定本刊为该委员会正式成员单位, 并享受 EI 中国信息部提供的下述几项服务:

- (1) 可不定期得到有关 EI 公司工作信息的通报;
- (2) 可及时获得刊物文献的收录情况;
- (3) 可为本刊出具 EI 数据库收录作者文章的证明(20 元/份);
- (4) 每年可向我刊通报国外部分大型数据库收录中国期刊文献的情况;
- (5) 每年年底将向我刊提供 EI 全年收录刊物数据的详细材料。

(魏 农)